CIRIAF

Centro Interuniversitario di Ricerca
sull'Inquinamento e sull'Ambiente - "Mauro Felli"

A.D. 1308
unipg
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

XXI congresso nazionale.

Sviluppo sostenibile,
tutela dell'ambiente
e della salute umana.

"Perugia 8-9 aprile 2021"

ATTI

CIRIAF - Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e sull'Ambiente - "Mauro Felli"
Università degli Studi di Perugia

XXI CONGRESSO NAZIONALE CIRIAF - Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana - Atti
Perugia, 8 e 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

Perugia: Morlacchi Editore University Press, 2021.
ISBN 978-88-9392-279-1 (online)

Impaginazione e progetto grafico di copertina:
Roberto Fiorella (CIRIAF - Università degli Studi di Perugia)

L'edizione digitale on-line del volume è pubblicata ad accesso aperto su www.morlacchilibri.com.
La presente opera è rilasciata nei termini della licenza Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode). La licenza permette di condividere l'opera, nella sua interezza o in parte, con qualsiasi mezzo e formato, e di modificarla per qualsiasi fine, anche commerciale, a condizione che ne sia menzionata la paternità in modo adeguato, sia indicato se sono state effettuate modifiche e sia fornito un link alla licenza.
© 2021 Morlacchi Editore University Press

Pubblicato da Morlacchi Editore University Press, Piazza Morlacchi 7/9, 06123 Perugia

www.morlacchilibri.com

Temi Congressuali

1) Energie rinnovabili e impianti sostenibili
2) Sostenibilità ambientale ed economico-sociale
3) Edilizia sostenibile e bioarchitettura
4) Pianificazione strategica

Sessioni Strutturate Progetti

S11 - Progetto BRIC INAIL
S12 - Progetto PRIN Biocheaper
S13 - Progetto PRIN Next.com

Comitato Organizzatore

Franco Cotana - Presidente
Francesco Asdrubali - Vice Presidente
Pietro Buzzini
Federico Rossi
Elisa Moretti
Mirko Filipponi
Andrea Presciutti
Marco Barbanera
Giorgio Baldinelli
Paolina Cerlini
Elisa Belloni
Cinzia Buratti
Andrea Nicolini
Benedetta Turchetti
Beatrice Castellani
Gianluca Cavalaglio
Anna Laura Pisello
Valentina Coccia
Michele Goretti
Luca Fondacci

Segreteria Organizzativa

Vanda Baldelli
Ilaria Castellini
Roberto Fiorella
Serena Gallicchio
Leandro Lunghi
Fabio Meattelli
Maria Angela Polverini

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Indice

Introduzione ..... p. V

IP holds the instruments that COP-26 can use to successfully address global biodiversity loss. ... p. 1
Andrea Alunni, Lilian Eunice Volcan

Architetture e contemporaneità. Il caso del Palazzetto dello Sport di Bastia Umbra. ..... p. 23
Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Michela Meschini, Filippo Cornacchini

Il disegno della riforestazione.
Processi di rigenerazione dell'area dell'ex centrale Enel di Pietrafitta. ..... p. 37
Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Simona Ceccaroni, Marco Seccaroni

Studio della biomassa legnosa a livello regionale e
proposte per un possibile sviluppo sostenibile nel medio termine. ..... p. 45
Alessandro Petrozzi, Andrea Nicolini, Gianluca Cavalaglio, Valentina Coccia, Franco Cotana

Pannelli "decompensati". Studio e caratterizzazione di pannelli igroscopici in legno
per applicazioni nella regolazione passiva dell'umidità indoor. ..... p. 61
Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Giulia Pelliccia

Analysis of AC/DC power converters for electrical vehicles. ..... p. 70
A. Hassan Shehata, E. Belloni, A. Faba, S. Quondam Antonio, E. Cardelli

A new model for estimating the Solar Heat Gain Coefficient of an Aerogel glazing system. ..... p. 86
Piergiovanni Domenighini, Elisa Belloni, Cinzia Buratti

A CFD model for a real scale ventilated brick wall:
validation and dynamic simulations of the energy performance. ..... p. 98
Costanza Vittoria Fiorini, Francesca Merli, Domenico Palladino, Cinzia Buratti

Noise pollution and mental health: a narrative review. ..... p. 117
Giulia Menculini, Patrizia Moretti, Luigi Attademo, Pierfrancesco Maria Balducci,
Francesco Bernardini, Alfonso Tortorella

Rumore di fondo nelle aule scolastiche e
apprendimento degli studenti della scuola primaria. ..... p. 131
Chiara Visentin, Matteo Pellegatti, Nicola Prodi

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

A comparative study on opto-thermal properties of natural clay bricks incorporating dredged sediments. ..... p. 146
Mattia Manni, Alessandro Petrozzi, Andrea Nicolini, Marco Barbanera, Leandro Lunghi, Valentina Coccia, Giuseppino Vento

Influenza delle scelte degli operatori sulla certificazione di sostenibilità ambientale di un edificio: un'esperienza di Round Robin Test. ..... p. 164
Francesco Asdrubali, Claudia Guattari, Marta Roncone, Giorgio Baldinelli, Eid Gul, Cristina Piselli, Anna Laura Pisello, Andrea Presciutti, Fabio Bisegna, Laura Pompei

How does the substrate material affect the optic performance of retro-reflective coatings? An experimental investigation. ..... p. 189
Alessia Di Giuseppe, Marta Cardinali, Beatrice Castellani, Mirko Filipponi, Andrea Nicolini, Federico Rossi

An innovative high-reflective mulching membrane coupled with a sub-irrigation system for a sustainable development of food crops. ..... p. 200
Alessia Di Giuseppe, Mattina Manni, Alessandro Petrozzi, Laura Maria Becchetti, Andrea Nicolini, Federico Rossi, Franco Cotana

Hydrothermal carbonization of citrus peel waste and the effects of temperature on hydrochar properties during process water recirculation. ..... p. 211
Antonio Picone, Maurizio Volpe, Fabio Codignole Luz, Antonio Messineo

Preliminary LCA of a polygeneration plant fed with lignocellulosic biomass. ..... p. 224
Ramoon Barros Lovate Temporim, Gianluca Cavalaglio, Alessandro Petrozzi, Andrea Nicolini, Franco Cotana

Lessons learned from the operation of a small-scale open-top gasifier with forestry residues. p. 234
Rohit Borooah, Eleonora Cordioli, Daniele Basso, Daniele Antolini, Francesco Patuzzi, Marco Baratieri

Analisi di inventario di un sistema di valorizzazione energetica di biomasse residuali di origine forestale in un'ottica di ciclo di vita. ..... p. 245
Maria Anna Cusenza, Sonia Longo, Daniele Antolini, Marco Baratieri, Daniele Basso, Rohit Borooah, Maurizio Cellura, Francesco Guarino, Domenico Panno, Francesco Patuzzi

The role of the citizen in sustainability: the Sustainable Energy and Climate Action Plan for the municipality of Assisi. ..... p. 256
Ettore Stamponi, Marta Cardinali, Luca Fondacci, Elisa Moretti, Franco Cotana, Stefania Proietti, Bruno M. Broccolo, Paolo Sdringola, Federica Lunghi, Patrizia Fortini

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Controllo Attivo del Rumore all'Interno della Cabina di un Trattore: Test Preliminari in Camera Semi-Anecoica. ..... p. 268
Francesco Mori, Paolo Bonfiglio, Patrizio Fausti, Francesco Pompoli, Andrea Santoni, Pietro Nataletti

Stato dell'Arte del Controllo Attivo del Rumore applicato ai Mezzi di Trasporto. ..... p. 279
Francesco Mori, Paolo Bonfiglio, Patrizio Fausti, Francesco Pompoli, Andrea Santoni

ANCHOR LIFE PROJECT: un sistema integrato di gestione del rumore portuale. ..... p. 298
Giuseppe Marsico, Giorgio Baldinelli, Riccardo Gabriele Di Meglio, Jaime Bustillo Galvez, Konstadinos Konstadakopoulos, Simona Repetto

The NEXT.ROOM: a novel test room specifically designed for deepening our knowledge on human comfort. ..... p. 304
Ilaria Pigliautile, Vittori Filippo, Anna Laura Pisello

Prototipo del sedile a controllo attivo delle vibrazioni: storia delle prove sperimentali. ..... p. 319
Antonio Moschetto, Lindoro Del Duca, Pietro Nataletti, Annalisa Fregolent

Application of physiological measurements for thermal comfort assessment. ..... p. 328
Silvia Angela Mansi, Camillo Porcaro, Ilaria Pigliautile, Anna Laura Pisello, Marco Arnesano

Governance e resilienza in territori fragili. Analisi degli impatti socio-economici e ambientali derivanti dall'impiego delle biomasse da manutenzione boschiva nell'area del Sud-Ovest Orvietano. ..... p. 336
Luca Fondacci, Andrea Nicolini, Franco Cotana, Mattia Manni, Leandro Lunghi

Ricerca e catalogazione delle tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore. ..... p. 351
Giulio Arcangeli, Sergio Luzzi, Raffaele Mariconte, Nicola Mucci, Paola Pulella, Veronica Traversini

Scelta e catalogazione degli scenari di indagine e indicazioni operative per l'analisi acustica degli ambienti scolastici possibili sedi di danno extra-uditivo da esposizione al rumore. ..... p. 363
Francesco Asdrubali, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Franco Cotana, Michele Goretti, Claudia Guattari, Raffaele Mariconte

Resilient territories. The case of post-earthquake reconstruction in Emilia Romagna. ..... p. 374
Francesco Alberti

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

La Strategia nazionale per le aree interne: lo stato dell'arte. ..... p. 383
Cristiana Corritoro

Apprendimento in età evolutiva e tecnologie di supporto ai tempi dell'emergenza COVID nell'area dell'Alto Chiascio. ..... p. 388
Paola Tomassoli

**La dimensione territoriale del potere.
Riflessioni sui principi costituzionali utili alla governance ottimale delle "aree interne".** ..... p. 394
Carlo Calvieri

Assessing the impact of thermal comfort models based on physiological parameters of human body on the calculation of heating and cooling demands of indoor spaces. ..... p. 402
G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, G.F. Giuzio, A. Palombo, G. Russo

L'evoluzione della disciplina normativa in materia di produzione di energia idroelettrica da corsi d'acqua superficiali. ..... p. 415
Alessandro Formica

**La consapevolezza e la sensibilizzazione degli occupanti
come strumento per l'efficienza energetica, la sostenibilità ambientale e il comfort:
il caso di studio ARPA UMBRIA.** ..... p. 431
Maria Giulia Proietti, Elisa Moretti, Anna Laura Pisello, Andrea Nicolini, Agnese Corneli, Luca Proietti

A list of dos and don'ts in view of the next earthquake in Italy. ..... p. 447
Gastone Ave

**Valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale:
primi risultati su edifici rappresentativi del parco edilizio italiano.** ..... p. 464
Marianna De Monaco, Laura Canale, Giorgio Ficco, Andrea Frattolillo, Marco Dell' Isola, Biagio Di Pietra, Giovanni Puglisi, Ilaria Bertini

La Strategia nazionale per le aree interne: lo stato dell'arte. ..... p. 483
Francesco Monaco

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Introduzione

Il Congresso Nazionale CIRIAF 2021 "SVILUPPO SOSTENIBILE, TUTELA DELL'AMBIENTE E DELLA SALUTE UMANA", giunto alla XXI edizione, si è tenuto in modalità telematica sulla piattaforma Teams nei giorni 8 e 9 aprile 2021.

Il perdurare dell'emergenza sanitaria dovuta al COVID-19 ha fatto sì che, dopo l'edizione del 2020 in pieno lockdown (16 e 17 aprile 2020), per il secondo anno consecutivo il Congresso sia stato un evento online.

Il CIRIAF (Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e sull'Ambiente "Mauro Felli"), a cui afferiscono oltre 100 docenti universitari di 14 diversi Atenei, promuove da anni attività di ricerca interdisciplinare sui temi dell'inquinamento ambientale, dello sviluppo sostenibile, delle fonti energetiche rinnovabili e alternative, della pianificazione energetica, della mobilità sostenibile, degli effetti sanitari e socio-economici dell'inquinamento ambientale.

Il Congresso Nazionale CIRIAF 2021, giunto alla ventunesima edizione e diventato nel tempo un importante appuntamento per studiosi ed esperti non solo del mondo della ricerca, è stato caratterizzato da alcune Sessioni orali sui temi tipici del Congresso, ed in particolare:

- Sostenibilità ambientale ed economico-sociale;
- Edilizia sostenibile e bioarchitettura;
- Energie rinnovabili e impianti sostenibili;
- Pianificazione strategica

Sono inoltre state organizzate due sessioni strutturate focalizzate su altrettanti progetti PRIN 2017 che vedono coinvolti numerosi studiosi afferenti al CIRIAF:

- Progetto PRIN Next.com;
- Progetto PRIN Biocheaper.

Durante il congresso è stata infine organizzata una sessione strutturata per la presentazione dei risultati del progetto BRIC INAIL "Aspetti innovativi connessi alla prevenzione del rischio da rumore e vibrazioni: sviluppo di dispositivi basati sulla tecnologia Active Noise Control e Active Vibration Control per la protezione dei lavoratori e misure anche nell'ottica della prevenzione degli effetti extra-uditivi del rumore".

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Il Congresso ha pertanto rappresentato un'importante occasione per una prima divulgazione dei risultati dei progetti menzionati e per un dibattito tra le varie unità operative.

Sono pervenuti complessivamente 38 lavori, tutti di buona qualità, di cui il presente volume di Atti rappresenta il compendio.

L'appuntamento è per aprile 2022, con l'auspicio di poter fare un Congresso in presenza!

Il Presidente del Comitato Scientifico
Prof. Gino Moncada Lo Giudice

Il Presidente del Comitato Organizzatore
Prof. Franco Cotana

Il Vice Presidente del Comitato Organizzatore
Prof. Francesco Asdrubali

Il Direttore del CIRIAF
Prof. Pietro Buzzini

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

ARTICOLI SCIENTIFICI

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

IP holds the instruments that COP-26 can use to successfully address global biodiversity loss

Andrea Alunni [1,*] and Lilian Eunice Volcan [2]

[1] C.I.R.I.A.F.-SSTAM, Via G. Duranti, 63 – 06125 – Perugia, Italy

[2] International Gender Studies (IGS) Centre at the Lady Margaret Hall of the University of Oxford, UK

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: andrea.alunni@hotmail.com

Abstract: Biodiversity loss is the biggest single negative consequence from environment degradation. Access and benefit sharing (ABS) is a policy approach that links access to genetic resources (GRs) and traditional knowledge (TK) to the sharing of monetary and nonmonetary benefits. This article examines how the ABS - stipulated by the Convention on Biological Diversity (CBD) and established under Nagoya protocol (NP) - has become the principal instrument embraced by the international fora to prevent further GRs extinction, degradation, misuse and misappropriation of TK and associated GRs. The objective of this research is to analyse the process in which GRs came onto the Intellectual Property (IP) agenda and verify whether ABS can effectively regulate the access to the world's GRs while contributing to the conservation of biological diversity and the sustainable use of its components in a way that is acceptable to all stakeholders. The research was carried out in two parts. The first, look at the literature that outlines the evolution of the IP policy debate in which the IP, TK and GRs relationship was recognised as having significant implications for the IP systems. The second assesses challenges and opportunities that international political frameworks offer to support ABS adoption across countries. Findings indicate that ABS has the potential to become an effective international instrument to regulate TK and associated GRs while preventing misappropriation. For this to be doable, however, a trustful and meaningful cooperation between traditional and modern scientists has to be devised to encourage compliance with ABS obligations and supportiveness towards disclosure of origin requirements related to GRs and TK. A practical example illustrates how indigenous peoples and local communities' skills can be embedded in technology transfer best practices to effectively adopt ABS to produce new knowledge, innovation and propserity from joint research and cooperation between traditional and modern scientists.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Keywords: Biodiversity; Traditional Knowledge (TK); Genetic Resources (GRs); Intellectual Property (IP); Patents Disclosure Requirement (PDR); Sui Generis; innovation; Access-Benefit-Sharing (ABS); Nagoya Protocol; Indigenous Peoples and Local Communities (IPLCs)

Introduction

Intellectual property (IP) as a discipline has been around for decades [1]. It offers tremendous opportunities for social and economic change. As IP systems become more relevant with the spread of new technologies, such as biotechnology, there has been a concomitant interest in discerning the social, economic, and political implications of protecting traditional knowledge (TK) and associated genetic resources (GRs). We can consider the IP, TK & GRs relationship implications for the IP systems on two interrelated levels: first, how TK protections are advanced; and second, the kind of impacts TK-GRs protection can have on indigenous peoples and local communities (IPLCs).

Drawing on research in high-income countries, some have pointed that today's prevalent inadequate level of protection to TK and GRs is due to the lack of specific evidence or TK information for IP examiners as well as lack of staff specialized in traditional knowledge and IP strategies for protecting TK [2]. A number of countries have adapted existing intellectual property systems to the needs of TK holders through sui generis measures for TK protection. These take different forms. A Database of Official Insignia of Native American Tribes prevents others from registering these insignia as trademarks in the United States of America. New Zealand's trade mark law has been amended to exclude trademarks that cause offence, and this applies especially to Indigenous Maori symbols. India's Patent Act has been amended to clarify the status of TK within patent law. The Chinese State Intellectual Property Office has a team of patent examiners specializing in traditional Chinese medicine. More broadly, researchers, civil society groups, and governments in low-income countries are trying to address the socio-economic implications of TK protection: for example, some countries such as Brazil, Costa Rica, India, Peru, Panama, the Philippines, Portugal and Thailand have found that conventional IP systems and adaptations thereof are not considered sufficient to cater to the unique character of TK (including TK associated with GRs), which have prompted them to develop, both at national and regional level, their own distinct sui generis laws for the protection of their TK and to call for the development of a sui generis international instrument. To explain the current lack of clear international policies and laws in this area, they point to the internationally agreed IP terms and standards that focus narrowly on the intellectual component of knowledge systems, without addressing the inextricable links between knowledge, biodiversity and genetic resources, landscapes, customary laws and spiritual values [3].

One significant gap in this work is a critical analysis of benefits that TK-GRs protection brings to biodiversity conservation and economic development of IPLCs. While IPLCs have questioned the implications of TK misappropriation for some time now [4], there is less work on the socio-economic harm caused by erroneous patent granting, for example. This is particularly important as it becomes

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

clear that the goals of ABS have had broad support in the international diplomacy space but have not created sufficient incentives for biodiversity conservation [5]. Advances have been made toward more equitable research partnerships on threatened biodiversity combined with new patent disclosure requirements related to GRs and TK to bring more effective solutions. This article attempts to help fill this gap by examining the implications of protecting TK-GRs with an emphasis on IPLCs' perspectives and dynamics, where there is currently only limited research on this topic (e.g., IIED, 2014 on collective bio-cultural heritage Peru).

Given the potential broad socio-economic impacts of TK –GRs protection (eg. if more emphasis is placed on ensuring the free flow and maintenance of TK and genetic resources, than on protecting them from use) [6], it is important to take a more holistic protection approach. We first examine research fields including IP law studies, innovation studies, sociology and environment, drawing on literature that critiques international policy frameworks that deal with TK-GRs protection for not taking into account the unique character of TK in the interplay of property rights, the practice of social norms, the operation of markets, the resilience of communities, and the character of an innovation ecosystems that shapes collaboration between traditional and modern science. We identify the ways in which IP systems shape TK-GRs protection — and vice versa — by investigating national experiences where TK and associated GRs have been protected by IPLCs using approaches and measures used within and outside conventional IP systems. In cases where TK-GRs protection examples do not yet exist, we refer to the access and benefit-sharing mechanism (which focuses on disclosure of origin of GRs and TK in patent applications and proof of compliance with ABS law as a defensive mechanism for TK protection). At a minimum, we need to ensure that TK-based protection does not exacerbate existing IP system inequalities. We therefore propose steps that industry, civil society, and policymakers can take to achieve this goal.

In the first Section we discuss what we mean by IP, TK and GRs connection and how defensive protection is mediating the relationship between conventional and sui generis IP systems. We then review possible impacts that TK-GRs protection can have on TK-holder communities, by first reviewing the potential that the undergoing international policy debate has to address TK-GRs misappropriation and promote fair benefit-sharing between holders of those assets (mostly biodiversity-rich countries) and those with the modern technologies to access and use them, and then how IPLCs have addressed protection inequalities between traditional and modern scientist taking into account some national experiences. Finally, we conclude with policy and other recommendations.

This article is composed by five different Sections, as follows:

1.1. Traditional knowledge from local to global IP debate

Indigenous peoples and local communities (IPLCs) have used traditional knowledge for centuries. It applies to everything from agriculture and food storage to construction, medicines, and the preservation of biological resources and the environment. The customary laws and cultural taboos of these communities have long served to preserve this knowledge and regulate its use [7]. But growing commercial use of their genetic resources beyond the traditional context means they are increasingly

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

vulnerable to misappropriation and misuse by third parties. That is why holders of traditional knowledge and many international policymakers are calling for new policies and laws in this area.

1.1.1. Challenges confronting TK holders

The holders of traditional knowledge (TK) face various difficulties that put the very survival of their knowledge at stake and the disruption of traditional ways of maintaining or passing knowledge on to future generations is under actual threat. These difficulties include:

(a) The need is to preserve the knowledge that is held by ILCs throughout the world as a way to preserve common wellbeing. In South India, for example, the medicinal knowledge of the Kani tribes led to the development of an anti-stress and anti-fatigue sports drug based on the herbal medicinal plant with the support of Indian scientists that used the tribal know-how to develop the drug. Knowledge was divulged by three tribal members to the scientists who isolated 12 active compounds and filed two patent applications on the drug. The technology was then licensed to an Indian pharmaceutical manufacturer and a trust fund was established to share the benefits arising from the commercialization of the TK-based drug.

(b) The lack of appreciation for ILCs knowledge, which real scientific value and technical qualities is often overlooked and considered from a narrow cultural perspective. For example, when within an indigenous or local community a mixture of herbs is used to cure a sickness, the TK holders may not be able to isolate and describe certain chemical compounds and/or describe their effect on the body in the terms of modern biochemistry, but they have, in effect, based this medical treatment upon generations of clinical trials in the past and on a solid empirical understanding of the interaction between the mixture and human physiology.

(c) The commercial exploitation of ILCs' traditional knowledge by others. This often happens when consumers end up turning to treatments based on traditional knowledge, on the understanding that such "alternative" or "complementary" systems are soundly based on empirical observation over many generations. Yet the ILCs initial contribution to the production and preservation of these products is seldom recognized or rewarded [8], which raises questions of legal protection of traditional knowledge against misuse, the role of prior informed consent, and the need for fair and equitable benefit-sharing.

(d) The ultimate difficulty is to address the international dimension of the protection of traditional knowledge while learning from successful national experiences [9]. This is a challenge that involves many areas of law and policy, reaching well beyond intellectual property rights (IPRs).

1.1.2. The call for traditional knowledge and associated genetic resources protection

Since late 1990s there has been strong interest on the part of developing countries for the protection of TK and the question of whether it should be protected by IPRs, and if so, how.

Today some countries, including Costa Rica, Kenya, Peru and Zambia, already have national laws that protect traditional knowledge. Others have focused specifically on protecting genetic resources.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

And some have joined ranks at the regional level to protect traditional knowledge. Although these developments are an important step in the right direction, fragmented protection does not offer the custodians of traditional knowledge an adequate level of protection in today's globalized world.

1.1.3. Why is international protection needed?

National and regional laws that protect traditional knowledge have only a limited impact. For one thing, they only have legal effect in the country or countries in which they have been enacted. One way to extend the protection they confer is by establishing bilateral or plurilateral agreements between countries that share a common interest in protecting traditional knowledge and have similar national laws. But few countries actually have these laws in place. That is why it is so important to have an international regime that establishes minimum standards of protection and for countries to ratify and implement such a regime at the national level. Only then will it be possible to extend protection beyond national borders, for example to promote reciprocity in the treatment of traditional knowledge.

National and regional laws share a number of common objectives. They define what is to be protected and who is to benefit and how. They often seek to: (a) ensure that control over traditional knowledge rests with indigenous peoples or local communities; (b) preserve and protect TK and associated genetic resources against misappropriation and misuse by third parties; and (c) promote equitable benefit sharing. Protection often goes well beyond intellectual property (IP) aspects of traditional knowledge (e.g. eligibility to acquire IP rights over traditional knowledge), encompassing all aspects of its use in a traditional context.

Drawing these shared policy objectives into an international agreement would offer a more adequate response to the unauthorized use of traditional knowledge, or acquisition of IP rights over that knowledge, by third parties who have no legitimate claim on it. At the very least, an international agreement that was implemented at the national level would ensure that the custodians of traditional knowledge have control over and can manage its use and are properly compensated.

A question on the above naturally arises: What does an international regime need to do? As traditional knowledge is increasingly under threat and with it the genetic resources used, managed and preserved in traditional systems. Its misappropriation and use by third parties who seek to acquire IP rights over TK are also on the rise. International policy objectives should include the preservation of traditional knowledge, control of its commercial use, safeguards against third-party claims on IP related to traditional knowledge, access and benefit sharing, equitable remuneration, facilitation of innovation using traditional knowledge and provisions on prior informed consent.

1.2. How Do IP, TK and GRs Intercept?

The relationship between intellectual property (IP) and the protection, promotion, preservation and safeguarding of traditional knowledge and associated genetic resources has given rise to a complex and on-going debate. The policy debate has underlined the limitations of existing IP laws in meeting all the needs and expectations of TK holders. Especially, when "IP protection" cannot stop

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

others from actively using or exploiting ILCs traditional knowledge, or while it can avert erroneous patents from being granted over inventions based on or developed using genetic resources associated, it is commonly unable to prevent bio-piracy. This is significant because indigenous peoples and local communities tend to unwittingly lose control over its TK because of various challenging non-normative options that TK holders need to know, familiarise and manage to enforce "IP protection" (such as the use of databases, patent examination guidelines, improved classification, search and examination tools, contractual guidelines, *among others*).

1.2.1. What are the IP issues associated with traditional knowledge?

The first issue that TK finds in the effort to secure IP *protection* is that the Convention establishing the World Intellectual Property Organization (1967) does not include TK in the list of types of intellectual property rights it provides for protection, despite the fact that TK is considered as innovation of indigenous peoples and local communities and product of creative intellectual activity and therefore "intellectual property". The Convention list includes creations of the human mind such as inventions, designs, literary and artistic works, performances, plant varieties, and names, signs and symbols.

The second issue is that there is as yet no accepted *definition* of "traditional knowledge" at the international level. The current working definition (offered by the WIPO) considers traditional knowledge (TK) as a living body of knowledge that is developed, sustained and passed on from generation to generation within a community, often forming part of its cultural identity. TK *stricto sensu* is also understood as knowledge, know-how, skills, innovations and practices that are passed between generations in a traditional context, and that form part of the traditional lifestyle of indigenous peoples and local communities who act as their guardians or custodians. In this context, the term "traditional" does not mean "old" or "antique". Indeed, for the most part, traditional knowledge is neither ancient nor inert, but a vital, dynamic part of the lives of many communities frameworks of on-going innovation and creativity.

The public domain issue refers to the fact that traditional forms of creativity and innovation under conventional IP systems are generally regarded as being in the *public domain*, and thus free for anyone to use. Yet indigenous peoples, local communities and many countries reject a "public domain" status of TK and argue that this opens them up to unwanted misappropriation and use. For most countries, this contentious association of TK with public domain, from the perspective of the conventional IP law, justify TK misappropriation. This is exacerbated by these communities' lack of experience with existing IP systems and, in many cases, lack of clear national policy concerning the utilization and protection of TK. In fact, often indigenous peoples and local communities tend not to make proper distinction between tangible and intangible assets which indirectly deprive them from income generating activities options and commercial competitiveness.

If one look at the literature, it results that under the conventional IP system the *public domain* encompasses three important elements, or perspectives: (i) the legal status of materials (TK as intellectual products) are free from IP rights when the invention does not fulfil the conditions of patentability; (ii) the freedom to use materials, makes TK free or available for any member of the

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

public to use for any purpose without having to obtain the consent or permission of a right owner and without charge; and (iii) in terms of availability and accessibility of materials, contrary to some perceptions, TK materials are not in the public domain simply because they are accessible or available through a free and *open source*. For example, something that is in the public domain does not guarantee, as such, a freedom to access it. Public domain material is not always free from any cost or encumbrance.

It is on this point, availability and accessibility, becomes instrumental in the quest for traditional knowledge and associated genetic resources legal access protection. It is here that the distinction between TK being in the "public domain" and TK being "publicly available" becomes crucial, as the term public domain, which is used to indicate free availability, has been taken out of context and applied to TK associated with genetic resources that is publicly available. The common understanding of *publicly available* does not mean available for free, but rather means that there is a condition to impose mutually agreed terms such as paying for access. According to experts [10-11] it cannot be assumed that TK associated with genetic resources that has been made available publicly does not belong to anyone. On the contrary, for the Convention on Biological Diversity (CBD) within the concept of *public availability* prior informed consent from a TK holder that is identifiable could still be required, as well as provisions of benefit-sharing made applicable.

1.2.2. What is "traditional knowledge associated with genetic resources"?

Our current understanding of GRs owes a great deal to the TK of indigenous and local communities (IPLCs). Indeed, some TK may be closely associated with GRs, such as medicinal plants, traditional agricultural crops and animal breeds. TK often provides researchers with a lead to identify some molecules, properties or active ingredients within biological resources or provide information on how to use the GRs. Such genetic and biological resources are linked to TK and traditional practices through the utilization and conservation of the resources, which has occurred over generations, and through their common use in modern scientific research.

In brief, there is indeed tight relationship between traditional knowledge (TK) and the use of genetic resources (GRs). These connections, mainly established by discussions in other international fora, are recognized as having significant implications for the IP system. In particular, due to the spread of new technologies, such as biotechnology, highlighted the potential economic value of GRs and associated TK, which became an increasingly important component of patentable inventions [12]. As a result, many people began to argue that the *patent regime* should help to prevent misappropriation and promote fair benefit-sharing between holders of those assets (mostly biodiversity-rich countries) and those with the modern technologies to access and use them [13].

In the following Sections this research analyses the legal discussions about creating a link between patent legislation and legislation governing access to genetic resources to enhance transparency and efficiency of the patent system, and policy discussions about bringing savings into monitoring costs of compliance with legal obligations governing access to and benefit-sharing from the genetic resources utilization (ABS).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1.3. Conventional IP System vis-à-vis TK (and Associated GRs) Protection

In general, the IP system is designed to enable IP holders, if they so wish, to acquire and assert IP rights. This allows them to prevent unwanted, unauthorized or inappropriate uses by third parties (including culturally offensive or demeaning use) and/or to exploit innovations commercially, for example through the granting of licenses, as a contribution to their economic development. This, however, is only possible for traditional knowledge when TK holder communities are fully empowered to promote their TK (and associated GRs), control their uses by third parties and benefit from their commercial exploitation (i.e. as modern scientists do). As a matter of fact, although some existing IP laws have been successfully used to protect against some forms of misuse and misappropriation of TK, the current policy debate about TK and the IP system keep underlining the limitations of existing IP laws in meeting all the needs and expectations of TK holders.

In the following paragraphs are listed options and limitations currently available to protect TK (and associated GRs) with existing IP laws, with particular emphasis on those useful to protect TK-based innovations through the patent system.

1.3.1. Current legal IP options used to protect traditional knowledge

Today the IP options used to protect, to some extent, various aspects of TK include: existing IP laws and legal systems (including the law of unfair competition); extended or adapted IP rights specifically focused on TK (sui generis aspects of IP laws); and new, stand-alone sui generis systems which give rights in TK as such. Other non-IP options can also form part of a wider TK protection strategy, including trade practices and labelling laws, the law of civil liability, the use of contracts, customary and indigenous laws and protocols, regulation of access to genetic resources and associated TK, and remedies based on such torts as unjust enrichment, rights of publicity. Each of these has been used to some extent to protect various aspects of TK and associated GRs in different countries.

1.3.1.1. Using existing IP laws and legal systems to protect TK (associated GRs)

Discussions about the forms of TK protection have arisen in policy debate two key demands on the IP system: first, the call for recognition of the rights of TK holders relating to their TK, and, second, concerns about the unauthorized acquisition by third parties of IP rights over TK. The two forms of IP-related protection that have been developed and applied correspond to positive and defensive protection, respectively. Positive protection gives TK holders the right to take action or seek remedies against certain forms of misuse of TK and defensive protection safeguards against misappropriation or illegitimate IP rights taken out by others over TK subject matter. Stakeholders have stressed that these two approaches should be undertaken in a complementary way because a comprehensive approach to protection in the interests of TK holders is unlikely to rely totally on one form or the other [14].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Positive protection approach

Under special circumstances, it gives TK holders the right to take action (for protection) or seek remedies against certain forms of misuse of TK using patents, trademarks, geographical indications, industrial designs, and trade secrets, although these laws would still require certain adaptations or modifications to make TK protection work better. Effective positive protection of TK and associated GRs in different countries include:

Patents: China, for example, has been able to encourage practitioners innovate within the traditional framework and use the patent system to protect their innovations. Only in 2001, China granted 3300 patents for innovations within the field of Traditional Chinese Medicine. An example of them shoes that the patent was submitted as an international application under the PCT on the use of traditional Chinese medicine (CTM), which claims an invention that combines teaching of TCM with modern medicine. Similarly, systems have been developed to ensure that illegitimate patent rights are not granted over TK subject matter that is not a true invention (see "defensive protection" below).

Defensive protection approach

Since genetic resources (GRs), as encountered in nature, cannot be directly protected as IP because they are not creations of the human mind, defensive protection presents two options to protect TK and GRs:

(i) Preventing illegitimate acquisition of patent rights by third parties over TK (and associated GRs), although it does not stop others from actively using or exploiting TK. This is normally difficult to enforce due to lack of prior art information, accentuated by the lack of staff in the patent offices specialized in IP strategies for protecting *this kind of patents* [15]; and

(ii) *Disqualifying patent* applications that do not evidence compliance with Convention on Biological Diversity (CBD) obligations, i.e. with disclosure of origin (other than with related to fair and equitable benefit-sharing, that will be developed in detail in the next Section).

Preventing illegitimate acquisition of patent rights by third parties over TK (and associated GRs)

In the effort to prevent erroneous patents granting, defensive protection relies on 'prior art', which presents two separate aspects to be addressed for TK protection:

- Legal aspect: ensuring that information is published or documented in such a way as to meet the legal criteria to be counted as prior art in the jurisdiction concerned (this may include, for instance, ensuring that there is a clear date of publication, that the disclosure enables the reader to put the technology into effect, or to ensure that orally disclosed information must be taken into account).
- Practical aspect: ensuring that in fact the information is available to search authorities and patent examiners, and is readily accessible (such as through being indexed or classified), so that it is likely to be found in a search for relevant prior art.

In this respect, various *non-normative options*, such as the use of databases, patent examination guidelines, improved classification, search and examination tools, and contractual guidelines have

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

been increasingly considered and used to help examiners [16]. India, for example, has compiled a searchable database of traditional medical knowledge that can be used as evidence of prior art by patent examiners when assessing patent applications. While at international level, a range of practical mechanisms have been developed, which includes amendment of WIPO-administered systems, and the development of the following practical patent search tools, as follows:

The International Patent Classification (IPC) has been expanded to take better account of TK subject matter, in particular concerning medicinal products based on plants extracts.

The Patent Cooperation Treaty (PCT) was recently expanded to include eleven TK-related information resources, thus increasing the likelihood that relevant TK will be located at an early stage in the life of a patent.

Disqualifying patent applications that do not evidence compliance with CBD

For the Convention on Biological Diversity (CBD) disclosure of origin addresses the concerns expressed in recent years about the genetic resources and traditional knowledge 'prior art'. To make this effective, *consistency and synergy between the IP system and the CBD is required*.

What is the CBD disclosure approach objective?

It aims to address, at the heart of CBD, this widely-discussed approach is about the idea that patent applicants should disclose TK (and genetic resources) used in the claimed invention, or that are otherwise related to it. Existing patent law already requires some of this information to be disclosed by the applicant, but there is now this CBD proposal to extend and focus these requirements, and to create specific CBD disclosure obligations for TK and genetic resources (so called new patent disclosure requirements, PDR).

The broad development underlying the patent disclosure approach is that, as the reach of the intellectual property system in the global information society extends to new stakeholders, such as indigenous peoples and local communities, their knowledge base, including in particular their TK, constitutes an increasingly relevant body of prior art the effective identification of which is of increasing importance for the functioning of the IP system.

CBD Patent Disclosure Requirements debate

The undergoing debate see, on the one hand, several countries already introducing PDR to serve the public policy goal of preventing the misappropriation of GRs and TK that have been obtained without the authorization (e.g., in the form of PIC) of the country providing such resources and/or the indigenous peoples and local communities holding such knowledge. On the other hand, those opposing PDR, *mostly industry stakeholders*, not interested in developing new PDRs.

Those in favour think that disclosure requirements can be designed to promote mutual supportiveness, synergies and complementarity between the implementation of CBD mechanisms and obligations, on the one hand, and the innovation incentives of the patent system, on the other [17]. It has been found, for example, that the implementation of new PDRs at the national level could strengthen the mutual supportiveness and complementarity between IP and ABS regimes under the

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

CBD and its Nagoya Protocol. For instance, PDRs have been used by some governments as tools for compliance with national (domestic) legislative, administrative or policy measures on access and benefit-sharing (ABS) that these nations have established. In contrast, those against [18] argue that mandatory new PDRs would reduce the legal certainty and predictability of the patent system, cause additional delays in the processing of patent applications and impede innovation.

In brief, while there is clearly no one-size-fits-all approach, a number of countries have been demanding some degree of harmonization through a new legally binding international IP instrument, in principle, patent disclosure requirements (PDRs) could be used as a tool to help monitor the utilization of GRs and TK and, thereby, also help promote – at least in some cases – compliance with CBD obligations.

1.4.1. Consistency and Synergy between the IP System and the CBD obligations depend on PDR

A number of countries have enacted domestic legislation putting into effect the CBD obligations establish access to a country's genetic resources (GRs). The question arises as to whether, and to what extent, the Patent system should be used to support and implement these obligations, such as through enabling the tracking of compliance with CBD obligations.

The current CBD proposal is to make mandatory for patent applications to disclose several categories of information concerning TK, especially when associated with genetic resources [19]. To better comply with patent disclosure requirements (PDR) related to genetic resources and traditional knowledge, it is necessary to understand the interactions between PDR and the fair access and equitable benefit sharing (ABS) objective of the UN Convention on Biological Diversity (CBD) and its complementary instruments, such as the Food and Agriculture Organization (FAO) International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA) [20]. In particular, it is important to understand what interests and objectives may each country need to balance in respect to their TK and GRs when shaping an appropriate disclosure obligation mechanism to support ABS implementation.

1.4.2. How is Access to and Benefit-Sharing in Genetic Resources Regulated?

Genetic resources (GRs) are subject to access and benefit-sharing (ABS) regulations, which refer to the way in which GRs may be accessed, and how the benefits that result from their use are shared between the people or countries using the resources and the people or countries that provide them. These regulations are defined in the following international frameworks:

- The Convention on Biological Diversity (CBD),
- The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization (Nagoya Protocol) to the CBD,
- The International Treaty on Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA) of the Food and Agriculture Organization.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

These international instruments provide conceptual and practical aspects of dealing with intellectual property (IP) in the context of access to genetic resources and the fair and equitable sharing of benefits arising from their utilization– or, as it is widely known, ABS. More precisely:
Convention on Biological Diversity (CBD), was adopted in 1992 and entered into force on December 29, 1993 as the international treaty that commits 196 participating governments to reduce the global rate of biodiversity loss and to share the benefits from use of the world's genetic resources (GRs). The three main CBD objectives are: conservation of biological diversity; sustainable use of the components of biological diversity; and fair and equitable sharing of the benefits arising out of the utilization of genetic resources (ABS). The benefits to be shared can be monetary, such as sharing royalties when the resources are used to create a commercial product, or non-monetary, such as the development of research skills and knowledge.

The CBD recognizes that States have sovereign rights over their natural resources and hence the authority to determine conditions for access to genetic resources in areas within their jurisdiction. It is vital that both users and providers understand and respect institutional frameworks such as those outlined by the CBD and in the Bonn Guidelines. These help governments to establish their own national frameworks which ensure that access and benefit-sharing happens in a fair and equitable way.

The CBD (Article 15) outlines the following set of principles on access to and benefit sharing from the utilisation of genetic resources (ABS):

- Access to genetic resources must take place with the approval – or "prior informed consent" – of the country from which the resource is accessed.
- Conditions for access to or use of genetic resources, including how any resulting benefits would be shared, must be agreed: access and benefit-sharing must be based on "mutually agreed terms" to be negotiated with the country providing the resources (also in some countries delegated to an agency or community). Furthermore, Article 8(j) of the CBD affirms the need for governments to "respect, preserve and maintain knowledge, innovations and practices of indigenous peoples and local communities".

This provision further calls for the approval and involvement of the holders and encourages the equitable sharing of benefits arising from the utilization of their knowledge, innovations and practices.

The Nagoya Protocol (NP, adopted on October 29, 2010 in Nagoya, Japan, and entered into force on October 12, 2014) provides an international framework for implementing and advancing ABS (the third objective of the CBD). In particular, the protocol:

- Provides a new and innovative definition of the utilization of genetic resources, as follows: 'utilization of genetic resources' means to conduct research and development on the genetic and/or biochemical composition of genetic resources, including through the application of biotechnology as defined in Article 2 of the CBD".
- Makes the connection between GRs and TK of indigenous peoples and local communities (IPLCs) explicit.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- Creates conditions of legal certainty and transparency for providers and users of GRs and TK in the context of long-standing concerns by member countries about the problem of biopiracy or misappropriation of GRs and associated TK in a legally and binding way.
- Establish that official check points now have to be designated in countries where GRs has been utilised.
- Suggests that all ratifying parties (countries) need to translate the provisions of Nagoya into domestic laws or regulations that reflect the interest of all the stakeholders concerned (i.e.patent offices, Patent Libraries, Universities Tech-Transfer Offices, ministries of environment, NGOs, justice, health, business, local, etc).

International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA, entered into force on June 29, 2004) addresses the specifics of plant genetic resources for food and agriculture under the auspices of the FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. ITPGRFA establishes a multilateral system of access and benefit-sharing which aims to facilitate the exchange of seeds and other genetic material of a number of crops deemed significant for food security. It constitutes a specialized international instrument on ABS that is consistent with and does not run counter to the objectives of the CBD and the Nagoya Protocol (Article 4.4) to establish the framework and requirements for access to and utilization of plant genetic resources for food and agriculture covered by the multilateral system.

Recognizing the special nature of plant genetic resources for food and agriculture, and the need for distinctive solutions for their conservation and sustainable use and the fair and equitable sharing of the benefits they bring, the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA) includes a Multilateral System for ABS. This Multilateral System of the ITPGRFA responds to countries' interdependence in relation to genetic resources for food and agriculture and the need to facilitate flows of these resources for agricultural research and breeding activities. ITPGRFA is a global pool of some of the most important crop genetic resources for food and security which is shared and managed jointly by countries that adhere to the treaty.

One of the key elements of this Multilateral System is that it eliminates complicated procedures and time-consuming negotiations of specific contracts for access to specific plant genetic resources for food and agriculture. A recipient who would like to receive a given crop sample from a certain gene bank collection, for example, can simply do so according to the terms of the Standard Material Transfer Agreement (SMTA). The SMTA is a mandatory model for parties wishing to provide and receive material under the Multilateral System through standard contract, negotiated and agreed internationally, which may not be varied or abbreviated in any way.

The ITPGRFA System sets out the conditions for access and includes provisions on benefit-sharing, dispute settlement and IP. In particular, Article 6.2 restricts recipients of genetic resources through the Multilateral System from claiming any IP right that would limit the freedom of others to obtain samples of the same materials through an SMTA "in the form received". Recipients are able to obtain IP rights on modified derivatives. However, according to Article 6.7 of the SMTA, if such IP rights result in the commercialization of a product that is not available to others for further research and

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

breeding, recipients are *bound to share benefits*. The term "available without restriction" used in Article 6.7 of the SMTA is defined to exclude restrictions of a legal, contractual or technological nature.

Beyond the crops and forages included in the ITPGRFA multilateral system, plant genetic resources for food and agriculture fall within the Nagoya Protocol and its implementing laws and regulations at the national level. Few of these national rules currently exclude or establish separate systems for the agricultural sector. That said, material transfer agreements used to access genetic resources from ex-situ collections may, in some cases, be recognized as mutually agreed terms (MAT). Besides, in line with international rules, the sharing of germplasm and other material increasingly takes place under ITPGRFA material transfer agreements. This allows organizations to share biological material such as seeds, cell-lines or germplasm for evaluation or further development while agreeing on terms of use for the material and information, and on any related intellectual property. However, most material ITPGRFA transfer agreements do not address the rights of the original providers of the genetic resources to the ex-situ collections.

Different templates for material transfer agreements exist and may be used. Most material transfer agreements include IP provisions. For example, some material transfer agreements contain provisions preventing patenting of the transferred material or of certain kinds of derived products. The following sample material transfer agreement provision preventing patenting clause (adapted from Material Transfer Agreement 'Germplasm and Unregistered Lines' between the Department of Agriculture and AgriFoods, Canada (AAFC) and several public breeding institutions) can be taken as an example: *"The recipient shall own the progeny or germplasm which are not essentially derived from the material. The recipient agrees that it […] shall not seek intellectual property rights over the material or related information which could act to the detriment of the continuing availability of the material for agricultural research and breeding purposes."*

Other material transfer agreements allocate ownership over potential IP rights like patents and parameters for sharing benefits. Yet, it is considered counterproductive to leave these issues to be negotiated if and when interesting R&D results arise or potential commercial products are created, as a postponement of agreement on the allocation of such rights may result in an agreement that is not precise enough to be capable of effective enforcement.

1.4.2.1. Who is involved in the Access to and Benefit-Sharing implementation*?*

Providers of genetic resources: States have sovereign rights over natural resources under their jurisdiction. They are obligated to put in place conditions that facilitate access to these resources for environmentally sound uses. Providers agree terms, which include PIC and MAT, for granting access and sharing benefits equitably. Laws within the provider country may entitle others, such as indigenous peoples and local communities (IPLCs), to also negotiate terms of access and benefit-sharing. The participation of IPLCs is necessary in instances where traditional knowledge associated with genetic resources is being accessed.

Users of genetic resources: Users are responsible for sharing the benefits derived from genetic resources with the providers. They seek access to genetic resources for a wide range of purposes,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

from basic research to the development of new products. They are a diverse group, including botanical gardens, industry researchers such as pharmaceutical, agriculture and cosmetic industries, collectors and research institutes.

National Focal Points: To facilitate access, users need a clear and transparent process that details who to contact and what the requirements and processes are in provider countries in order to gain access. National Focal Points are responsible for providing this information. Competent National Authorities (CNAs): CNAs are bodies established by governments and are responsible for granting access to users of their genetic resources, and representing providers on a local or national level. National implementation measures establish how CNAs work in a given country.

This official check points now have to be designated in countries where GRs has been utilised and, along the research and development chain, help verify whether: PIC has been obtained, and MAT has been established. The collected information (certificate) is sent to specific public database, where it can be reviewed by the country that has provided access to the GRs. This procedure allows for the tracking of the GRs: from provider to user, all the way to the innovation and potential commercialisation. This helps to ensure fair sharing of benefits, if the products based on the utilisation of GRs is introduced to the market. Suggests that all ratifying parties (countries) need to translate the provisions of Nagoya into domestic laws or regulations that reflect the interest of all the stakeholders concerned (i.e.patent offices, min of environment, NGOs, justice, health, business, local, etc).

In brief, the over-arching aim of the access and benefit-sharing (ABS) of genetic resources is to enable fair distribution of benefits between the users (such as universities and biotech companies) and providers (such as biodiversity rich countries) so as to both open the doors for innovation and create incentives for biodiversity conservation. According to the ABS principle, the TK holders would receive an equitable share of the benefits that arise from the use of the TK, which may be expressed in terms of a compensatory payment, or other non-monetary benefits. An entitlement to equitable benefit-sharing may be particularly appropriate in situations where exclusive property rights are considered inappropriate.

1.5. Learning from National Experiences to quantify the Impact of using ABS to protect TK and Associated GRs

In an attempt to quantify the impact in protecting traditional knowledge by indigenous communities, the Project of Potato Park of Cusco-Peru was considered. This project indeed epitomises the adoption of a comprehensive IP approach/strategy to TK- GRs protection in the interests of TK holders. The project was adopted by the communities involved in a coordinated “menu” of different options for protection.

What is the Peru Potato Park Project goal?

It is to develop biocultural heritage-based innovations for food security and climate resilience through “repatriation, restoration and monitoring of agro-biodiversity of native potatoes and associated community knowledge systems”.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Key success factors of the project

-The repatriation idea leveraged in the associated Quechua biocultural skills for practical use of new knowledge creation.

-The implementation of this project embraced the ABS principles by the Quechua communities to facilitate positive collaboration between Quechua and modern scientists to produce new knowledge and innovation from joint research with modern scientists.

-The strategic focus determined by the leadership management and planning capability as well as the mission of the project's leading institutions, namely *Asociacion ANDES* and *The Potato Park* community-managed Biocultural Heritage Territory of Pisaq-Cusco, Peru.

-A Meticulous process distilled in the *Intercommunity Agreement for Equitable Benefit-Sharing*, which allows the community to determine for itself what equity consists of, and how to share benefits, which in turn enables the community to keep stewardship practices, i.e. an *expected 10% of the revenues of all the products and services that carry the Park's collective trademark to be channelled into a communal fund for its redistribution to the communities at the end of each year in accordance with the benefit-sharing agreement*.

-P*roject governance for positive collaboration between indigenous* community groups and innovative institutions such as ANDES to share knowledge, group decision making and problem solving.

Access and Benefit Sharing (ABS) Impact

-The project has produced impacts at different scales in terms of new ways of making a living for local indigenous communities, alternative understandings of well-being, respectful relations between humans and nature, and alternative market values and relations.

-The breakthrough innovations created by this Project have been used to challenge the *status quo* of many local indigenous communities beyond Peru, designing and shaping alternatives to the current flawed global socio-political system in countries such as China, Panama, Kenya and India [21].

-Inclusive research methodologies bring justice and capacity into the foreground, i.e. they create capacity, and include the voices of marginalised indigenous farmers, particularly women, in processes which support the devolution of rights, empowerment, and the leveraging local collective knowledge and collaborative research.

-Many of the benefits identified reflect a transition within the current system, particularly in relation to adaptation in the face of climate change, which processes are essential to maintain the biocultural systems, which are the basis for the future capacity of local indigenous communities to innovate to propose and implement alternative models of development and well-being.

Facts and Numbers

- ✓ In 2000 six Quechua communities from Pisaq, Cusco, Peru got fully involved and devoted to the project.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- ✓ Some 410 native potato varieties have been repatriated to the Park by using repatriation agreement with various gene banks for the return of these varieties to their traditional communities and to prohibit the patenting of these varieties and related knowledge.
- ✓ Currently, 410 potato varieties have been transferred, bringing the Park's collection to a total of 1,344 different types of potato, of which about 650 are different varieties according to western science.

Breakthrough Innovation Outcomes

- The Potato Park itself is an innovation for inter-community role plaid in the TK-GRs stewardship in collaboration with modern scientists.
- Governance is done by indigenous communities rather than governments and pushes indigenous communities towards an IP-based innovation economy.
- The technological innovations generated to halt biodiversity loss while increasing communities' income, include:
  - ➢ Improved preservation of native seeds; traditional forms of management of land and crops; forms of seed conservation, and forms of food preparation
  - ➢ Increased capacity to manage biocultural protocols; forms of social intra-community control (agreements, association of communities, etc.), and ceremonies and festivals celebrations
  - ➢ Strengthened capacity to commercialise community products in seed fairs and farm fairs
  - ➢ Better seed production infrastructure (seed producers)
  - ➢ Local production diversification with production of associated goods (teas, creams, etc.)
  - ➢ More off-farm activities, including touristic routes and craft products.

According to this project director "The landmark agreement between indigenous communities and the Potato Park for the repatriation and monitoring of native potatoes represents a fundamental shift in TK and GRs protection approach that rather than seeing farmers only collecting crops for survival, also obtain from scientists their gene bank in return to achieve agricultural prosperity. *The disease-free seeds and scientific knowledge gained have boosted food security, and the new varieties have enhanced income*, enabling the communities to develop novel food products." This has been confirmed by the fact that project has successfully evolved reflecting the inherent links within social-ecological systems, and between biological, cultural diversity, while also integrating new elements from outside knowledge, practices, and institutions. Links that are perfectly embody ABS principles.

Conclusions and policy recommendations

As mentioned in the opening of this article, biodiversity loss is the biggest single negative consequence from environment degradation. We said that indigenous peoples and local communities (IPLCs) have used traditional knowledge for centuries and that until they managed with their own customary laws to preserve this knowledge and regulate its use the risk biodiversity loss was manageable too. However, with the increasing commercial use of genetic resources beyond the traditional context, traditional processes that preserve and safeguard biodiversity are at risk of

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

extinction and the delicate balance that regulates interests of right holders and the general public is under threat [22].

Several countries have started to develop their own sui generis protection systems. However, national and regional laws that protect traditional knowledge and genetic resources have only a limited impact. For one thing, they only have legal effect in the country or countries in which they have been enacted. One way to extend the protection they confer is by establishing bilateral or plurilateral agreements between countries that share a common interest in protecting traditional knowledge and have similar

In light of the above, the international fora has been undertaking intense work and processes to respond to the call made by ILCs and countries to protect the interests of TK holders, and to tackle the horde of issues that it arises around the fields of health, environment, human rights, food security and agriculture, and trade and economic development.

Since diversity is the very essence of TK systems (because they are so closely intertwined with the skills and know-how of many diverse communities) practical experience suggests that the protection of TK has no single template or comprehensive "one-size-fits-all" solution likely to suit all the national priorities and legal environments, let alone the needs of traditional communities in all countries. Instead, effective protection may be found in a coordinated "menu" of different options for protection. Experts suggest that the way in which a protection system should be shaped and defined to protect TK and GRs will depend to a large extent on the objectives it is intended to serve. For example, a comprehensive strategy for protecting TK should consider the community, national, regional and international dimensions is needed. WIPO, for example, acknowledges that for a comprehensive approach to protection national laws are currently the prime mechanism for achieving protection of TK and acknowledges the countries' call for the development of a sui generis international instrument.

While there may be several approaches to protection, this research found out that reflecting the diversity of TK and their social context, developing a strategy for IP protection usually involves the following key components: (i)Policy initiatives, including political decisions to give greater attention and value to TK and TCEs and their protection, as well as policy statements that set overall directions on key issues; (ii) Legislative initiatives, including strengthening existing legal tools and creating new ones; (iii) Infrastructure, especially inventories, databases and other information systems, which can complement and support the implementation of legal systems, and institutions, which can fulfil numerous functions; and (iv) Practical tools, including the use of contracts, guidelines and protocols, as well as capacity-building and awareness-raising, if and when appropriate. Stakeholders involved in IP policy consultations have stressed that on a point of TK and GRs protection, positive and defensive protection approaches can be undertaken in a complementary way because a comprehensive approach to protection in the interests of TK holders is unlikely to rely totally on one form or the other. Countries also

After a comprehensive analysis of countries that have undertaken steps to use and adapt existing IP systems to suit the particularities of TK and associated GRs, findings indicate that stakeholders have found that conventional IP systems and adaptations thereof are not considered sufficient to

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

cater to the unique character of TK (including TK associated with GRs), which have prompted them to continue to develop, both at national and regional level, their own distinct sui generis systems for the protection of their TK and GRs. Several countries experiences also indicate that such an approach should also be based on a comprehensive strategy for protecting TK that involves also important policy issues that includes and go beyond the IP domain protection (exclusive rights). Here the provisions of the Convention on Biological Diversity (CBD) on access to genetic resources and benefit sharing (ABS) and on traditional knowledge and associated genetic resources arise particularly fitting to protect beyond IP, as they offer the possibility of a win-win situation – conserving biological diversity and traditional knowledge and creating opportunities for deriving economic benefits from each country's array of biological resources. In the light of this, TK and GRs holders and many international policymakers are calling for new policies and laws in this area to support the global and full implementation of CBD. This means, ratifying the Nagoya Protocol, embracing Patent Disclosure Requirements and encourage positive collaboration between traditional and modern scientists to support innovation and increase prosperity.

Findings also indicate that addressing the goals of sustainable development, scientific knowledge and appropriate technologies are central to resolving the economic, social and environmental problems that make current development paths of traditional systems unsustainable. For example, Article 8(j) of the Convention on Biological Diversity (CBD) requires parties, subject to their national laws "to respect, preserve and maintain knowledge, innovations and practices of indigenous peoples and local communities embodying traditional lifestyles relevant for the conservation and sustainable use of biological diversity". Because of CBD, it is increasingly accepted that modern science does not constitute the only form of knowledge, and that other forms and systems of knowledge play an important role in addressing sustainable development issues at the local level, such as natural resources management and biodiversity conservation. To support this is the fact that indigenous peoples and local communities have nurtured and developed traditional systems of knowledge in diverse areas that are extremely valuable as they include information often unknown to science. This means that moving towards sustainable development in many areas it will require a closer cooperation between scientists and the holders of TK.

Italy, for example, with its immense cultural stock and variety of natural ecosystems has endless opportunities to forge positive collaboration between TK holders and modern scientists to protect the intellectual property still hidden its traditional cultural expressions (seasonal festivals, gastronomic ingredients and recipes, among others) and natural resources as a way to lift creativity together with innovation as a way to support IP-based prosperity.

In the effort to quantify TK and GRs protection using both conventional IP laws and sui generis regimes, the Project Potato Park in Peru brings evidence that acting in the interface between IP and customary laws is essential to secure indigenous peoples and local communities full participation thereby creating capacities to maintain biocultural systems to develop alternative models for IPLCs well-being. This approach enabled this project to provide indigenous communities with an appropriate choice of forms of protection and assisted them to assess their interests to choose their own directions for the protection and use of their TK and GRs. In particular, the Potato Park

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

communities managed to develop biocultural heritage-based innovations for food security and climate resilience through the "Repatriation, Restoration and Monitoring of Agro-biodiversity of native potatoes and Associated Community Knowledge Systems", by going through an arduous legal process to obtain access permission from ex-situ collections to bring back home their traditional potato varieties. They won this long, costly and time-consuming legal battle by arguing that 'traditional knowledge and natural resources cannot be separated and that, consequently, the indigenous' native potatoes varieties repatriation was needed to protect their traditional knowledge'. The lesson learnt in this contentious project was that the ABS instrument was developed from the perspective of granting access to external GRs users, companies etc. to the resources of southern countries' indigenous peoples and local communities, which is strenuous to reverse in the course of action, and proposes that since CBD and ITPGRFA are based on Access and Benefit-Sharing (ABS) and Material Transfer Agreements there is great chance that these two frameworks build on this case to reverse the ABS Paradigm to also easy IPLCs access to their lost genetic resources (as in this case via repatriation) thereby addressing also the rights of the original providers of the genetic resources to the ex-situ collections.

It is expected that the outcomes of this research together with the lessons learnt from the national experiences presented (including that of the Peru project) provide a flavour of what can be accomplished in terms of biodiversity preservation when access and benefit-sharing mechanisms are put in place effectively. Main findings reveal the bulk of wealth that endogenous innovation can bring to the whole society when elements of traditional knowledge, biodiversity, landscapes, cultural values and customary laws are safeguarded by using a comprehensive strategy for protecting TK and GRs with strong integration and coordination between communities' customary laws and IP policy legislations at national, regional and international level.

References

1. Ernst, H. (2017). Intellectual property as a management discipline. Technology & Innovation, 19(2), 481-492.
2. Andanda, P. (2012). Striking a balance between intellectual property protection of traditional knowledge, cultural preservation and access to knowledge.
3. Swiderska, K. (2006). Banishing the biopirates: a new approach to protecting traditional knowledge. Gatekeeper series/International Institute for Environment and Development, Sustainable Agriculture and Rural Livelihoods Programme; no. 129.
4. Dutfield, G. (2006). Protecting traditional knowledge: pathways to the future (No. 16). International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD).
5. Laird, S., Wynberg, R., Rourke, M., Humphries, F., Muller, M. R., & Lawson, C. (2020). Rethink the expansion of access and benefit sharing. Science, 367(6483), 1200-1202.
6. Martens, P., & Soobramanien, T. Y. (2016). Fostering Development of Local Communities Through the Protection of Traditional Knowledge and Origin Products. Commonwealth Library online. Retrieved at https://www.thecommonwealth-ilibrary.org/commonwealth/trade/fostering-development-of-local-communities-through-the-

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

protection-of-traditional-knowledge-and-origin-products_5jm26c5slbjh-en

7. Ouma, M. (2017). Traditional knowledge: the challenges facing international lawmakers. Online article of February 2017. WIPO Magazine. Geneva, Switzerland. Retrieved at https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2017/01/article_0003.html
8. Dutfield, G. (2005). Legal and Economic Aspects of Traditional Knowledge. In K. Maskus & J. Reichman (Eds.), International Public Goods and Transfer of Technology Under a Globalized Intellectual Property Regime (pp. 493-520). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511494529.025
9. WIPO. Intellectual Property and Traditional Knowledge. Booklet N. 2. Retrieved at https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/tk/920/wipo_pub_920.pdf
10. Oguamanam, C. (2018). Wandering footloose: Traditional knowledge and the "Public Domain" revisited. The Journal of World Intellectual Property, 21(5-6), 306-325.
11. Gebrehiwot, T. (2014). The access and benefit-Sharing law regarding genetic resources and traditional knowledge in Africa under the international intellectual property regime (Doctoral dissertation, University of Pretoria).
12. Thurow, L. (1997). Needed: A New System of Intellectual Property Rights. Harvard Business Review - Online Magazine. Retrieved at https://hbr.org/1997/09/needed-a-new-system-of-intellectual-property-rights#
13. Nayak, M. (2019). The Misappropriation of Traditional Knowledge. Denver Journal of International Policy and Law. Online Article. Retrieved at https://djilp.org/the-misappropriation-of-traditional-knowledge/
14. WIPO. Intellectual Property and Traditional Knowledge. Booklet N. 2. Retrieved at https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/tk/920/wipo_pub_920.pdf
15. Curci, J. (2010). The protection of biodiversity and traditional knowledge in international law of intellectual property (No. 12). Cambridge University Press.
16. UNU-IAS. (2005). Access & Benefit Sharing, Traditional Knowledge & Customary Law Workshop Cairns, Australia. United Nations University – Institute of Advanced Studies. Online pdf. Retrieved at http://www.abs-initiative.info/fileadmin//media/Stakeholders_and_Topics/TK/CAIRNS_DRAFT_REPORT.pdf
17. Swiderska, K. (2006). BANISHING THE BIOPIRATES: A NEW APPROACH TO PROTECTING TRADITIONAL KNOWLEDGE. Gatekeeper series. Retrieved at https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/14537IIED.pdf?
18. Saez, C. (2012). Genetics Disclosure Requirement In IP Applications Necessary To Comply With Obligations, Speakers Say. IP Watch – International Policy News, Article online. Retrieved at https://www.ip-watch.org/2016/02/19/disclosure-requirement-in-ip-applications-necessary-to-comply-with-obligations-speakers-say/
19. Dutfield, G. (2005). Thinking Aloud on Disclosure of Origin. Thinking Aloud on Disclosure of Origin. Ontrio, Canada. Retrieved at https://www.researchgate.net/profile/Graham-Dutfield/publication/228385282_Thinking_Aloud_on_Disclosure_of_Origin/links/0a85e5308fb2133f4a000000/Thinking-Aloud-on-Disclosure-of-Origin.pdf

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

20. WIPO (2020). Traditional Knowledge and Intellectual Property – Background Brief. Online article. WIPO Media Center. Retrieved at https://www.wipo.int/pressroom/en/briefs/tk_ip.html
21. Sietz, D., & Feola, G. (2016). Resilience in the rural Andes: critical dynamics, constraints and emerging opportunities.
22. WIPO (2018). A Guide to Intellectual Property Issues in Access and Benefit-sharing Agreements. Online booklet in pdf. Geneva, Switzerland. Retrieved at https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1052.pdf

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Architetture e contemporaneità. Il caso del Palazzetto dello Sport di Bastia Umbra

Fabio Bianconi [1], Marco Filippucci [1], Michela Meschini [1,*] and Filippo Cornacchini [1]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 93

***** Autore di riferimento. E-Mail: michela.meschini@yahoo.com

Abstract: La presente ricerca si occupa del recupero del Palazzetto dello Sport di Bastia Umbra, architettura post moderna progettata dall'Arch. Leoncilli Massi e realizzata nei primi anni Ottanta. Lo scopo è quello di fare una riflessione sull'opera, cercando di capirne la genesi, partendo dalle stesure progettuali. Il rilevamento, effettuato tramite laser scanner, ha permesso l'elaborazione di un clone digitale; da qui, una serie di ipotesi che da una parte risolvono le difficoltà tecnologiche, puntano ad una riqualificazione energetica ed infine ne restituiscono la contemporaneità architettonica.

Keywords: energy retrofit; post-modern architecture; contemporary architecture.

1. Introduzione

Il presente studio affronta il tema della riqualificazione di edifici realizzati negli ultimi decenni del XIX secolo; si tratta di manufatti che, pur continuando ad espletare le proprie funzionalità, hanno dei caratteri tecnologici che ne rendono ad oggi necessaria una rivisitazione in chiave contemporanea, tanto di carattere energetico quanto architettonico. In particolare, si vogliono considerare le architetture post moderne, opere con una forte connotazione architettonica e storica.

Il movimento postmoderno mosse i suoi primi passi negli anni '60 ed emerse come una profonda critica verso l'architettura moderna. Le accuse dirette alla corrente precedente si concentravano soprattutto sulle rigide dottrine che sfociavano in una piatta uniformità di idee e sulla mancanza di ornamenti e riferimenti alla storia e alla cultura delle città. I testi dell'architetto e teorico Robert Venturi diventarono presto i manifesti di questa nuova visione architettonica: in "Complessità e contraddizione

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

nell'architettura" propose l'accantonamento delle rigide formalità del modernismo per dare spazio a riferimenti stilistici giocosi e simbolici, in forte contrasto con il postulato modernista coniato da Adolf Loos "ornamento e delitto" e con la celebre frase di Mies van der Rohe "Less is more"[1].

I suoi caratteri estremi e forzati e i suoi elementi figurativi spesso eccessivi hanno portato questo movimento a ricevere forti critiche e soprattutto a risultare "fuori moda" al giorno d'oggi. È proprio la moglie di Venturi, Denise Scott Brown, a lanciare un appello in difesa della corrente architettonica a cui ha dato vita insieme al marito: "Il PoMo ha il difetto di essere desueto senza essere ancora abbastanza vecchio per essere rivalutato" [2]. In questi anni, infatti, sono celebri i casi di alcuni edifici postmoderni a rischio demolizione, come la Abrams House a Pittsburgh e un'ala del San Diego Museum of Contemporary Art progettata proprio dello studio Venturi & Scott Brown.

Se da un lato c'è, quindi, chi ritiene le architetture postmoderne quantomeno bisognose di una rivisitazione architettonica in chiave contemporanea, dall'altro c'è chi vuole preservare il costruito e alimentare questa corrente. "Una nuova generazione di architetti cresciuta nella rivalutazione dei riferimenti postmoderni sta venendo fuori" aggiunge sempre Denise Scott Brown [3]. A confermare le sue parole possono essere citati i movimenti finalizzati alla difesa di alcune opere postmoderne come l'AT&T Building di Philip Johnson, la Wave House di Walter S. White e la Sainsbury Wing National Gallery a Londra.

È quindi forte e attuale il dibattito relativo alla riqualificazione architettonica degli edifici del tardo novecento, mentre è oggettiva quanto essenziale una riconsiderazione di queste costruzioni dal punto di vista energetico. Al giorno d'oggi, infatti, si è rafforzata la volontà e la necessità di ridimensionare i consumi energetici relativi alle attività umane, soprattutto a causa dei cambiamenti climatici degli ultimi anni. Le istituzioni nazionali ed europee si sono mosse con vigore per arginare il problema e promuovere tecnologie green, attraverso nuove linee guida attuate con specifiche leggi e decreti [4–6].

In Italia, in questo senso, si hanno numerosi strumenti per il recupero energetico sull'esistente, si pensi ai vari incentivi, come il recente bonus 110 introdotto dal Decreto Rilancio [7]. Per le nuove costruzioni private, dall'inizio di questo anno, sussiste inoltre l'obbligo di standard nZEB, ovvero edifici ad elevata efficienza energetica [8].

Risulta quindi necessaria una riflessione approfondita sulle modalità di intervento per la riqualificazione tecnologica-ambientale di questi edifici, che tenga in considerazione il valore storico artistico del bene e sia in grado di approcciarsi alla riconversione in modo coerente dal punto di vista architettonico. La presente ricerca si pone, quindi, come obiettivo l'integrazione delle questioni architettoniche e impiantistiche promuovendo buone pratiche che permettano l'adeguamento agli standard energetici, ponendo, però, a premessa una attenta lettura e un'analisi del valore culturale del bene.

2. Il caso studio

Il Palazzetto dello Sport nasce come mercato coperto per la città di Bastia Umbra, nella zona di S. Lucia; la progettazione è affidata al "Collettivo Punto Zero", in cui l'Arch. Giancarlo Leoncilli Massi segue

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

la parte architettonica. Una prima stesura risale al 1972, anno in cui il progetto venne approvato, tuttavia la realizzazione sarà completata solo nel 1983; nel corso degli anni il progetto segue una sua evoluzione, legata anche alla variazione di destinazione d'uso. A seguito dell'erogazione di fondi da parte del CONI, infatti, il mercato coperto diventa Palazzetto dello Sport.

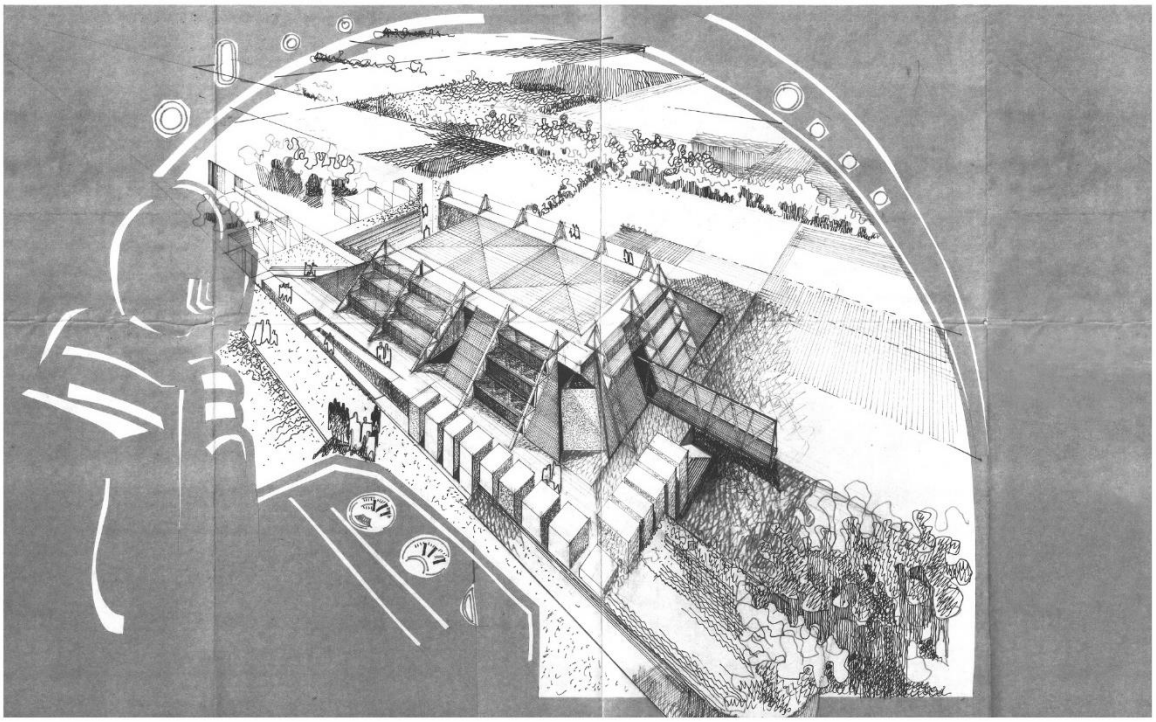
L'opera presenta una atipica forma a tronco di piramide che ricorda la mastaba egizia, differenziandosi però grazie alla pianta rettangolare (e non quadrata) e alla presenza di un basamento, che in principio doveva contenere dei box per il mercato all'aperto. Ma se la piramide funziona per gravità, l'Arch. Leoncilli Massi rovescia la logica e inserisce un esoscheletro, elemento caratterizzante di tutto il progetto. La struttura richiama le tematiche dell'architettura post-moderna, come i colori scelti o piuttosto l'arco-finestra termale; e ancora, la frammentarietà che si ritrova in ogni angolo dell'edificio, dove si inseriscono scalinate, uscite, ingressi. In ultimo, il disassamento, con il basamento che crea una "L" sul lato est. Dal punto di vista strutturale, si tratta di una struttura mista: la piramide è in acciaio con le travi che costituiscono l'esoscheletro a vista, mentre la parte restante è in cemento armato (Figura 1).

Figura 1. Il Palazzetto dello Sport di Bastia Umbra, stato attuale.

Andando a esaminare quella che è la genesi compositiva, sono un valido aiuto le tavole progettuali: da una di queste è presente un disegno prospettico (Figura 2), in cui è rappresentata una prima idea dell'opera. In esso si nota la mancanza dell'esoscheletro, in favore di una serie di gradonate separate tra loro da travi reticolari. Sono invece presenti i box per il mercato all'aperto e una grande scalinata nel lato posteriore.

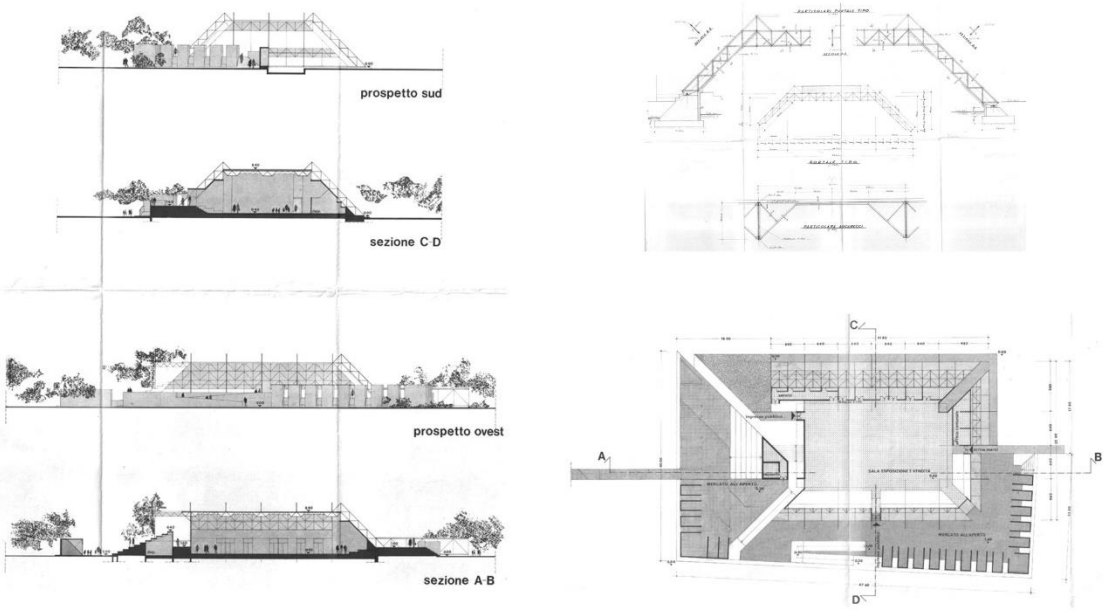
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 2. Prima stesura del progetto del Palazzetto dello Sport.



Si assiste successivamente ad una evoluzione del progetto (Figura 3): la destinazione d'uso è ancora a mercato coperto; si evince dai box esterni che, seppur mutati in numero, sono ancora presenti, ma sormontati da una particolare pensilina di sezione triangolare. La scala sul lato posteriore viene specchiata, in modo da favorire l'ingresso lungo tale lato. È in questa fase che compare il caratteristico esoscheletro. Infine, tutta la struttura poggia su tre gradini, che ne costituiscono quindi il crepidoma.

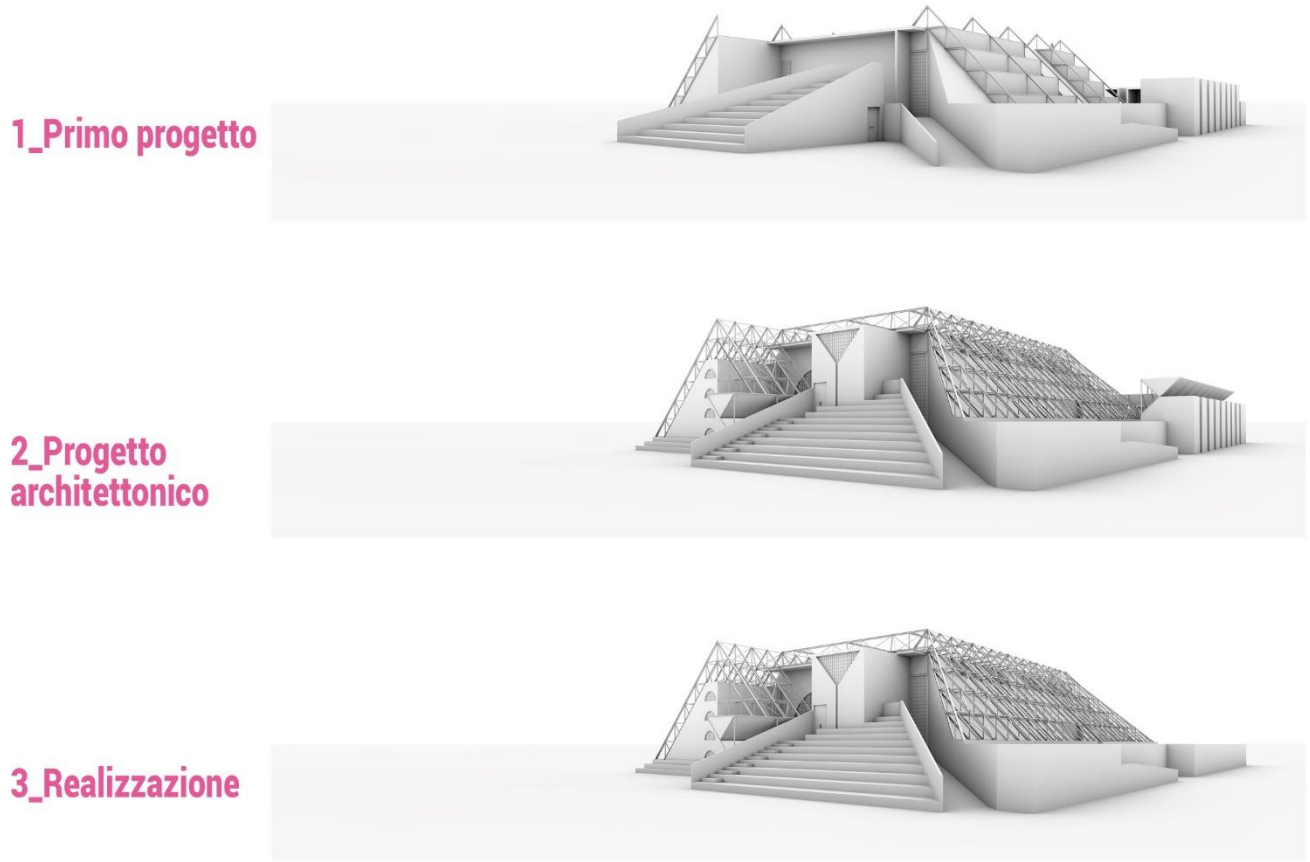
Figura 3. Seconda stesura del progetto del Palazzetto dello Sport.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Nell'ultima fase progettuale si arriva alla configurazione attuale di Palazzetto dello Sport, e questo fa sì che i box esterni vengano inglobati in un unico elemento compatto.

Figura 4. Confronto fra le varie ipotesi progettuali.



L'inaugurazione è avvenuta il 16 novembre 1983, in cui presenziarono, oltre alla giunta comunale, le autorità regionali, provinciali e comprensoriali e delle federazioni e associazioni sportive, a dimostrazione della rilevanza e dell'impatto che tale architettura aveva nel territorio; importanza che si rileva tutt'ora: rientra, infatti, tra le opere selezionate nel censimento delle architetture contemporanee del MiBAC.

Tuttavia, allo stato attuale il Palazzetto risente di una serie di problematiche, proprie delle tecnologie utilizzate all'epoca: Il passare del tempo ha fatto sì che numerose superfici, sia dell'esoscheletro che delle pareti esterne, risultino oggi ammalorate. Le infiltrazioni d'acqua fanno capolino sia dalla copertura che dalle finestre; e ancora problemi di graffitismo e parkour degradano l'intera area. Il recupero tecnologico e energetico è anche volano di una lettura in chiave contemporanea dell'opera; in tal senso si sono strutturate una serie di ipotesi di riqualificazione.

Il primo passo per lo studio dell'opera è stato quello di effettuarne il rilievo (Figura 5); in questo caso si è scelto l'utilizzo di un laser scanner associato ad una fotocamera sferica. La strumentazione è stata opportunamente posizionata in modo da ricoprire tutta l'area, sia all'interno che all'esterno del Palazzetto dello Sport; la nuvola di punti che si è andata a delineare ha così definito il clone digitale. Da

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

questo è stato possibile ricavarne gli elaborati grafici classici, consentendo di sviluppare una serie di strategie progettuali per la riqualificazione dell'opera.

Figura 5. Rilievo tramite laser scanner e fotocamera sferica.

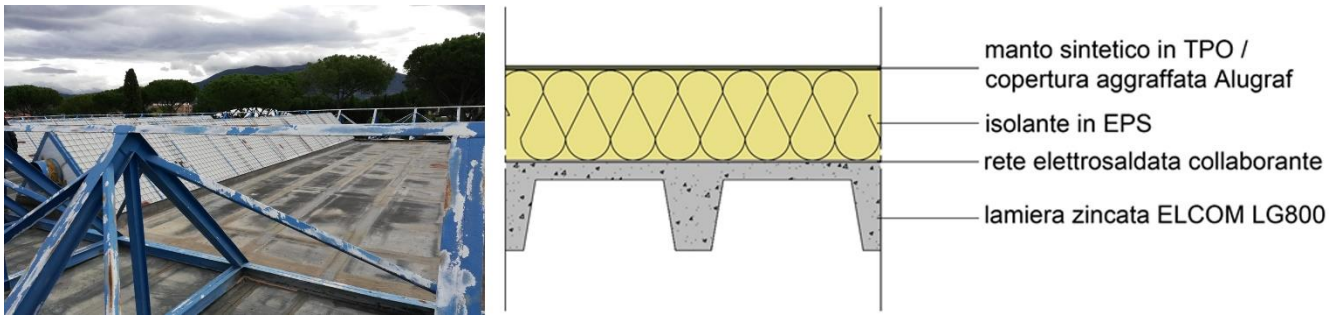
3. Gli interventi proposti

Il primo passo per la riqualificazione del Palazzetto dello Sport, propedeutico a tutti gli interventi proposti, è stato lo studio delle **infiltrazioni** d'acqua, presenti sia a livello della copertura che delle piccole finestre termali presenti come rientranze nei due lati lunghi della piramide.

La copertura è costituita da un solaio in lamiera zincata; il problema delle infiltrazioni risale al livello della guaina, che nel corso degli anni si è logorata. L'occasione è quella di rivedere in toto il manto di copertura, ovvero sia lo strato isolante, ipotizzato in EPS, che quello impermeabilizzante, ad esempio con lastre "sistema Alugraf" o manto in TPO (Figura 6).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 6. Stato attuale del manto di copertura (a sinistra) e nuova stratigrafia proposta (a destra).

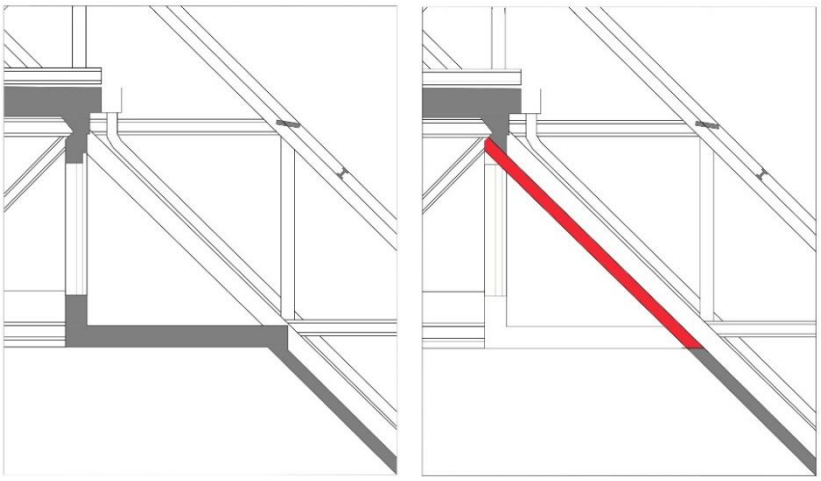


Per quanto riguarda le lunette, l'infiltrazione risale nell'infisso (Figura 7):

Figura 7. Stato attuale delle lunette (a sinistra) e dettaglio (a destra).

Per non modificare la composizione architettonica voluta dall'Arch. Leoncilli Massi, si è pensato di lasciare intatte le finestre termali all'interno, chiudendole all'esterno e ripristinando la continuità con quello che è il pannello sottostante all'esoscheletro attraverso una chiusura coibentata (Figura 8).

Figura 8. Chiusura delle lunette interne.

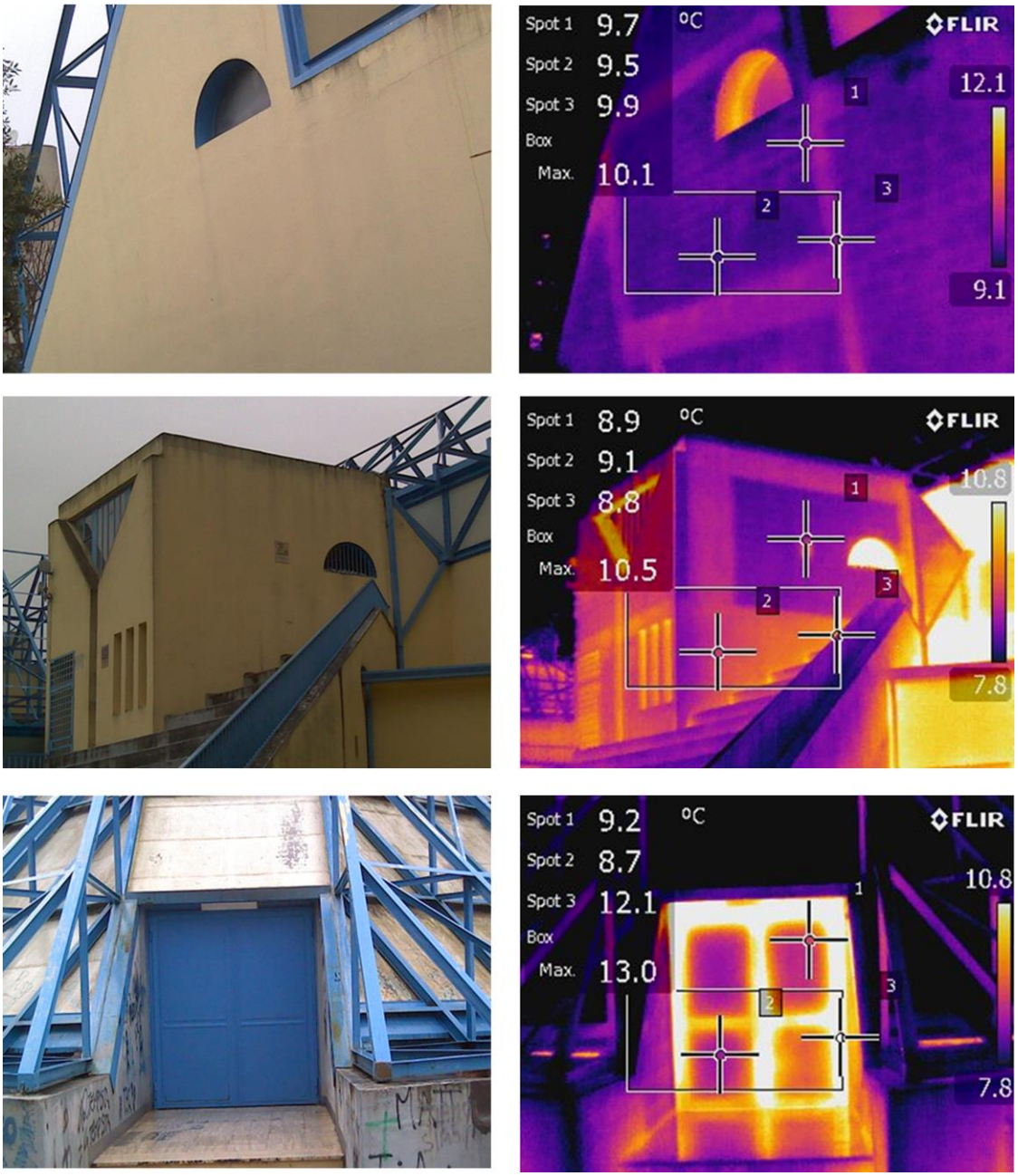


ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Si è passati poi allo studio dell'**isolamento termico**: è stato necessario effettuare un'analisi termografica per verificare la presenza di ponti termici. All'esterno dell'edificio, l'indagine ha messo in evidenza attraverso la variazione cromatica l'intelaiatura in cemento armato, ben visibile con la termocamera, così come le dispersioni termiche dovute agli infissi (Figura 9).

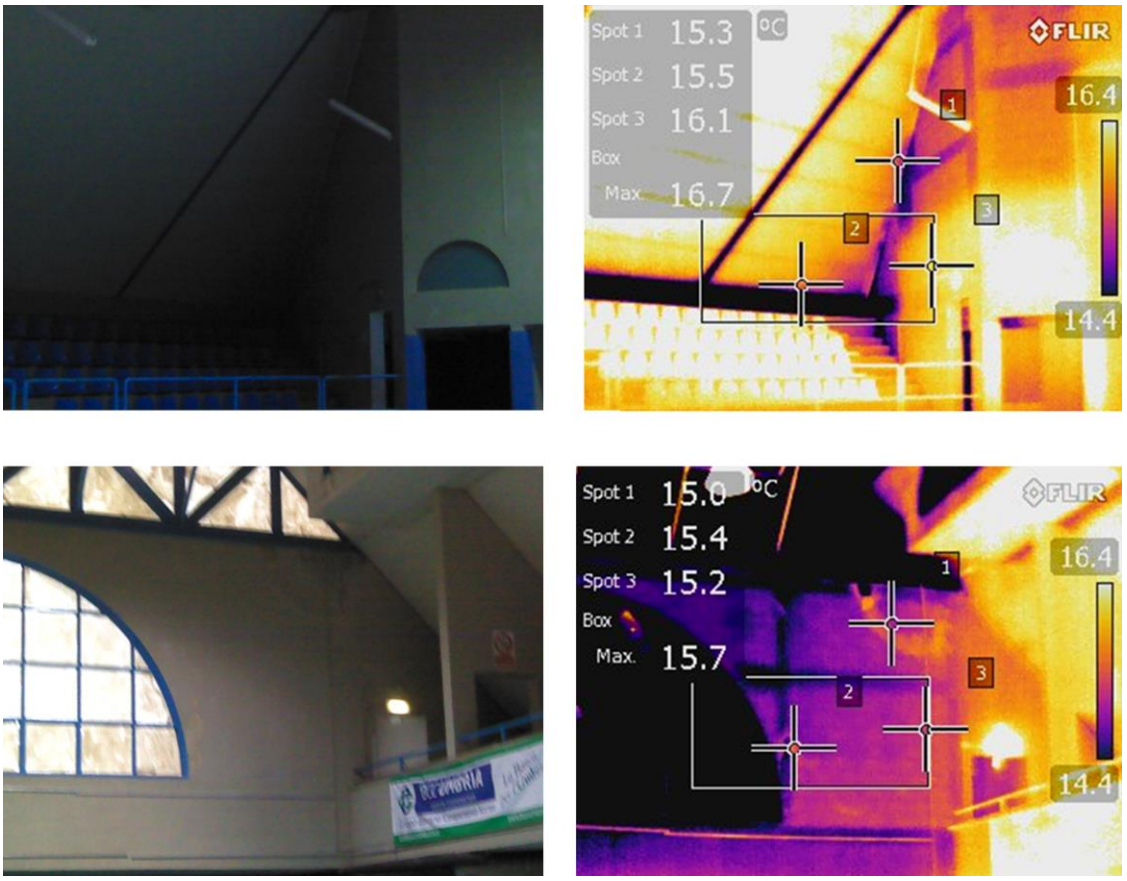
Nella parte interna (Figura 10), lo strumento ha inoltre rilevato le porzioni murarie in cui sono presenti infiltrazioni d'acqua.

Figura 9. Confronto tra immagini (sinistra) e termogrammi (destra) nella parte esterna del Palazzetto dello Sport.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

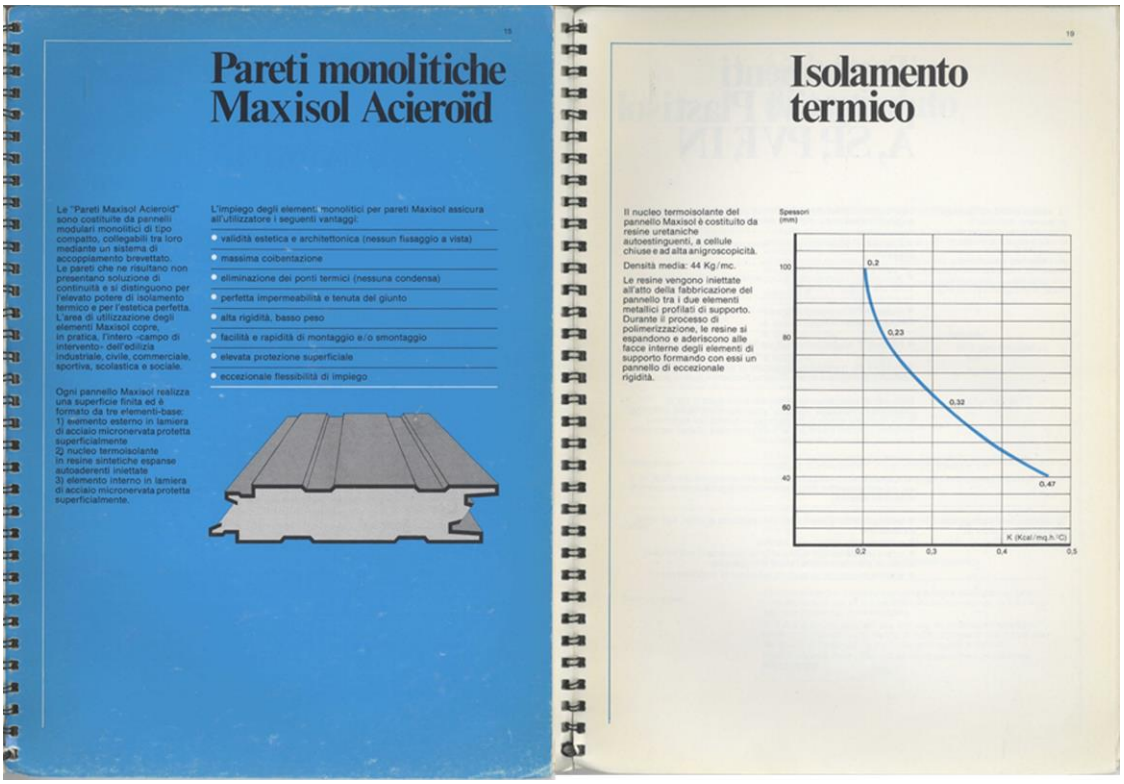
Figura 10. Confronto tra immagini (sinistra) e termogrammi (destra) nella parte interna del Palazzetto dello Sport.



Parallelamente, si è studiata la stratigrafia delle pareti; per quanto riguarda la parete relativa all'esoscheletro in acciaio, sono state effettuate alcune ricerche per caratterizzare il pannello che costituisce la parte interna continua della piramide. Si tratta del pannello "Maxisol" della ditta Acieroid Italiana, società che tra gli anni Settanta e Ottanta era un fiore all'occhiello per la nostra nazione, tanto da vincere nel 1974 il premio Medaglia d'oro Exporters [9]. Tramite il Politecnico di Torino si è venuti in possesso della pubblicazione "Costruire Pareti" [10] della stessa ditta, in cui vengono esposte le caratteristiche dei principali prodotti (Figura 11) ed, in particolare, del pannello Maxisol. In base allo spessore (8 cm) e la densità (44 Kg/mc) si è ricavato il valore della trasmittanza, che risulta essere di 0,267 W/mqK e che è stato preso come valore di riferimento per la riqualificazione.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 11. Pubblicazione “Costruire Pareti” della Acieroid Italiana



Per quanto riguarda invece la parte in cemento armato, considerando uno spessore murario di 20 cm e l’intonaco sia nella parte esterna che interna, la trasmittanza risulta essere di 2,129 W/mqK.

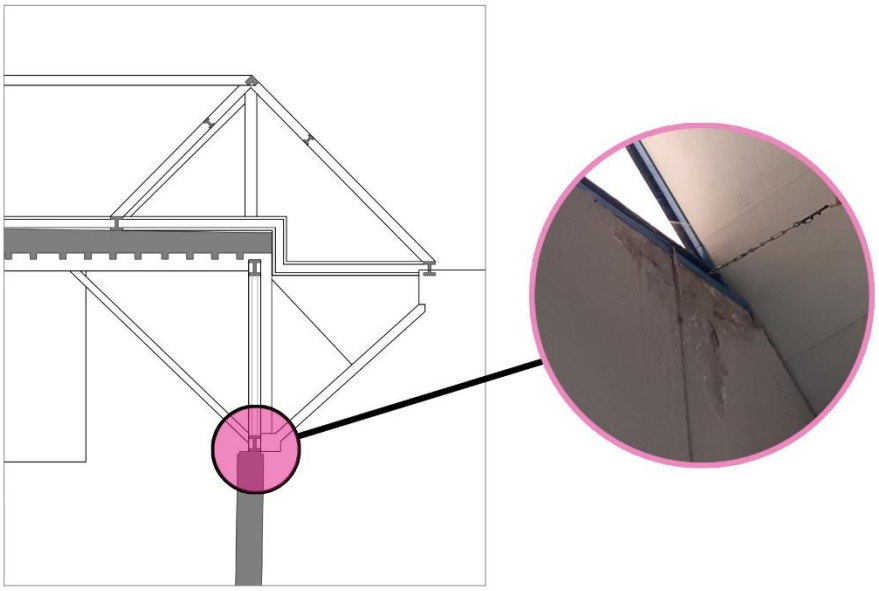
Per eliminare i ponti termici, visti con l’indagine termografica, e ottenere dei valori di trasmittanza in linea con quelli che sono i limiti attuali, si è pensato all’apposizione di un cappotto nella parte interna per entrambe le strutture. Il sistema di fissaggio è per incollaggio nel caso della parte in acciaio, tramite una struttura in cartongesso nella restante parte in cemento armato (Figura 12). L’isolante scelto è EPS nel primo caso, con uno spessore di 8 cm, nel secondo lana di roccia, con uno spessore di 14 cm. In questo modo la trasmittanza arriva a valori rispettivamente di 0,163 W/mqK e 0,228 W/mqK, ben inferiori del limite di 0,26 W/mqK.

Figura 12. Stratigrafia prevista per l’isolamento delle pareti.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Per quanto riguarda gli infissi, che risentono anch'essi delle infiltrazioni d'acqua (Figura 13), andranno sostituiti con la tipologia a taglio termico, che assicura una trasmittanza inferiore a 1,67 W/mqK.

Figura 13. Infiltrazioni d'acqua negli infissi.



Gli ultimi due interventi proposti cercano di superare le problematiche relative al degrado urbano (Figura 14): in primo luogo c'è il fenomeno del **graffitismo**, presente in maggior rilievo nella terrazza, dove le pareti in cemento armato vengono continuamente imbrattate. Il secondo problema è relativo al **parkour**: l'esoscheletro ben si presta ad arrampicate, provocando in qualche occasione persino incidenti gravi.

Figura 14. Stato attuale del Palazzetto dello Sport.

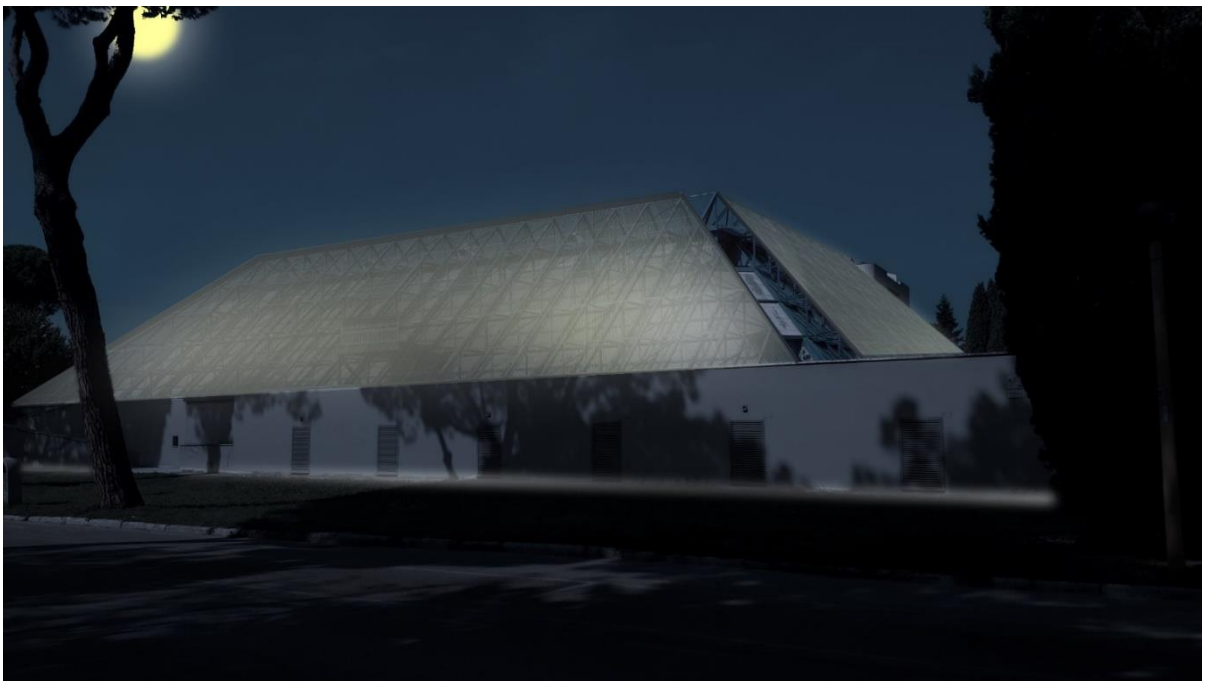
A fronte di un necessario recupero dell'opera dal punto di vista architettonico, che non stravolga l'intenzionalità progettuale, ma che riesca a dare una chiave di lettura contemporanea, si è pensato di rivestire la struttura in acciaio con una lamiera stirata, opportunamente agganciata alla struttura esistente; la texture scelta permetterà di vedere ancora l'importante esoscheletro, ma allo stesso

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

tempo ne impedirà la salita. Per quanto riguarda, invece, le rimanenti parti del Palazzetto dello Sport (comprendendo anche scale e pavimentazione), si è ricorsi ad un rivestimento in gres, materiale leggero e di facile manutenzione.

Le figure seguenti (Figure 15-16) riepilogano e mostrano, alla luce degli interventi proposti, la nuova configurazione del Palazzetto dello Sport, nella versione diurna e notturna:

Figure 15-16. Proposta per una nuova configurazione del Palazzetto dello Sport, versione diurna e notturna.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Conclusioni

Il tema della riqualificazione energetica rappresenta un tema di grande attualità, alla luce dei cambiamenti climatici a cui stiamo assistendo; in materia di efficienza energetica è cresciuta sempre più l'attenzione, fino alla definizione degli nZEB. Ogni paese membro dell'Europa ha recepito le Direttive Europee e definito criteri e requisiti per la realizzazione degli edifici ad energia quasi zero. Inoltre, da gennaio 2021 è un parametro obbligatorio in Italia per tutti i nuovi edifici.

Se questo è vero per le nuove costruzioni, la stessa attenzione si deve avere per il nostro patrimonio costruito, ed in tal senso l'Italia ha decretato una serie di incentivi volti al recupero dell'edilizia esistente. Un particolare interesse va dato in questo senso a quelle opere in cui si riconoscono significati culturali. Il caso preso in esame è paradigmatico: il Palazzetto dello Sport è un esempio di architettura post moderna realizzata nei primi anni Ottanta, quando l'attenzione alle tematiche energetiche non era ancora preponderante nella progettazione. Il recupero di questi manufatti va pensato con particolare attenzione, in quanto oltre alla sostenibilità ambientale va tenuto conto dell'aspetto architettonico che va preservato. La necessità è quella di fornire una lettura in chiave contemporanea che conservi le scelte compositive dell'opera.

Gli interventi proposti mirano quindi a superare le difficoltà tecnologiche, come il rifacimento del manto di copertura, che provoca infiltrazioni d'acqua, così come la sostituzione degli infissi. Lo studio dei materiali utilizzati, la loro posa in opera e l'indagine termografica hanno fatto ricadere la scelta del recupero energetico sull'inserimento di un isolante all'interno della struttura. Infine, il degrado urbano, risolto con l'apposizione di rivestimenti opportunamente scelti i quali, insieme allo studio cromatico, concorrono ad un ammodernamento globale della struttura.

Dagli studi effettuati si può dedurre come sia possibile un efficientamento energetico sensibile e scientificamente efficace, che non implichi una sopraffazione dell'esistente, ma che tenga conto dei delicati valori culturali insiti dell'opera. La ricerca multidisciplinare è in grado quindi di rappresentare da una parte un principio di conservazione del bene e dall'altra di dare una chiave di lettura contemporanea del manufatto, al fine di migliorare la qualità dei luoghi.

Bibliografia

1. Venturi, R. *Complessità e contraddizioni nell' architettura*; Dedalo: Bari, 1980; ISBN 8822008111.
2. Orazi, M. Ha senso demolire il Postmodern solo perché è "fuori moda"? - Domus Available online: https://www.domusweb.it/it/opinion/2018/08/06/ha-senso-demolire-il-postmodern-solo-perch--fuori-moda.html (accessed on Mar 28, 2021).
3. *Mediated Messages: Periodicals, Exhibitions and the Shaping of Postmodern Architecture*; Patteeuw, V., Szacka, L.-C., Eds.; Ava Pub Sa: London, 2020;
4. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
5. D.L. 63/2013 2013.
6. D.M. 26/2015 2015.
7. D.L. 34/2020 2020.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

8. D.Lgs. 48/2020 2020.
9. Roma: Premi Exporters - Archivio storico Istituto Luce Available online: https://patrimonio.archivioluce.com/luce-web/detail/IL5000073428/2/roma-premi-exporters.html&jsonVal= (accessed on Mar 28, 2021).
10. Acieroid Italiana *Costruire Pareti*; Agema: Milano;

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Il disegno della riforestazione. Processi di rigenerazione dell'area dell'ex centrale Enel di Pietrafitta.

Fabio Bianconi[1], Marco Filippucci[1], Simona Ceccaroni[1] and Marco Seccaroni[1*]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 93, 06125 Perugia, Italy

***** E-Mail: marco.seccaroni@unipg.it

Abstract: Gli interventi insediativi di carattere produttivo hanno generato un'importante frammentazione del territorio, portandolo all'emarginazione, all'abbandono e al degrado. I valori del luogo possono essere ritrovati in quegli elementi basilari del paesaggio originario, ricerca per cui è strumentale interpretare i segni della storia che si sono ripercossi nel tempo. Lo studio ha come obiettivo il reperimento, l'analisi e la rappresentazione dei dati territoriali, combinata alla redazione di uno studio di pre-fattibilità che si concretizzi in un Master Plan. L'esigenza di rigenerare il territorio ripensando significati, spazi, funzioni e relazioni, vuole trovare il suo fondamento sulle qualità del luogo che possono emergere dai dati, i principi della sostenibilità insiti nella riqualificazione ambientale e nella rivalorizzazione dei manufatti, in un processo integrato che porti alla riattivazione degli interessi della comunità su un'area che necessita di essere ripensata nella sua immagine e nelle sue funzioni.

Keywords: paesaggio; rigenerazione urbana; rappresentazione; percezione.

1. Premessa

In questo difficilissimo periodo storico per l'intera umanità, è il momento di ripensare al rapporto fra l'uomo e la natura. Il territorio umbro racconta attraverso i suoi caratteri geologici e le sue evidenze geomorfologiche un'evoluzione ambientale complessa ed articolata ed è largamente connotato dall'azione dell'uomo.

Tutti i territori hanno una struttura simile: c'è una zona grigia rappresentata dalle infrastrutture, dalle costruzioni, dalle abitazioni e dai parcheggi, c'è poi una zona blu, ovvero fiumi, laghi e stagni, e

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

infine una zona verde che comprende alberi, arbusti, parchi, boschi e giardini. Ottimizzare le interazioni tra questi elementi è la chiave per rimodellare o costruire città capaci di rispondere alle nuove sfide.

L'urbanizzazione, la cementificazione ed il consumo del suolo hanno preso il sopravvento sulla natura, e trovare spazi verdi diventa sempre più complesso. La natura ha molti significati e gli alberi sono forse l'emblema della naturalità, del nostro desiderio di paesaggio, che pensiamo dentro lo spazio urbano senza artifici leziosi, inutili e costosi, senza tappezzerie verticali, senza costrizioni arbitrarie che propugnano, ai più disattenti, facili alibi verdi e invece celano una spudorata azione speculativa fatta di grattacieli e tanti, tanti metri cubi.

Oggi più di ogni altra epoca abbiamo capito che per superare le difficoltà, dobbiamo essere uniti. Insieme si potrà progettare un futuro per le nostre prossime generazioni, ripensando luoghi comuni, ridefinendo le separazioni concettuali e strutturali delle nostre logiche insediative, ripensando il rapporto fra città e campagna e il valore dello spazio pubblico. L'idea di riportare un bosco nella sua collocazione naturale è una visione semplice ma capace di ricreare strati di condivisione e luoghi di comunione.

L'uomo ha bisogno di ricostruire e valorizzare il sistema ambientale, economico, sociale, culturale e del paesaggio. Nasce quindi l'idea di pensare che gli alberi possano essere ancora piantati a terra, possano creare un luogo di socializzazione in uno spazio orizzontale, che crescano, si riproducano, creino vantaggi per la biodiversità, per l'ambiente e per la salute dell'uomo. Gli alberi sono elementi centrali per l'adattamento e la mitigazione ai profondi cambiamenti climatici, per la resilienza anche degli insediamenti urbani, poli che coinvolgano pienamente i nostri sensi, che ci aiutino quindi a vivere meglio.

Pensare oggi agli alberi, ai semplici boschi collocati naturalmente e non a cento metri d'altezza in un terrazzo di un grattacielo, potrebbe raccoglie il biasimo di chi destina il proprio fare esclusivamente allo stupore e alla novità, in un mondo di post-verità dove risulta vero solo quello che più ci convince nel presente, senza pensare che per far crescere un albero occorrano decenni. Comunque, un "bosco orizzontale" fatto di alberi piantati a terra è una opportunità per tutti, un "bosco verticale" è per pochi e costa caro a tutti.

Basandosi su questi presupposti culturali, il gruppo di ricerca, a seguito di un protocollo di intesa, sta guidando i Comuni di Piegaro e Panicale verso la rigenerazione dell'area della ex centrale Enel di Pietrafitta ed i terreni circostanti. É stata presentata una proposta incentrata sulla necessità di far attivare processi di rigenerazione dalla riqualificazione ambientale utilizzando gli alberi. Al centro è posto il ripensamento dell'intera area, in un nuovo rapporto fra il territorio ed i cittadini.

2. Il caso studio

L'area oggetto di studio occupa una superficie di circa 300 ettari ed è collocata all'interno del territorio comunale di Piegaro[1] [Fig.1]. Gli interventi insediativi di carattere produttivo hanno generato un'importante frammentazione del territorio [Fig.2], che ha portato all'emarginazione, all'abbandono e al degrado del luogo stesso.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 1. Inquadramento territoriale.

I valori del luogo possono essere ritrovati in quegli elementi basilari del paesaggio originario, ricerca per cui è strumentale interpretare i segni della storia [2] che si sono ripercossi nel tempo, partendo dalla preistoria in cui vi era collocato il bacino di Tavernelle [3][4][5], residuo dell'antico Lago Tiberino[6] [Fig.3]. Durante il pleistocene [7][8][9][10][11][12], la vegetazione lacustre si è depositata andando a formare importanti giacimenti di lignite [13]. I ritrovamenti anche importanti raccontano le qualità del luogo attraverso le testimonianze descritte dai resti fossili di mammut, ed altri esemplari di vertebrati del Quaternario[14], principalmente appartenenti a grandi mammiferi e conservati presso il Museo Paleontologico Luigi Boldrini di Pietrafitta [15][16][17].

Grazie ai giacimenti lignitiferi, a partire dagli anni Cinquanta, l'attività mineraria si è trasformata a livello organizzativo e tecnico produttivo, diventando uno dei settori di punta dell'industria umbra. Enel, con la costruzione della centrale termoelettrica a bocca di miniera ha assunto un ruolo centrale e di forte importanza per la comunità e per l'economia, ma con l'esaurimento del giacimento lignitifero, e lo sviluppo tecnologico[18] la centrale è stata chiusa. Dal 2001 (anno di chiusura dell'impianto), l'area è stata interessata da un processo di graduale abbandono, vandalismo, emarginazione ed oggetto di numerose vicende di cronaca legate a fattori di inquinamento ambientale definendola "la terra dei fuochi" dell'Umbria.

L'area si presenta pertanto segnata profondamente dall'immagine iconica della centrale [Fig.4] e dei suoi spazi produttivi che ne connota e compromette le qualità di un ambiente comunque caratterizzato da una sua identità, con i macchinari abbandonati che si attestano come manufatti pittoreschi quasi fossero installazioni e il lago che si propone come un luogo di grande attrattività.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Pertanto, l'obiettivo della ricerca è quello di riuscire a fare emergere le qualità di questo luogo e le sue criticità al fine di poter indirizzare attraverso la proiezione di un master plan quei processi di rigenerazione territoriale che possano portare l'area ad essere parte integrante del territorio circostante, riacquisendo attrattività creando una convergenza di interessi.

Figure 2. Evoluzione del territorio nel tempo.

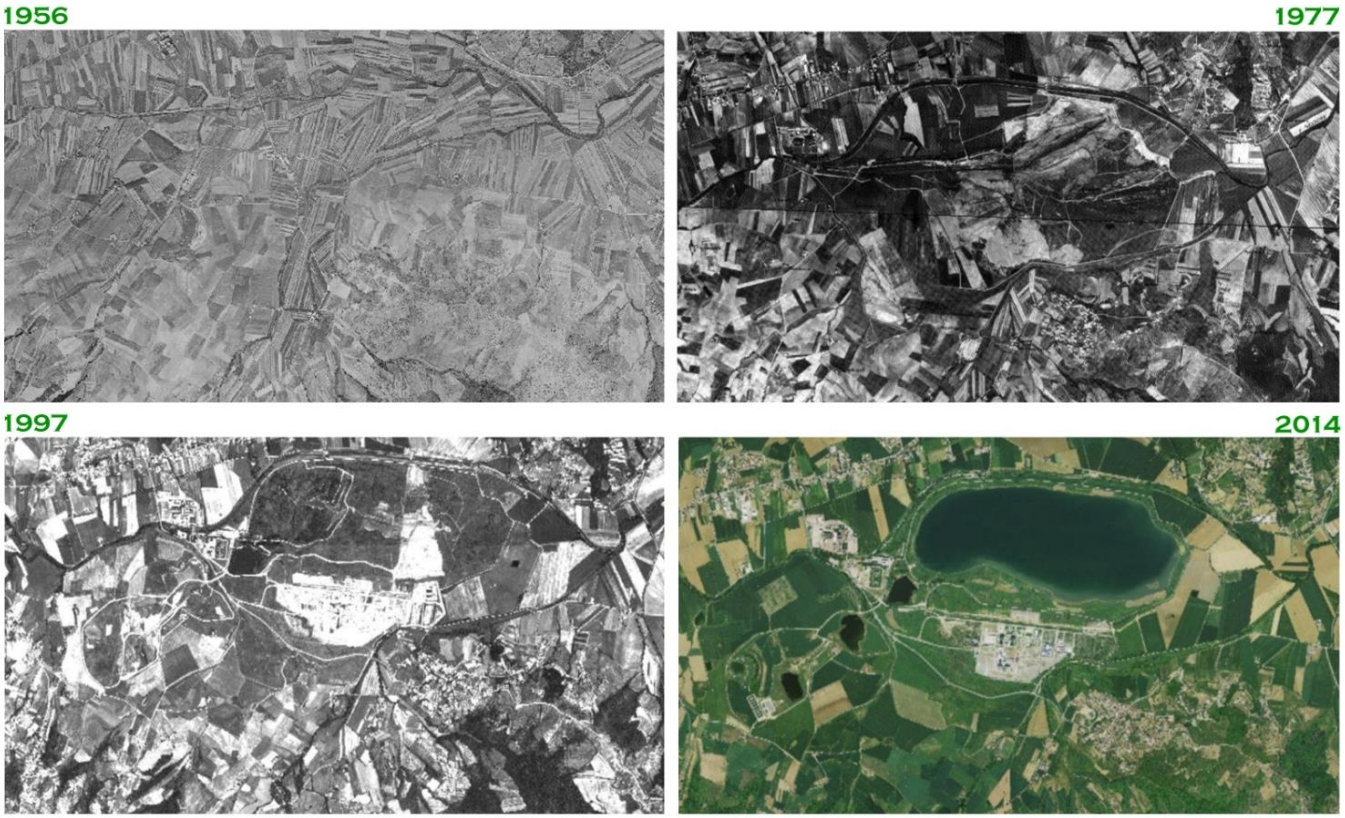
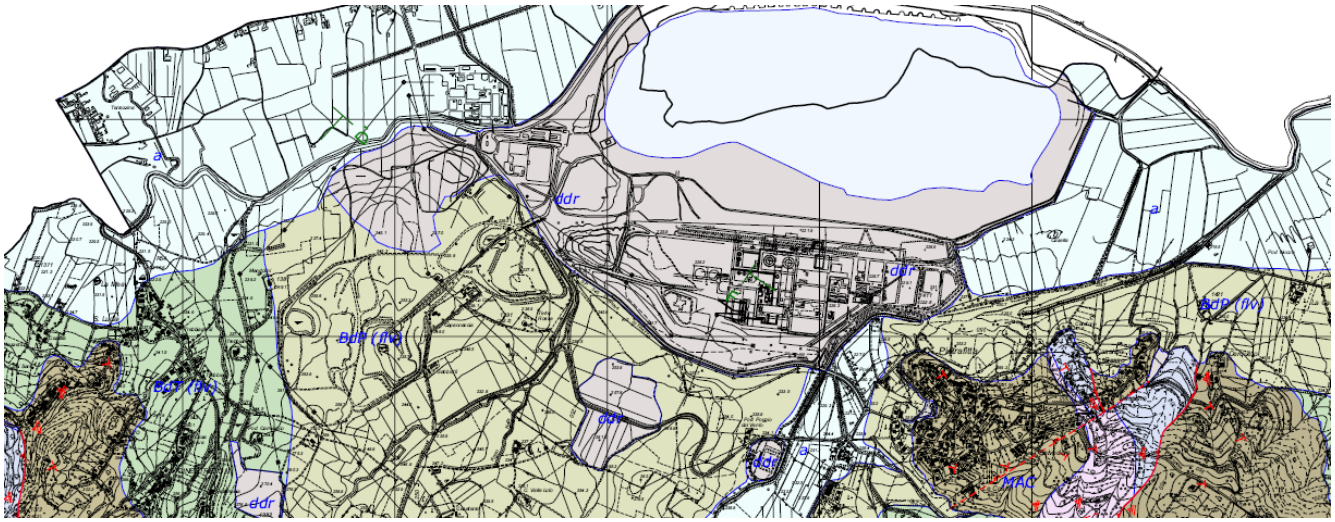


Figure 3. Carta geolitologica dell'area.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 4. Ex centrale Enel in stato di abbandono

3. La proposta progettuale

La metodologia proposta è costituita da due fasi: una analitica ed una progettuale.

La prima, è caratterizzata dalla raccolta di dati ed uno studio approfondito del territorio [19][20][21][22][23], del paesaggio e dell'ambiente in cui vengono individuati punti di forza, esigenze, potenzialità del distretto industriale esistente, criticità ambientali e la percezione del territorio. Tale fase rappresenterà un risultato concreto della ricerca, basilare per lo sviluppo di qualsiasi proposta di rigenerazione territoriale.

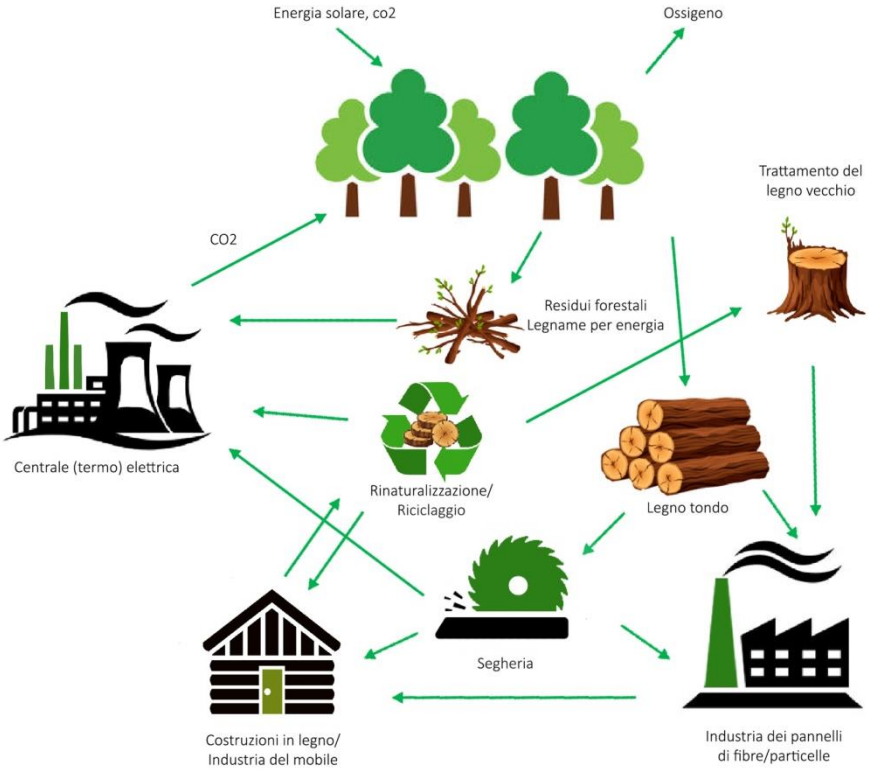
In parallelo, lo studio di proietta ad una proposta progettuale che vuole essere concretizzata in un Master Plan, in cui vengono definiti gli assi strategici di sviluppo ossia le strategie, i progetti e le azioni volte alla valorizzazione del sistema ambientale, economico, sociale, culturale, del paesaggio. Essa comprende un processo complesso di integrazione con gli strumenti della pianificazione urbanistica ed un'intersezione con i programmi finanziari, prevedendo un riscontro con tutti i soggetti coinvolti attraverso uno studio di fattibilità. È necessaria l'adozione di una metodologia comune che permette di arrivare a definire l'assetto desiderato considerando che la sua efficacia è determinata da un processo di democrazia partecipata e coprogettazione, capace di rivolgersi ad un numero elevato ed eterogeneo di soggetti funzionali alla rigenerazione territoriale.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tale proposta vuole sintetizzare le aspirazioni del territorio, da ancorare alle reali potenzialità e al valore dei dati, per riuscire a promuovere con i portatori di interesse una proposta propositiva strategica per innescare processi di rigenerazione territoriale più ampi.

L'idea di progetto si basa sul ruolo degli alberi come elemento capace di trasformare l'immagine e i significati del luogo. A premessa è posta la necessità di far partire il processo di rigenerazione dalla riqualificazione ambientale, utilizzando gli alberi come soggetti capaci di attuare una bonifica creando servizi ecosistemici. Gli stessi devono essere coltivati in proiezione della costruzione nell'area della prima filiera umbra del legno: si può così innescare un processo che valorizza l'esigenza di risanare i terreni potenzialmente contaminati e le esigenze di sostenibilità economica del processo [Fig.5]

Figure 5. Schema riassuntivo funzionamento della filiera del legno



La capacità di gestire l'intero processo di produzione, dalla materia prima alla fornitura del prodotto, rende l'industria del legno un'economia sempre più circolare. A partire dall'ottimizzazione delle risorse e da un uso esponenziale di materie prime sostenibili sino a veri e propri investimenti green in ricerca e sviluppo per ridurre sempre più l'inquinamento e lo spreco energetico, la filiera del legno affronta il tema della sostenibilità guardando all'intero ciclo di vita del prodotto legno.

Il progressivo abbandono delle aree rurali e montane avvenuto nel secolo scorso, il radicale e profondo mutamento culturale nel rapporto tra società e risorse naturali ed il progressivo aumento del costo del lavoro in bosco, hanno provocato una progressiva perdita di attenzione e alle attività di gestione e manutenzione del territorio si aggiungono ulteriori criticità dovute alla trasformazione strutturale dell'economia.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

La riforestazione porta quindi, a riscrivere strutturalmente l'immagine del luogo, percorso che si integra all'idea di promuovere poli produttivi disseminati nel bosco [Fig.6-7], integrati quindi alla possibile valorizzazione della vocazione dell'area alla produzione energetica che può essere fornita a queste attività. Il processo di rigenerazione territoriale ambisce così a ripensare lo sviluppo territoriale degli insediamenti limitrofi, la cui qualità è profondamente inficiata dagli insediamenti produttivi che si appoggiavano alla Pievaiola e che sempre più risultano meno attrattivi e deteriorati.

Figure 6. Esempio di polo produttivo immerso nel bosco

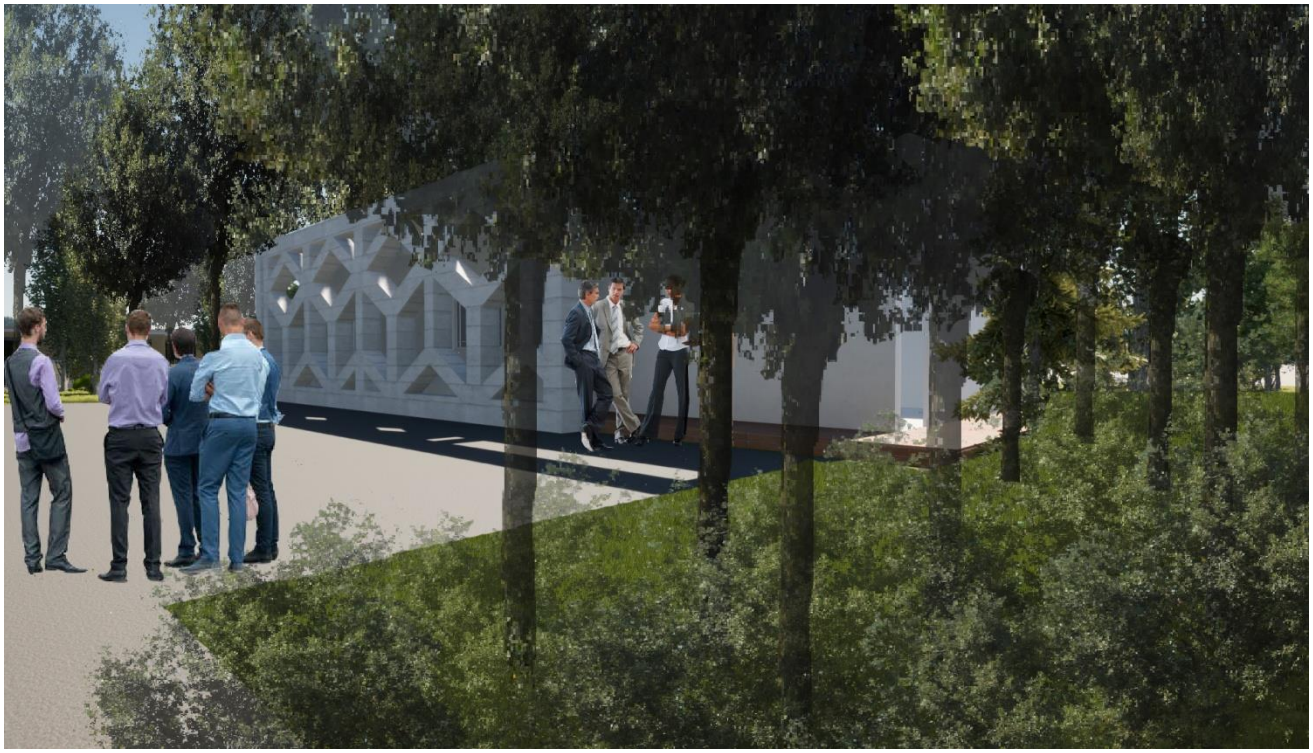


Figure 7. Esempio di polo produttivo immerso nel bosco

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

1. Comune di Piegaro, Prg strutturale Studio geologico, relazione geologica generale. (n.d.).
2. Comune di Piegaro, Prg strutturale Studio geologico, carta geolitologica. (n.d.).
3. Ambrosetti Pierluigi, *Geomorfologia e neotettonica nel bacino di Tavernelle/Pietrafitta (Umbria)* (1989).
4. Taticchi Cecilia, *Il fiume Nestore: elementi geomorfologici, idrografici e tendenza evolutiva del tracciato tra Pietrafitta e Marsciano* (2007).
5. L. Gregori, *Pietrafitta memoria di un geosito*.
6. C. Petronio, P. Argenti, L. Caloi, D. Esu, O. Girotti, & R. Sardella, Updating Villafranchian molluscs and mammal faunas in Umbria and Latium (Central Italy). *Geologia Romana*, **36** (2002) 369–387.
7. P. Argenti, Plio-Quaternary mammal fossiliferous sites of Umbria (central Italy). *Geologia Romana*, **37** (2004) 67–78.
8. M. A. C. Pierluigi Ambrosetti, Maria Gabriella Carboni, B. Daniela Esu, Odoardo Girotti, Giovanni Battista La Monica, & G. Parisi, Landini, Il pliocene ed il pleistocene inferiore del bacino del fiume Tevere nell'Umbria meridionale.
9. P. M. Augusto Azzaroli, Large early Pleistocene deer from Pietrafitta lignite mine, Central Italy. (1993).
10. T. K. Patrizia ARGENTI, The fossil remains of Soricidae and Leporidae (Mammalia) in the Lower Pleistocene of Pietrafitta (Perugia, Central Italy)o Title. (n.d.).
11. M. Paul, B. Sala, & Mik. Fortelius, A small latest Villafranchian (late Early Pleistocene) rhinoceros from Pietrafitta (Perugia, Umbria, Central Italy), with notes on the Pirro and Westerhoven rhinoceroses.
12. R. B. Edoardo Martinetto, Adele Bertini, Giorgio Basilici, Angela Baldanza, The plant record of the dunarobba and pietrafitta sites in the plio-pleistocene palaeoenvironmental context of central italy.
13. R. V. Luciano Lepri, *Pietrafitta e la lignite*.
14. M. Cherin, Systematic, paleoecological and biochronological study of some Quaternary mammal faunas from central Umbria, Università degli Studi di Perugia, 2013.
15. P. A.-A. F.- L.Gregori, *Pietrafitta: un museo di paleontologia in Umbria*.
16. P. Mariani, *Luigi Boldrini Minatore, "paleontologo" della Valle del Nestore* (2018).
17. società paleontologica Italiana, *Salvaguardia dell'ambiente e conservazione dei beni paleontologici* (1990).
18. B. S. Ambrosetti Pierluigi, Romano Capurso, Renato Corvino, Gianpaolo Gallo, Roberto Monicchia, *Storia, energia, ambiente Un modello di centrale a Pietrafitta* (1992).
19. Arpa, *Dati monitoraggio emissioni centrale e qualità dell'aria. Rete enel Pietrafitta– postazioni Piegaro e Panicale anno 2006* (2006).
20. Arpa, *Caratterizzazione e interazione con i corpi idrici superficiali e sotterranei*.
21. Arpa, *Monitoraggio qualità dell'aria località Pietrafitta – Piegaro (PG)* (2004).
22. Arpa, *Rilevamento livelli rumore zona circostante centrale ENEL Pietrafitta* (2003).
23. Arpa, *Relazione monitoraggio qualità dell'aria località Pietrafitta di Piegaro (PG)* (2007).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Studio della biomassa legnosa a livello regionale e proposte per un possibile sviluppo sostenibile nel medio termine

Alessandro Petrozzi[1,*], Andrea Nicolini[2], Gianluca Cavalaglio[1], Valentina Coccia[2], and Franco Cotana[2]

[1] CIRIAF, Via G. Duranti n.67, 06125 Perugia

[2] Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti n.93, Perugia

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: petrozzi@crbnet.it

Abstract: Le stime europee attribuiscono alle biomasse un contributo fino al 50% in termini di produzione di energia elettrica e termica rispetto al totale delle rinnovabili. Numerose sono le regioni che, con il suo elevato indice di boscosità, possono dare vita a filiere virtuose per la gestione sostenibile e circolare delle foreste. La filiera "Legno-Energia", analizzata dal CIRIAF all'interno delle attività del progetto AGREEGREEN, a valere sul Piano di Sviluppo Rurale2014-2020, prevede la graduale sostituzione della produzione di energia da fonte fossile con impianti a biomassa cogenerativi, in grado di soddisfare le esigenze del territorio grazie ad una logistica organizzata in modo efficiente e sostenibile. Nel presente studio si illustra una ipotesi logistica finalizzata all'impiego della biomassa forestale ai fini energetici.

Keywords: biomassa; filiera legno-energia; energie rinnovabili; sostenibilità.

1. Introduzione

Le politiche di tutela e conservazione del patrimonio forestale e di sviluppo e crescita delle sue filiere produttive, come quelle energetiche, sono legate alle attuali emergenze e sfide: la crisi del cambiamento climatico in corso, le esigenze di decarbonizzazione dell'economia, la necessità di sostenere uno sviluppo più sostenibile [1], il problema del consumo e l'abbandono del suolo [2], la protezione e la salvaguardia dell'ambiente ed il recupero degli ecosistemi degradati e la tutela della biodiversità ed infine le recenti modifiche amministrative e gestionali che hanno visto la ricollocazione del Corpo Forestale dello Stato e la trasformazione delle Comunità Montane.

Una prospettiva per la gestione sostenibile e circolare delle foreste è rappresentata dalla cosiddetta

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

filiera “Legno-Energia” nella quale vengono annoverati sistemi ed impianti oggi impiegati per la cogenerazione, ovvero la produzione combinata di energia elettrica, riscaldamento e anche raffreddamento e che, in quanto tali, rientrano nella categoria degli impianti a biomassa come da definizione fornita dal cosiddetto Decreto Rinnovabili, il D.Lgs n.28 del 03/03/2011 [3].

Gli impianti energetici a biomassa vengono annoverati tra gli impianti ad energia rinnovabile e pertanto concorrono al conseguimento degli obiettivi virtuosi e strategici per l’abbattimento delle emissioni climalteranti, l’efficienza energetica e lo sviluppo sostenibile secondo il Pacchetto Clima-Energia al 2020 di cui alla Direttiva 2009/28/CE. Ai fini del raggiungimento dell’obiettivo comunitario finale di soddisfacimento del 20% dei consumi finali di energia mediante fonti rinnovabili (di cui il 10% per i trasporti), corrispondente ad un 17% per l’Italia, sono stati varati numerosi decreti per l’incentivazione dell’energia elettrica prodotta dalla combustione del biogas in motori endotermici [4].

Ai fini della transizione energetica verso una low-carbon economy, l’upgrade al 2030 del pacchetto Clima-Energia è avvenuto tramite la Renewable Energy Directive n. 2 recast to 2030 (RED II), ovvero la Direttiva 2018/2001/EU che incrementa l'obiettivo di utilizzo di energia da fonti rinnovabili ad almeno il 32% al 2030 (di cui il 14 % nel settore dei trasporti), direttiva che deve essere recepita dagli stati membri entro il 30 giugno 2021. La RED II indica i regimi di sostegno che devono essere basati su criteri di mercato, tenendo conto degli eventuali costi di integrazione del sistema e della stabilità della rete, e definiti sotto forma di integrazione economica sul prezzo (feed in premium), con possibili deroghe per impianti di piccola taglia e i progetti pilota [5].

Gli obiettivi della RED II si attuano attraverso lo strumento del PNIEC, il Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima per la decarbonizzazione al 2030 [6], all’interno del quale ha trovato collocazione il decreto Fonti Energetiche Rinnovabili n.1 (FER1) approvato con D.M. 04/07/2019 [7]. Gli impianti che possono beneficiare degli incentivi previsti dal decreto sono finora soltanto quelli alimentati da fonti e tecnologie cosiddette “mature”, quali i fotovoltaici di nuova costruzione, eolici on-shore, idroelettrici e infine quelli a gas di depurazione.

Al momento dello scrivere si attende l’approvazione e la pubblicazione del decreto FER2 dedicato alle tecnologie cosiddette “innovative” quali bioenergie, geotermia, solare termodinamico e che potrà sostenere finanziariamente gli impianti della filiera legnosa. Pertanto, la filiera “Legno-Energia” che rientra nel settore delle bioenergie è in attesa di ulteriori definizioni normative che definiranno la modalità di impiego e di incentivazione dei prodotti dell’energia solare delle biomasse, accumulatasi grazie al processo di fotosintesi clorofilliana. Le biomasse possono essere classificate anche in base alla loro origine e disponibilità: prodotti diretti, residui del settore agricolo-forestale, infine sottoprodotti o scarti dell'industria agro-alimentare e come scarti della catena della distribuzione e dei consumi finali. Lo sfruttamento può avvenire mediante processi di tipo termochimico o biochimico e costituisce grosse opportunità di filiera per il comparto forestale.

2. Studio della biomassa legnosa a livello regionale e proposte per uno sviluppo nel medio termine

Il patrimonio forestale italiano è costituito da oltre 9 milioni di ettari di foreste e da quasi 2 milioni di ettari di altre terre boscate, in prevalenza arbusteti, boschi di neoformazione e macchia [8].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Complessivamente, le aree forestali coprono circa il 36,4% del territorio nazionale [8], in aumento di quasi sette punti percentuali rispetto al 1990: la nostra Penisola possiede il patrimonio forestale più ricco in ambito europeo per diversità biologica, ecologica e aspetti bio-culturali, con circa 130 specie arboree, per lo più di latifoglie (23,8%), leccio, faggio, rovere etc. La vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione ricopre circa il 10,8% del territorio e rappresentano il processo di transizione di terre agricole abbandonate o di aree interessate da disastri ambientali verso una rigenerazione boschiva. A livello regionale, le quote di copertura boschiva variano da meno del 10% della Puglia a oltre il 70% della Liguria. L'aumento di quasi due punti percentuali nella superficie registrato a livello nazionale nel periodo 2005-2015 è stato diffuso con intensità diversa in tutte le regioni a eccezione della Lombardia, dove si è registrata una lieve contrazione [9]. Pertanto, in alcune Regioni e Province autonome le foreste occupano circa il 50% o più della superficie regionale [10] con una distribuzione approssimativa del 32% nelle regioni bio-geografica-alpina, il 16% in quella continentale e il 52% in quella mediterranea. Gli ultimi dati sull'estensione si evincono dalla bozza della Strategia Forestale Nazionale per il settore forestale e le sue filiere [8] prevista all'articolo 6, comma 1, del decreto legislativo 3 aprile 2018 n.34, elaborata nel Febbraio 2020 per consentire una strategia di Gestione Forestale Sostenibile (GFS) come strumento necessario per garantire l'equilibrio di interessi e coinvolgere correttamente e consapevolmente i proprietari e gli operatori del settore. Persistono infatti numerose criticità inerenti la filiera foresta-legno, che sono state individuate in dettaglio dal Piano strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo alimentare e forestale (2014-2020) redatto dal MIPAAF - Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali nel 2014 [11]. Le criticità ed i punti nodali che persistono sono:

- concezione conservativa e non gestionale;
- bassa diffusione di tecniche di gestione pianificata e presenza di vincoli ambientali idrogeologici;
- scarsa capacità di divulgazione delle accessioni migliorate;
- riduzione di attività di piantagione da rimboschimento e fuori foresta;
- scarso accesso all'innovazione scientifica e tecnologica e difficile applicazione della meccanizzazione ai cantieri forestali;
- bassa remunerazione delle utilizzazioni forestali: alto costo del lavoro e scarsa dinamicità della filiera vivaistica forestale nazionale;
- bassa remunerazione di alcune formazioni forestali;
- innovazione sfavorita dalla legislazione sul commercio dei materiali forestali di moltiplicazione;
- ridotta professionalità degli operatori.

Lo stesso piano fornisce altresì stimoli e spunti per superare le criticità evidenziate: ricorrere a genotipi migliorati per il rimboschimento, utilizzo del fitorimedio per i terreni contaminati e l'arboricoltura fuori foresta; tecniche di arboricoltura da legno e agroforestry anche per il recupero di aree marginali o percorse da incendi [11].

Il censimento della disponibilità di biomassa legnosa nel territorio umbro è affidato a progetti e attività che ruotano attorno alla Regione, in particolare il comparto forestale e quello energetico. Un valido strumento di analisi e censimento delle foreste, e che cronologicamente costituisce l'ultimo studio pubblico diffuso, è rappresentato dallo Stato delle Foreste del 2008 [12] e dal successivo Piano Forestale Regionale 2008-2017 elaborato dalla Regione Umbria [13] secondo i criteri e gli indicatori della MCPFE - Conferenza Interministeriale per la Protezione delle Foreste in Europa. Secondo tali

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

rapporti in Umbria l'area boschiva occupa oltre 371.000 ha, nell'ambito del territorio amministrativo della Regione che, complessivamente, ammonta a 845.604 ettari. Tale copertura rappresenta il 4,2% dei boschi italiani di interesse selvicolturale ed è pari al 46% del territorio regionale. Di questo, un'aliquota di circa il 2% della superficie regionale non ha alcun ruolo produttivo e rappresenta soltanto la disponibilità di aree boscate funzionali alla protezione del suolo e della biodiversità [12, 13]. Il coefficiente di boscosità regionale, inteso come rapporto percentuale tra la superficie forestale e quella territoriale, supera sensibilmente il valore medio nazionale (22,5%) assestandosi su circa il 30,5% [14].

Gli stessi dati sono stati in questo ultimo anno (2020) rielaborati e pubblicati sia dall'ISTAT [9] che dal RAF Italia 2017-2018 - Rapporto nazionale sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia [10] basandosi su dati dell'INF 2015 - Inventario Forestale Nazionale per Regioni e Province Autonome, redatto a cura di Arma dei Carabinieri, Comando unità per la tutela forestale, ambientale ed agroalimentare, e del CREA Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'Economia agraria [15]. Si riportano pertanto di seguito i grafici relativi alla copertura forestale in Italia per estrapolare il dato della regione Umbria (Figura 1) ed alla composizione arborea delle specie nazionali e loro distribuzione sul territorio (Figura 2).

Figura 1. Superficie forestale regionale.

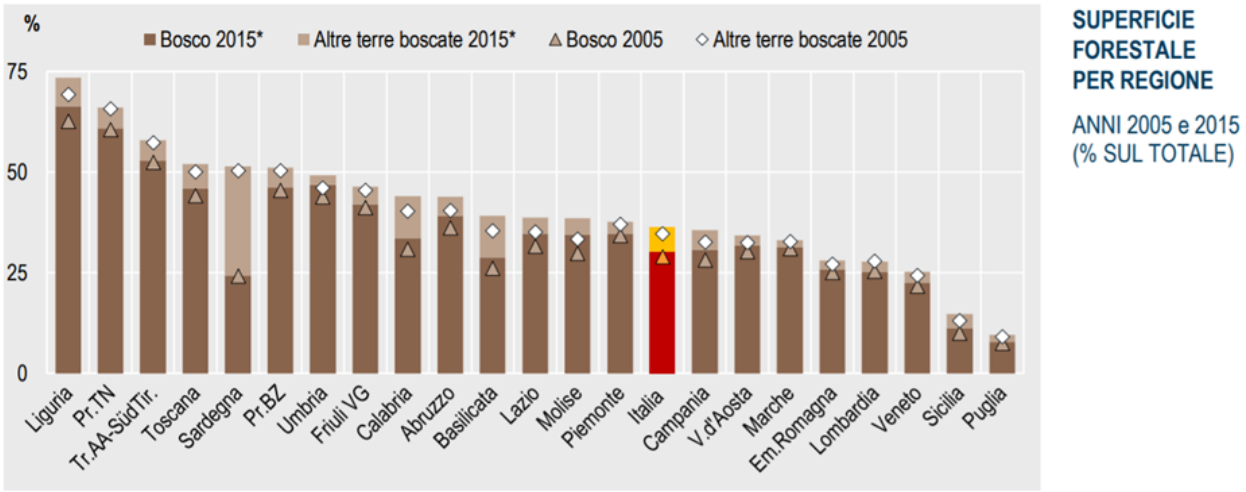
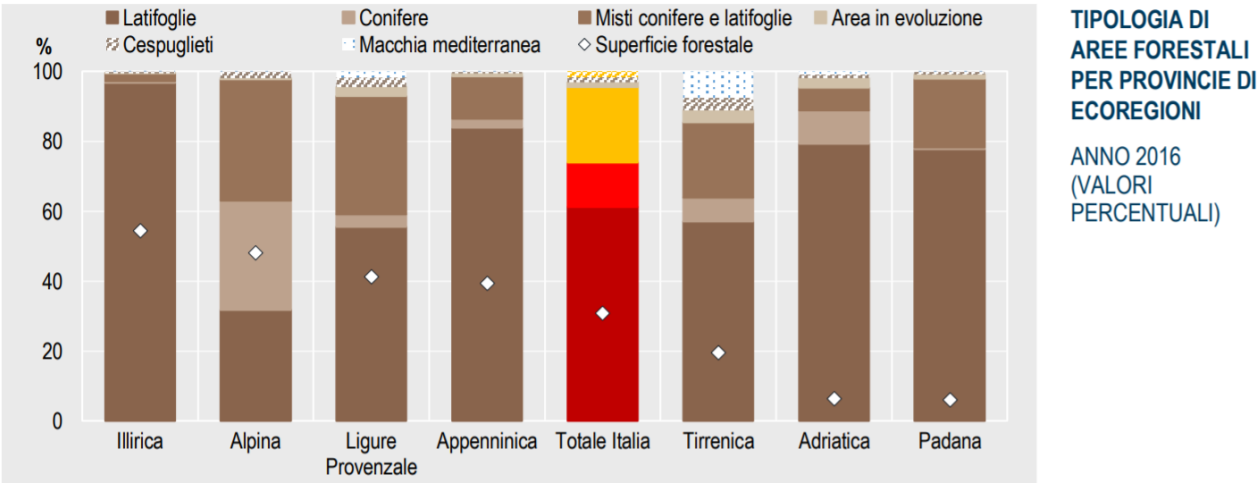


Figura 2. Tipologia di composizione della superficie forestale italiana.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

In Umbria il bosco ceduo interessa l'87% della superficie classificata per tipo colturale, le fustaie quindi interessano il restante 13%, di cui l'1% è rappresentato da fustaie transitorie [12, 13].

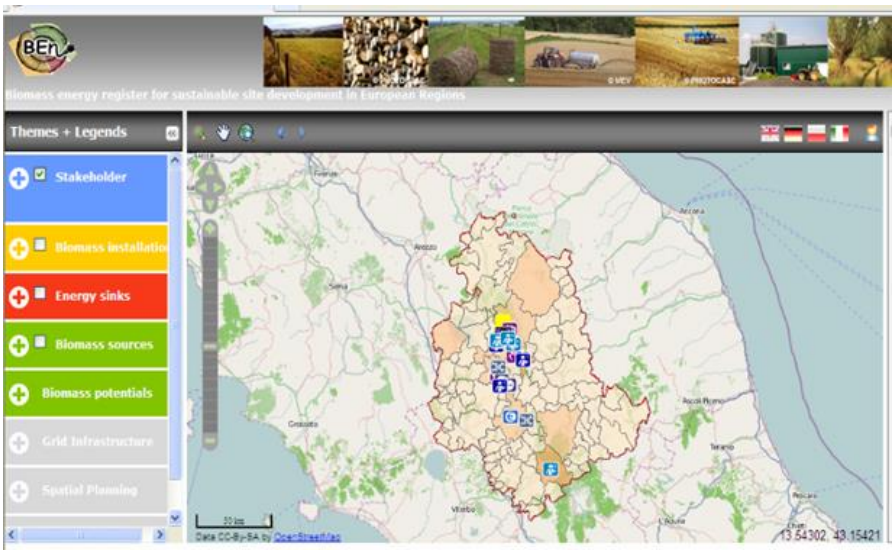
Per quanto concerne il prelievo di legna, i dati del decennio 1993-2002 sono contenuti nella RSA - Relazione sullo Stato dell'Ambiente [16] che evidenzia come i prelievi annui siano in media contenuti entro i 350.000 m^3, dei quali i prelievi cosiddetti "fuori foresta" rappresentano solo l'8,4% delle utilizzazioni legnose realizzate sul territorio regionale, che per il 91,6% interessano formazioni boscate. L'impiego di tali prelievi è per il 91% destinato a legna per combustibile, la rimanenza è legname da opera. Pertanto, a fronte di un prelievo medio annuo di 1,4 m^3/ha, le formazioni forestali umbre registrano ritmi di crescita che, in funzione della forma di governo (ceduo o fustaia), sono compresi tra 2,7 m^3 e 3,6 m^3 per ettaro.

Lo stesso RAF [10] ci riporta la tipologia di proprietà del bosco umbro: il 73% del bosco umbro è di proprietà privata, la restante parte è pubblica; ma la quasi totalità (97%) è interessato dal vincolo idrogeologico, istituito dal R.D.L. 3267/23, che sulla superficie boschiva italiana è in media circa l'80,9% che, contribuendo alla conservazione ed al mantenimento del bosco, certamente contribuisce al rallentamento dello sviluppo di buone pratiche di valorizzazione energetica.

3. Impiego di piazzole per la raccolta della legna

Una ipotesi di sviluppo nel medio termine è rappresentata dalla creazione di apposite piazzole per la raccolta e la gestione logistica della biomassa legnosa. Il CRB – Centro nazionale di Ricerca sulle Biomasse dell'Università degli Studi di Perugia, ha partecipato alle attività del progetto BEN Biomass ENergy register for sustainable site development for European regions nell'ambito del progetto EU Intelligent Energy Europe (IEE) [17] assieme a partner inglesi, austriaci, polacchi e tedeschi tra cui il prestigioso Fraunhofer Institute (UMSICHT). Tra i risultati prodotti dalle attività del gruppo di ricerca, per l'area della regione Umbria è stato messo a punto un registro con un censimento delle biomasse, degli stakeholder e le soluzioni tecnico-logistico per lo sfruttamento energetico delle stesse (Figura 3).

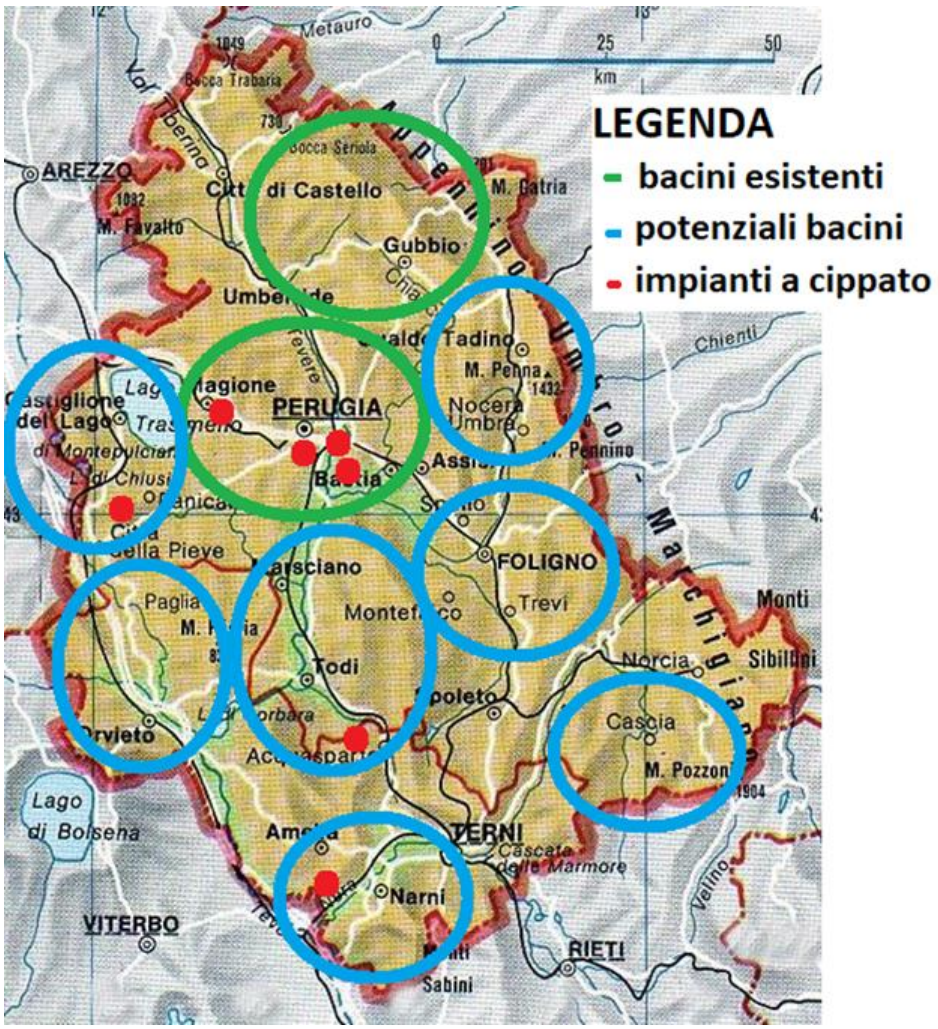
Figura 3. Registro per le biomasse, sezione stakeholders.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Secondo le simulazioni fatte e sulla scorta delle esperienze dei paesi partner del progetto e del CIRIAF [18, 19], a fianco dei due bacini già esistenti che sono quello di Campo Reggiano/Gubbio e Perugia, vengono individuati altri bacini, inglobando le aree in cui è presente la biomassa boschiva e la viabilità esistente ed in modo da ricomprendere un diametro di circa 25-30 km. Vengono individuate pertanto nell'area Umbra un totale di 9 bacini aggiungendo a quelli esistenti le aree di Magione ed il lago Trasimeno, Orvieto, Todi, Narni, Cascia, Foligno e Gualdo Tadino (Figura 4).

Figura 4. Ipotesi di bacini di approvvigionamento nella regione Umbria.



Ciascuna area, considerando un adeguato grado di copertura forestale e garantendo una rotazione di 25 anni, è in grado di conferire in una piazzola il più possibile baricentrica un quantitativo annuo di circa 8.000 t di biomassa da bosco ceduo.

La piazzola per lo stoccaggio della biomassa viene opportunamente progettata affinché sia ottimale da un punto di vista logistico. A tale proposito si riporta l'inserimento della piazzola nello spazio areale di Orvieto lungo la strada provinciale (Figura 5) e che è composta nel dettaglio (Figura 6) al suo interno di: spazio con area di manovra dei mezzi, area di deposito della materia prima, cippatura ed area di stoccaggio del cippato, ufficio per la pesatura e i registri di trasporto (Figura 7).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 5. Ipotesi di inserimento della piazzola di Orvieto (TR).

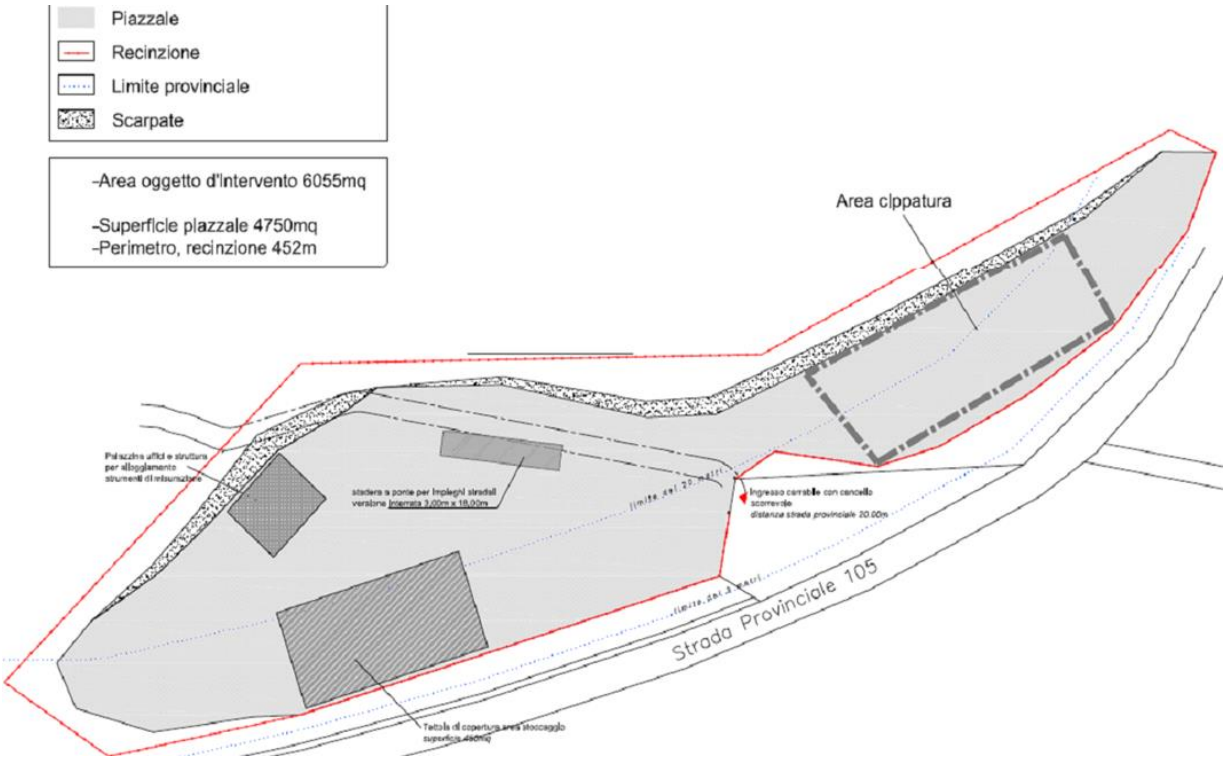
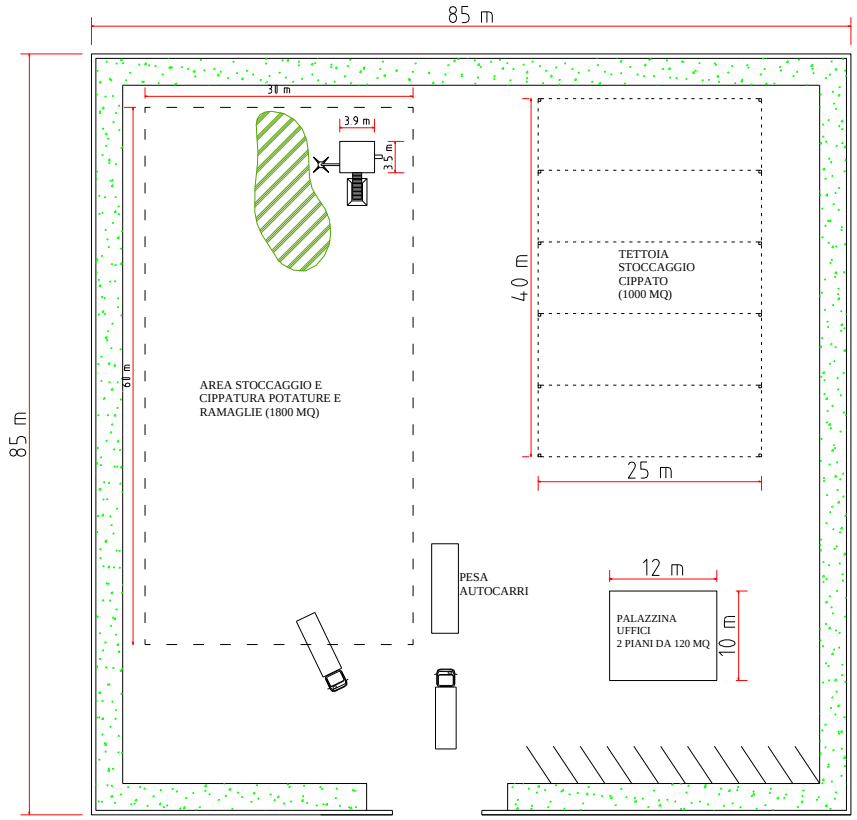


Figura 6. Piazzola per raccolta e trattamento della biomassa.



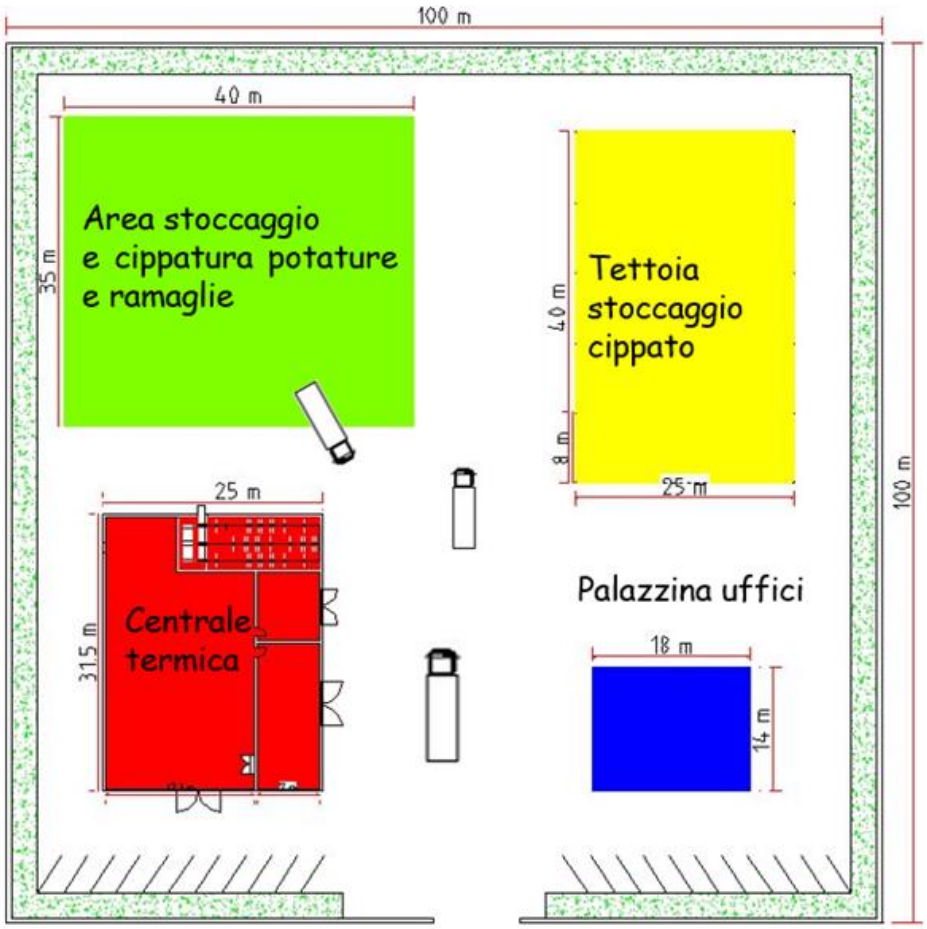
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 7. Operazioni sulla piazzola, a. cippatura, b. stoccaggio, c. movimentazione del cippato.

I valori di prelievo del bosco sono del tutto compatibili con quelli censiti dalla RSA [16] e che potrebbero oggi essere aggiornati a 400.000 m^3/anno. Volendo lasciare un 10% per il mercato del legname da costruzione, l'impiego delle 9 piazzole consente una produzione di legname di circa 72.000 t/anno di legna che corrispondono a circa 120.000 m^3/anno che è un terzo dell'attuale fabbisogno di biomassa legnosa. Tali quantitativi non vanno pertanto in conflitto con le filiere già esistenti ma provvedono ad un graduale efficientamento delle stesse.

In ipotesi di collocazione della piazzola vicino a stakeholders e utenze termiche, come ad esempio quartieri direzionali uffici e scuola, si può integrare la piazzola con un impianto di utilizzazione termica del cippato prodotto (Figura 8).

Figura 8. Piazzola per raccolta, trattamento e valorizzazione della biomassa.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

In tal caso si raccomanda l'esecuzione delle operazioni di cippatura dopo un certo periodo di stoccaggio della legna che, per traspirazione, perderà parte del proprio contenuto d'acqua. Lo stesso cumulo di cippato, da proteggersi sotto una tettoia, dovrà essere ogni tanto rivoltato per favorire l'asciugatura ed evitare il formarsi di parassiti, muffe e batteri. Il sistema di carico della biomassa prevede anche opportuni sistemi di allontanamento della cenere prodotta ed un suo adeguato smaltimento come ammendante in agricoltura.

4. Impatto ambientale dello scenario di impiego della biomassa e relativo sistema viario

Da un punto di vista ambientale il bosco costituisce un "carbon sink" ovvero un sistema di accumulo del carbonio. Il RAF [10] rielabora i dati dell'INF [15] e fornisce una stima della quantità di carbonio organico accumulato nelle foreste italiane nelle quattro componenti detti pool a differente capacità di stoccaggio: la biomassa arborea epigea accumula il 38,1%, la necromassa il 2%, la lettiera il 2,3% e il suolo organico e minerale il 57,6%. Per effetto dell'accrescimento degli alberi vengono fissati annualmente 12,6 Mt di carbonio, che corrispondono ad un assorbimento di anidride carbonica dall'atmosfera di 46,2 Mt, pari a circa 5 t/ha di CO_2 equivalente. Per quanto concerne la regione Umbria i dati riportati indicano lo stoccaggio di carbonio organico totale e per unità di superficie per le categorie forestali dei boschi alti rispettivamente di 45.153.665 Mt che rappresentano il 3,6% del patrimonio complessivo italiano e 121,5 t/ha.

La foresta non è solo un "carbon sink": lo stesso impiego della biomassa come biocombustibile al posto dei combustibili fossili costituisce una produzione energetica a cui non corrisponde alcuna emissione di gas climalteranti. Le stesse fonti, consultando il Rapporto del GSE Gestore dei Servizi Energetici sulle Rinnovabili per il periodo 2013-2017 [20] mostrano che in Italia, soprattutto nelle aree interne si utilizza molto la biomassa solida principalmente per il riscaldamento domestico, ma anche per contesti non residenziali e industriali.

Si riportano, nella tabella che segue (Tabella 1), i consumi energetici espressi in Terajoule (TJ) derivanti dall'impiego di biomasse solide nel settore termico nel periodo 2013-2017 e diversificando tra consumi diretti e derivati da altra fonte come ad esempio gli impianti cogenerativi.

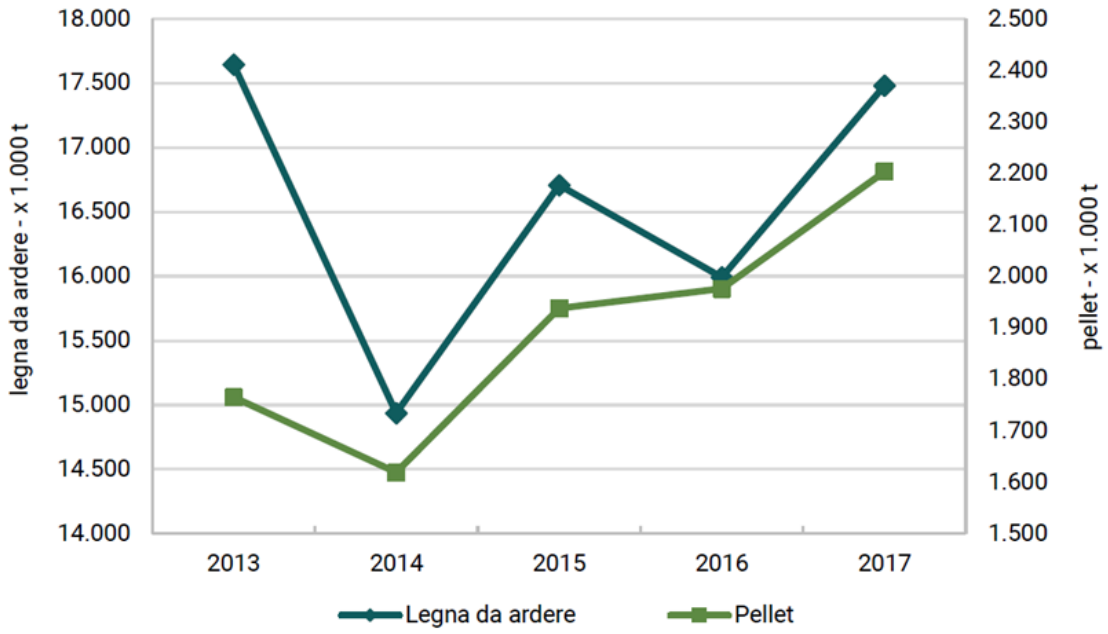
Tabella 1. Impiego di biomassa solida per la produzione di energia termica (TJ).

	2013	2014	2015	2016	2017
Consumi diretti	**281.558**	**244.494**	**277.342**	**268.041**	**292.025**
Residenziale	277.698	237.623	267.682	258.465	282.916
Industria	2.300	3.489	6.110	5.422	4.886
Commercio e servizi	1.485	2.488	2.119	2.691	2.746
Agricoltura	75	894	1.431	1.462	1.477
Produzione di calore derivato	**25.151**	**28.388**	**26.740**	**27.575**	**27.973**
Da impianti cogenerativi	22.059	25.672	23.800	24.324	24.697
Da impianti di sola produzione termica	3.092	2.716	2.940	3.251	3.276
Totale	**300.709**	**272.882**	**304.082**	**295.616**	**319.999**

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Del totale, per la sola componente residenziale, limitatamente alla regione Umbria, si ha: 737.000 tonnellate di biomassa solida per un equivalente di 10.564 TJ, che costituiscono circa il 3,7% dell'intero consumo nazionale. I due biocombustibili più impiegati sono legna da ardere e pellet: la prima rappresenta circa l'88% del totale equivalente a circa 5,8 milioni di tep - tonnellate equivalenti di petrolio. Nel periodo temporale analizzato il consumo di pellet, che risulta molto più pratico da impiegare rispetto alla legna, è risultato in costante aumento, come si evince dalla figura sottostante (Figura 9) ed in coerenza con l'aumento su area europea che è stato mediamente del 10% nel 2017.

Figura 9. Consumo di pellet e legna, trend.



L'Italia si conferma come il secondo paese europeo per consumo di pellet dopo l'Inghilterra; ma mentre in Italia il consumo è per il 96% a livello residenziale per produrre calore domestico in Inghilterra viene utilizzato per alimentare i grandi impianti termoelettrici. Infatti, in Italia sono state censite nel 2016 oltre 1,6 milioni di stufe e caldaie a pellet, con un andamento in costante crescita negli ultimi 4 anni [21] che vedono il nostro Paese come leader in Europa, con oltre il 90%, sul mercato delle stufe come da report IEA - International Energy Agency [22]. Al 2017 risultano ben 403 impianti certificati con la qualifica di Impianto Alimentato da Fonti rinnovabili - IAFR per la produzione di energia elettrica e che possiedono una potenza installata che può arrivare in alcuni casi a superare i 10 MW, per un totale complessivo di 731 MW ed una produzione elettrica di circa 4.193 GWh.

Una tecnologia che vede l'alimentazione nel Centro e nel Nord della Penisola di ben 101 impianti a biomassa nel 2017, è quella basata sul cippato di legna. Tali impianti, oltre a fornire calore alle comunità locali, rappresentano un importante mercato per le imprese boschive del territorio e per l'indotto tecnologico. L'impiego del cippato di legna contribuisce infatti alla creazione di filiere virtuose che permettono la valorizzazione della biomassa del territorio, che viene raccolta per la pulizia dei boschi e degli alvei fluviali, riducendone il trasporto e favorendo la crescita economica locale e lo sviluppo di

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

professionalità del territorio. Altri vantaggi indiretti, ma di estrema importanza sono la prevenzione dei dissesti idrogeologici e dello sviluppo e propagazione degli incendi in quanto una periodica pulizia del bosco consente un alleggerimento del sistema naturale unitamente all'approvvigionamento di biocombustibile per uso energetico.

Prendendo in considerazione il primo scenario ipotizzato nel precedente capitolo, ovvero la produzione di legna da piazzole collocate nel territorio regionale, si effettua l'analisi dell'emissione di anidride carbonica prodotta durante tutto il processo produttivo che permette di arrivare alla produzione del cippato di legna. L'impiego logistico di una rete di piazzole permette di limitare il trasporto sul territorio di materiale composto da acqua, per la produzione di un materiale come il cippato, a maggiore densità energetica e minore impatto ambientale.

Per la valutazione della LCA – Life Cycle Assessment, in accordo con le ISO 14041-42-43, si considerano delle librerie predisposte per la valutazione dell'emissione di carbonio per le singole attività della filiera forestale [23, 24, 25]. Tali attività sono: abbattimento con motosega, trasporto con il trattore da 4 t per una distanza media di 3 km dalla strada forestale all'imposto, trasporto con mezzo da 28 t fino alla piazzola, sollevamento con una gru di capacità di 3 t, cippatura con un mezzo di capacità 110 mc/h. Considerando che l'alimentazione degli attrezzi è a gasolio, si attribuisce un fattore di emissione di 3,17 kg CO_2/kg fuel [26]. Per quanto concerne gli impatti sul sistema viario, ciascuna area bacino tra quelle individuate in Fig. 3 è servita da almeno una strada extraurbana principale e la piazzola viene realizzata proprio a ridosso della strada provinciale come riportato nel caso dell'Orvietano in Fig. 4. La valutazione dell'impatto sul sistema viario è quantificata in 286 viaggi all'anno di percorrenza media 12 km del mezzo pesante da 28 t che porta la legna dai boschi limitrofi alla piazzola e in 2.000 viaggi con il trattore da 4 t che dalla strada forestale interna al bosco giunge fino alla strada principale. Inoltre, per la valutazione dell'impatto emesso sia dal trasporto con trattore da 4 t e quello su strada, che avviene con un "Heavy Duty Truck" da 28 t, si può ricorrere al software digitale di simulazione delle sostanze inquinanti emesse, tra cui è compresa anche l'anidride carbonica, elaborato da ISPRA Ambiente [27]. Si fornisce di seguito una tabella (Tabella 2) che riassume, a titolo esemplificativo, la produzione di analizzata nella LCA.

Tabella 2. Valutazione della CO_2 di processo prodotta per lo scenario a piazzole.

Processo	**Caratteristica**	**Fatt. temporale (t/h)**	**consumi fuel (l/h)**	**consumi fuel tot (l)**	**CO_2 emessa (kg/anno)**
Motosega	Consumo 0,39 l/t	0,70	0,55	1.080	3.763,6
Trattore A	Percorso 3 km	15	20	8.000	25.360,0
Trattore R	Percorso 3 km	11	15	3.600	8.412,0
Gru	Capac. carico 3 t	44,4	10	444	1.408,9
Cippatrice	Capac. 110 mc/h	111,9	40	4.476	14.187,4
Trasporto	Percorso 12 km x2	60	22	2.514	27.970,3
totale					**81.102,2**

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Lo scenario ipotizza la realizzazione di n.9 piazzole a cui afferisce un quantitativo di circa 8.000 t/anno di biomassa ed a cui corrisponde una produzione di CO_2 di processo complessiva di circa 730 t CO_2/anno.

Prima di passare alla valutazione delle tonnellate di CO_2 che possono essere evitate dagli impianti a biomassa, si effettua un focus sui procedimenti autorizzativi degli impianti energetici alimentati da biomassa solida. Infatti, in attuazione della normativa nazionale sull'autorizzazione degli impianti da fonte rinnovabile del D.M. 10 settembre 2010 [28] e relative semplificazioni del D.Lgs n.28 del 03/03/2011 [3] la procedura amministrativa per l'autorizzazione all'installazione ed all'esercizio degli impianti che impiegano le biomasse è indicata dal Regolamento Regionale della Regione Umbria n. 7 del 29 luglio 2011 [29]. Tutte le procedure per la Regione Umbria [30] sono raccolte nell'Allegato A del R.R. 7/2011, diversificate in funzione di alcuni parametri (potenza elettrica installata, ubicazione e tipologia di impianto, vincoli esistenti nell'area), e sono le seguenti: comunicazione di inizio lavori, PAS – Procedura Abilitativa Semplificata, AU – Autorizzazione Unica. Nel caso di impianti esterni agli edifici e con potenza superiore a 50 kWe si devono rispettare i criteri generali di localizzazione e progettazione di cui all'Allegato B nonché considerare le aree non idonee elencate nell'Allegato C del R.R. 7/2011.

Ad oggi in Italia sono presenti impianti termoelettrici alimentati a biomassa legnosa per una potenza elettrica complessiva di 731 MW ed una produzione di energia elettrica annuale di circa 4.193 GWh. Considerando un fattore di emissione per il mix energetico nazionale per il 2017 pari a 445,5 g CO_2/kWh [31], con la produzione energetica da biomassa anziché combustibile fossile, si compensano quasi 2 milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente per ogni anno.

Nel tornare al progetto pilota proposto, si ipotizza ora che tutta la biomassa legnosa che viene collettata attraverso la rete di 9 piazzole nella regione Umbria, per un totale di 72.000 t/anno, venga destinata alla sola produzione termica. Pertanto, assumendo un rendimento del processo termochimico di 0,9 ed un potere calorifico del cippato ottenuto di circa 3,3 kWh/kg [19], si ottiene una produzione termica di circa 214 GWht. La medesima produzione termica da realizzarsi mediante combustione del gas metano, con potere calorifico di 10 kWh/Nm^3, avrebbe richiesto un consumo di gas metano di circa 23 milioni di metri cubi. Unitamente al considerevole risparmio economico, considerando un fattore di produzione di anidride carbonica di 1,8 kg CO_2/Nm^3 di metano [19], si libererebbero in atmosfera circa 42 mila tonnellate di CO_2 all'anno.

5. Analisi dei posti di lavoro coinvolti

Sul Piano Regionale Forestale [13] e sullo stesso sito dell'AFOR [31] si riportano le procedure per l'ottenimento del patentino da operatore forestale. In Umbria risultano ad una decina di anni fa circa 6 mila iscritti, senza grandi variazioni per gli anni a venire.

Il Piano strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo alimentare e forestale (2014-2020) redatto dal MIPAAF nel 2014 [11] evidenzia i numeri della filiera foresta-legno, che comprende la produzione, la trasformazione e la commercializzazione di prodotti finiti ed energetici:

- oltre 80 mila imprese per circa 500 mila unità lavorative;
- Italia primo esportatore europeo, secondo nel mondo, di prodotti finiti;

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- 1% della produzione totale del settore primario e solo l'1,5% del valore aggiunto;
- sistema legno-arredo: comparto trainante della filiera con il 15% delle imprese
- il settore legno-arredo è il secondo settore dell'industria manifatturiera italiana con un volume d'affari complessivo pari a 32,4 miliardi di euro (20,5 miliardi di euro dal settore mobile e 11,9 miliardi di euro dal settore legno).

Per quanto concerne le importazioni:

- l'Italia risulta il paese dell'UE a 25 con il più basso grado di auto-sufficienza nell'approvvigionamento di materia prima legnosa.
- 18-20 Mm^3 di materia grezza (30% per uso energetico): 80% del fabbisogno nazionale, terza voce import nazionale

Il sistema proposto composto dalla creazione di una rete di piazzole nella regione Umbria per l'approvvigionamento e la valorizzazione energetica potrebbe fornire lavoro per un numero di [19, 21] di 10 addetti a piazzola per un totale di 90 persone in tutta la regione Umbria. Un identico valore può essere considerato come lavoro indiretto.

Per quanto concerne le ricadute occupazionali, una importante opportunità è emersa a valle della consultazione per la Strategia Nazionale sulle Foreste promossa dalla Direttrice Generale del MIPAAF dott.ssa Alessandra Stefani che auspica la creazione del Cluster Tecnologico nazionale Foresta-Legno, da svilupparsi a livello regionale. Per la vocazione che caratterizza la regione Umbria tale Cluster costituirebbe una grossa opportunità per il territorio.

Ulteriori opportunità occupazionali potrebbero emergere in attuazione della due Strategie Nazionali per l'Idrogeno elaborate dal Ministero dell'Università e della Ricerca (SIRI) e dal Ministero dello Sviluppo Economico in quanto, tra le possibili fonti per la produzione dell'idrogeno viene evidenziato come la pirogassificazione con vapore di biomassa lignocellulosica risulti economicamente vantaggiosa.

6. Conclusioni

L'importanza delle foreste si evince dalla pluralità di strumenti messi in campo: il Piano strategico delle foreste delle Nazioni Unite per il 2017-2030, adottato dal Forum delle Nazioni Unite sulle Foreste (UNFF) che mira alla gestione sostenibile ed al contrasto alla deforestazione; Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile che nei 17 Sustainable Development Goals - SDGs) individuano uno stretto legame tra il benessere umano e la salute dei sistemi naturali boschivi, a cui hanno fatto seguito le Strategie Europee e le loro declinazioni su scala nazionale e regionale.

I Programmi Forestali Regionali sono orientati per l'attuazione di precise Azioni Operative attraverso la Gestione Forestale Sostenibile che riguardano a fianco della promozione della gestione sostenibile e valorizzazione del ruolo multifunzionale delle foreste, una conoscenza e responsabilità globale ma soprattutto lo sviluppo sostenibile delle economie delle aree rurali, di quelle interne e urbane, attraverso lo sviluppo di filiere locali, tracciabili, sostenibili, responsabili, qualificate e socialmente integrate.

A fronte della crescente attenzione ed attività di tutela delle foreste, si prevede per i prossimi anni un incremento della domanda di consumo di legna: i livelli attuali di consumo globale di legname sono

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

superiori ai 3 miliardi di metri cubi annui; al 2030 le previsioni sono di 8,5 miliardi e al 2050 di 13 miliardi [32].

Il crescente fabbisogno è dovuto a tre tipologie di domanda:

- un incremento dei consumi di prodotti legnosi per imballaggi, mobili, legname per costruzioni etc.;
- un aumento, a partire dai Paesi a più alto tasso di sviluppo, dei consumi per la produzione di energia, in particolare energia termica, ma anche di energia elettrica e di bio-fuel per il settore dei trasporti;
- crescenti politiche di de-carbonizzazione e nuovi impieghi di materie prime rinnovabili nella bio-economia: bioplastiche, bio-tessili, bio-medicinali, prodotti ingegnerizzati per l'edilizia e tutti gli altri nuovi materiali in grado di sostituire prodotti ricavati da fonti non rinnovabili [33].

Infine, il regolamento UE 842/2018 [34] sul Land Use, Land Use Change and Forests (LULUCF) definisce l'elaborazione, da parte di ogni Stato europeo membro, di un Piano Nazionale di Contabilizzazione Forestale (NFAP) per il 2021-2025, che individua da parte dell'Italia uno stoccaggio di 19.656 milioni di tonnellate annue di CO_2 equivalente e pertanto, la gestione forestale in Italia può espandere le attività di prelievo fino ad un massimo del 40-45% dell'incremento annuo, partendo dall'attuale utilizzo stimato nel RAF del 33%. Questi ampi margini di manovra, unitamente alla nuova normativa di regolazione e individuazione di un nuovo contingente finanziario di sostegno dedicato alle bioenergie, consentiranno, nei prossimi anni, un incremento massiccio dell'applicazione virtuosa della filiera "Legno-Energia" con forti ricadute economiche, sociali ed ambientali per l'intero sistema paese Italia.

Ulteriori opportunità sono costituite dallo sviluppo di Cluster Legno-foresta a carattere regionale e dalle nuove prospettive offerte dalle Strategie Nazionali sull'Idrogeno che individuano nella pirogassificazione a vapore della biomassa una fonte sostenibile ed economicamente vantaggiosa.

Il presente articolo illustra le attività ed il contributo del CIRIAF nello studio degli impatti socio-ambientali della filiera "legno-energia" nell'ambito del progetto Agreegreen sviluppato dalla rete ReValeBiom - Rete per la Valorizzazione delle Biomasse, su finanziamento della Regione Umbria nell'ambito della sottomisura 16.1, PSR 2014-2020.

Bibliografia

1. Risoluzione del Parlamento europeo del 28 novembre 2019 sull'emergenza climatica e ambientale, 2019/2930.
2. Munafò, M. Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. *SNPA,* **2019**, *8*.
3. Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
4. Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
5. Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

6. https://www.mise.gov.it/index.php/it/energia/energia-e-clima-2030.
7. D.M. 04/07/2019 Incentivazione dell'energia elettrica prodotta dagli impianti eolici on shore, solari fotovoltaici, idroelettrici e a gas residuati dei processi di depurazione.
8. Bozza della Strategia Forestale Nazionale per il settore forestale e le sue filiere, Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, 2020.
9. ISTAT, Rapporti Tematici, Cap. 2: La struttura del territorio, 2020.
10. RAF Italia 2017-2018 - Rapporto nazionale sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia, Prodotto dalla Rete Rurale Nazionale (RRN 2014-2020), Compagnia delle Foreste, Arezzo, 2019.
11. Piano strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo alimentare e forestale (2014-2020), Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2014.
12. Stato delle Foreste in Umbria, Regione Umbria, 2009.
13. Piano Forestale Regione Umbria 2008-17, Regione Umbria, 2008.
14. ISPRA Ambiente, annuario dei dati ambientali, Capitolo 2: Biodiversità, 2008.
15. INF 2015 - Inventario Forestale Nazionale per Regioni e Province Autonome, redatto a cura di Arma dei Carabinieri e CREA.
16. RSA - Relazione sullo Stato dell'Ambiente, Regione Umbria, 2002.
17. http://www.sviluppumbria.it/-/crb-centro-ricerca-biomasse.
18. Cotana, F.; Cavalaglio, G. Impianto pilota per la conversione energetica degli scarti di potatura dei vigneti. Atti del 8° Congresso Naz. Ciriaf. Perugia, 4-5 Aprile 2008.
19. CIRIAF - Centro di Ricerca Interuniversitario per l'Inquinamento da Agenti Fisici dell'Università di Perugia, PNBB – Piano Nazionale Biocarburanti e Biomasse agroforestali per usi energetici, 2007.
20. Rapporto del GSE Gestore dei Servizi Energetici sulle Rinnovabili per il periodo 2013-2017.
21. https://www.eurobserv-er.org/solid-biomass-barometer-2017/.
22. https://www.ieabioenergy.com/
23. Valente, C.; Spinelli R.; Hillring B. G. LCA of environmental and socioeconomic impacts related to wood energy production in alpine conditions: Valle di Fiemme (Italy). *Journal of Cleaner Production*, **2011**, *19*, 1931-1938.
24. Rivela, B.; Hospido, A.; Moreira M.T.; FeiJoo G. Life Cycle Inventory of Particleboard: a case study in the wood sector. *Int JLCA*, **2006**, *11*, 106-113.
25. Vignini, A.M. Strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici: analisi della sostenibilità di una filiera agroenergetica nell'ambiente montano dell'Alto Mugello (Toscana). Tesi di Dottorato, 2012.
26. APAT, rapporto 28/2003: Analisi dei fattori di emissione di CO2 dal settore dei trasporti. Metodo di Riferimento IPCC, modello COPERT ed analisi sperimentali.
27. http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp.
28. D.M. 10 settembre 2010, Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili.
29. Regolamento regionale 29 luglio 2011, n. 7 Disciplina regionale per l'installazione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.
30. https://www.regione.umbria.it/energia/biomassa.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

31. ISPRA, Rapporto 303/2018. Fattori di emissione atmosferica di gas ad effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei.
31. https://www.afor.umbria.it/ente/contatti/.
32. WWF. Living Forests Report Chapter 4: Forests and Wood Products su fonti FAO e IIASA. 2012.
33. L. 28 dicembre 2015, n. 221, art. 67. Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali.
34. Regolamento UE 842/2018 Land Use, Land Use Change and Forests (LULUCF).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Pannelli "decompensati". Studio e caratterizzazione di pannelli igroscopici in legno per applicazioni nella regolazione passiva dell'umidità indoor

Fabio Bianconi [1], Marco Filippucci [1], Giulia Pelliccia [1,*]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 93, 06125 Perugia, Italy

***** Autore di riferimento. E-Mail: giulia.pelliccia@outlook.it

Abstract: La necessità di ridurre i consumi energetici ha portato allo sviluppo di materiali intelligenti che spesso sono costosi e necessitano di tecnologie avanzate per la loro produzione. Lo sfruttamento di determinate proprietà specifiche dei materiali naturali può ridurre sia l'impatto economico sia quello ambientale che caratterizzano le nuove tecnologie e, in questo senso, anch'essi possono essere considerati *smart materials*. Ciò è riscontrabile in particolar modo nel legno e il suo comportamento igroscopico ne è un chiaro esempio: l'umidità è lo stimolo esterno che spinge il legno a cambiare la sua configurazione originale per portarsi in costante equilibrio con l'ambiente, ritirandosi o rigonfiandosi. Si può pensare di sfruttare queste deformazioni igroscopiche in modo costruttivo, traendone vantaggio. La biomimetica insegna che l'osservazione della natura può fornire ispirazione per risolvere problemi o per sfruttare certe proprietà dei materiali in un modo diverso da quello convenzionale. Lo studio del comportamento igroscopico delle pigne, per esempio, ha offerto ispirazione per lo sviluppo di materiali compositi in legno che, opportunamente realizzati, si curvano secondo le variazioni di umidità dell'ambiente circostante. Il principio che regola questo comportamento sta nell'accoppiamento di due strati dei quali uno reagisce all'umidità mentre l'altro rimane quasi indisturbato. In questo articolo, il comportamento igroscopico del legno diventa quindi una caratteristica positiva che viene analizzata e proposta come sistema di ventilazione passiva per ambienti interni, dove le variazioni di umidità producono un adattamento controllato dei pannelli, contribuendo a raggiungere un comfort igrometrico adattivo.

Keywords: pannelli igroscopici; deumidificazione passiva; ventilazione naturale; architettura adattiva.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

In Europa e negli Stati Uniti circa il 40% della totalità dei consumi energetici e delle emissioni di CO_2 è dovuto al settore degli edifici e delle costruzioni [1]. In questo contesto, le strategie di progettazione passiva possono costituire una reale possibilità di migliorare il comfort indoor in modo meno costoso e più ecosostenibile grazie anche all'uso di materiali avanzati, come quelli intelligenti, in grado di modificare determinate proprietà in relazione a stimoli esterni, come bimetalli termici, leghe a memoria di forma o materiali a cambiamento di fase [2–4]. Le proprietà responsive non sono, tuttavia, solo una prerogativa dei materiali tecnologici: come suggerisce la biomimetica [5, 6], la natura fornisce materiali, strategie e soluzioni che possono aiutare a risolvere i problemi senza utilizzare necessariamente apparecchiature ad alta tecnologia [7–11].

In questo contesto, le strutture in legno rappresentano un'importante classe di edifici e in particolare è possibile sottolineare il ruolo del legno come materiale intelligente naturale: il suo comportamento igroscopico lo rende sensibile alle variazioni di umidità relativa e l'effetto memoria di forma [12] permette il suo ritorno alla configurazione iniziale che aveva prima del cambio di umidità. L'uso di materiali intelligenti ad alta tecnologia non è così diffuso, a causa del loro costo; il confronto tra spese e benefici deve essere accettabile e anche l'estetica generale è importante [13]. Utilizzando il legno, materiale ecologico e relativamente economico, molti di questi problemi non si presentano. Le proprietà igroscopiche del legno possono essere utilizzate per il controllo dei livelli di umidità degli ambienti interni, importante per prevenire la crescita di microrganismi e il deterioramento dei materiali sensibili all'umidità [14].

Il comportamento igroscopico del legno è dovuto al trasferimento del vapore acqueo dall'atmosfera al legno e dal legno all'atmosfera nel cosiddetto campo igroscopico, passando dallo 0% (stato anidro) al 30% (punto di saturazione delle fibre - FSP) del contenuto di umidità del legno e dallo 0% al 100% di umidità relativa dell'aria [9, 11, 15]. All'interno del campo igroscopico, un aumento dell'umidità relativa si traduce nell'assorbimento di acqua ambientale da parte delle pareti cellulari, che ne provoca il rigonfiamento; se invece l'umidità relativa diminuisce, il legno perderà acqua e si ritirerà. Essendo un materiale ortotropo, sia il rigonfiamento (α) che il restringimento (β) mostrano quantità diverse a seconda delle direzioni anatomiche: longitudinale, radiale e tangenziale. Ogni specie legnosa ha i suoi coefficienti di rigonfiamento e ritiro tipici, ma possono essere generalmente riassunti nelle seguenti relazioni [15]:

$\alpha_{long} \leq 0.6\%$

$\alpha_{rad} \leq 8\%$

$\alpha_{tang} \leq 18\%$

Le variazioni dimensionali e le deformazioni del legno al variare del contenuto di umidità generalmente non sono desiderabili né dal punto di vista costruttivo né da un punto di vista estetico. Tuttavia, si possono sfruttare le proprietà igroscopiche naturali del legno prendendo esempio dalle pigne le cui squame, soggette a variazioni di umidità, reagiscono come sensori, chiudendosi se il livello di umidità aumenta e aprendosi se diminuisce, per proteggere i semi [16]. Le squame sono composte da due diversi tessuti che assorbono/ espellono l'acqua rispettivamente quando l'umidità relativa

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

aumenta/ diminuisce. Mentre lo strato attivo, che ha un coefficiente di espansione igroscopica più elevato, reagisce significativamente al gradiente di umidità, lo strato passivo, che ha un coefficiente inferiore, è quasi inerte, quindi la squama si piega invece di espandersi linearmente [16–18].

Sulla base di tale esempio biomimetico, è possibile realizzare un composito a doppio strato utilizzando un materiale igroscopico come strato attivo e un materiale non igroscopico come strato passivo. Un pannello interamente in legno può presentare lo stesso comportamento, flettendosi quando sottoposto a variazioni di umidità se gli strati sono incollati con la fibratura ortogonale (con la direzione tangenziale dello strato attivo corrispondente a quella longitudinale dello strato passivo, che rimane pressoché indisturbato dall'umidità) [19, 20].

In questo articolo, i pannelli appena descritti vengono chiamati "decompensati" per sottolinearne il comportamento opposto rispetto ai pannelli compensati, caratterizzati invece da una particolare stratificazione che impedisce le deformazioni igroscopiche.

2. Materiali e metodi

La scelta dei materiali e delle configurazioni da testare in questa ricerca è partita dallo studio del coefficiente di variazione di curvatura *f (m, n)* (Eq.1), che fornisce il rapporto di spessore *m* e il rapporto di rigidità *n* tra strato passivo e attivo e fornisce un indicatore sulla responsività del composito [9, 11]:

(1) $$f(m,n) = \frac{[6(1+m)^2]}{\left[3(1+m)^2+(1+mn)\left(m^2+\frac{1}{mn}\right)\right]}$$

dove,

$$m = \frac{t_p}{t_a}$$

$$n = \frac{E_p}{E_a}$$

dove t_p and t_a sono gli spessori mentre E_p ed E_a sono i moduli di Young dello strato passivo e attivo, rispettivamente.

2.1. Selezione dei materiali

Sono state selezionate specie locali, economiche e facilmente reperibili per la produzione dei pannelli da testare, facendo riferimento ai risultati raggiunti da Rüggeberg & Burgert [19] sui compositi di legno a doppio strato.

2.1.1. Strato attivo

Per lo strato attivo è stato utilizzato legno di faggio (*Fagus sylvatica L.*) tagliato in diversi spessori. Il legno di faggio ha una densità media di circa 710 kg /m^3 e presenta una struttura microscopica caratterizzata da una porosità diffusa e da una buona permeabilità sia nell'alburno che nel durame. Tutte queste proprietà consentono l'assorbimento/ desorbimento di una quantità significativa di acqua di saturazione e un rapido tempo di risposta.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2.1.2. Strato passivo

Lo strato passivo ha lo scopo di impedire le deformazioni dello strato attivo, costringendo il composito a piegarsi. La specie non è così importante, perché è il diverso orientamento delle fibre tra i due strati il principale responsabile della deformazione del pannello. In questo studio è stato utilizzato il tranciato di larice europeo (*Larix decidua Mill*.) con densità di circa 660 kg /m^3.

2.1.2. Adesivo

Come suggerito da Rüggeberg & Burgert [19], per incollare gli strati viene utilizzato un adesivo poliuretanico monocomponente, in quanto atossico, resistente all'acqua ed elastico.

2.1.3. Direzione della fibratura

In una prima fase, sono stati realizzati dei provini quadrati di 10 cm di lato con le impiallacciature di faggio e larice orientate secondo le direzioni anatomiche. Lo strato attivo è stato utilizzato con spessori di 5 mm, 4 mm, 3 mm e 2.5 mm mentre il passivo è in ogni provino spesso 0.7 mm. La direzione della fibratura è parallela alla diagonale del quadrato.

I provini sono stati realizzati incollando i due strati equilibrati a un'umidità relativa del 40%. Ciò significa che il composito si trova in condizioni piane per umidità del 40%, mentre si curverà per valori maggiori o minori. Partendo da uno stato iniziale più secco, i provini sono più lontani dal punto di saturazione delle fibre, quindi più reattivi e con una maggiore capacità di assorbire umidità. Il gradiente di umidità tra aria e legno è infatti una delle forze trainanti negli scambi di umidità: più è alto, più veloce è lo scambio. Il comportamento di tali pannelli è quindi stato testato in camera climatica a 20 °C e 80% di umidità relativa per un minimo di 72 ore.

3. Risultati e discussione

Nella prima parte della ricerca sono stati effettuati alcuni test basati su studi precedenti [9–11, 19] per comprendere il reale comportamento delle specie legnose e degli spessori selezionati nelle varie condizioni di umidità relativa.

I dati sperimentali ottenuti, ovvero le frecce massime *f* misurate minuto per minuto, forniscono il raggio di curvatura *r* (Eq.2), la curvatura *k* (Eq.3), e la velocità di curvatura *v* (Eq.4):

(2) $r = \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f}$

(3) $k = \frac{1}{r}$

(4) $v = \frac{k}{t}$

dove *l* è la lunghezza della corda tra i due punti di contatto del provino con la base di appoggio.

È stata ricavata la seguente funzione (Eq.5) che meglio approssima gli andamenti ideali delle curvature dei pannelli:

(5) $y = a\left((1-)e^{-bx^c}\right)$

dove *y* è la freccia massima prevista espressa in mm e *x* è il tempo in ore.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

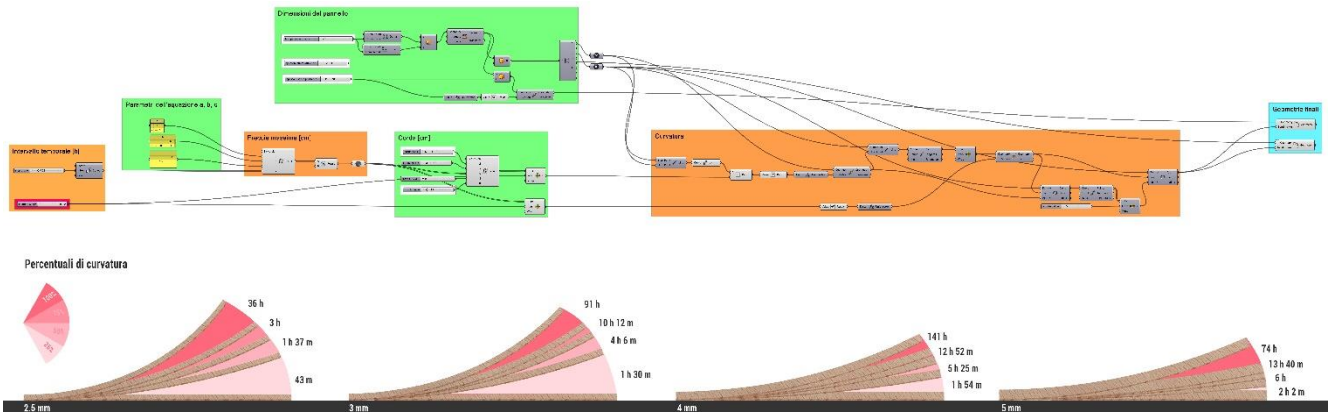
Come ci si aspettava, i provini con spessore inferiore, in particolare quello con strato attivo da 2.5 mm, mostrano curvature maggiori e in tempi più rapidi poiché raggiungono più velocemente il punto di saturazione delle fibre.

3.1. Percentuale di curvatura

Il processo di curvatura dei campioni testati è stato parametrizzato con Grasshopper. L'algoritmo calcola le frecce massime ogni minuto per un massimo di 20 ore tramite l'Eq. 5, utilizzando i parametri specifici *a*, *b*, *c* ottenuti dall'adattamento della curva per ogni campione. Pertanto, l'algoritmo consente il confronto della flessione complessiva e della velocità di flessione tra i campioni con diversi spessori dello strato attivo. L'algoritmo permete quindi di confrontare visivamente e simultaneamente la curvatura complessiva e la velocità di curvatura dei provini con diversi spessori dello strato attivo.

Un ulteriore parametro di analisi è stato poi introdotto per meglio comprendere il comportamento relativo all'applicazione architettonica: la percentuale di curvatura. La Fig.1 mostra i diversi tempi che ogni pannello impiega per raggiungere il 25%, 50%, 75% e 100% della sua massima curvatura a conferma che, in generale, più è spesso il campione, più tempo è necessario per affinché il pannello risponda all'umidità.

Figura 1. Lo script realizzato in Grasshopper permette di simulare, sulla base dei dati sperimentali, le curvature dei pannelli di vari spessori, calcolando il tempo impiegato a raggiungere le varie percentuali di curvatura.



3.2. Applicazione

Le prove sperimentali hanno portato alla realizzazione di un modulo per controsoffitto da applicare in ambienti interni dove l'umidità subisce variazioni continue e rapide. I "decompensati" sono preprogrammati per flettersi a umidità diversa dal 40% e sono stati realizzati moduli di diverse configurazioni. Poiché la velocità di reazione alle variazioni di umidità è il parametro fondamentale per l'applicazione dei "decompensati" come sistema di deumidificazione in architettura, sono stati realizzati pannelli con strati attivi di spessori più sottili perché, come emerso dai primi test, la responsività è maggiore in questi casi. Sono quindi stati considerati per lo strato attivo in faggio spessori

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

minori o uguali a 2.5 mm, mentre per lo strato passivo è stato scelto il larice da 0.7 mm (Fig.s 2-3). La cornice esterna del pannello modulare è realizzata in massello di abete bianco (*Mulino Abies alba*).

Figura 2. Varie configurazioni dei pannelli modulari testati, con l'indicazione della direzione della fibratura nello strato attivo e degli spessori dei due strati.

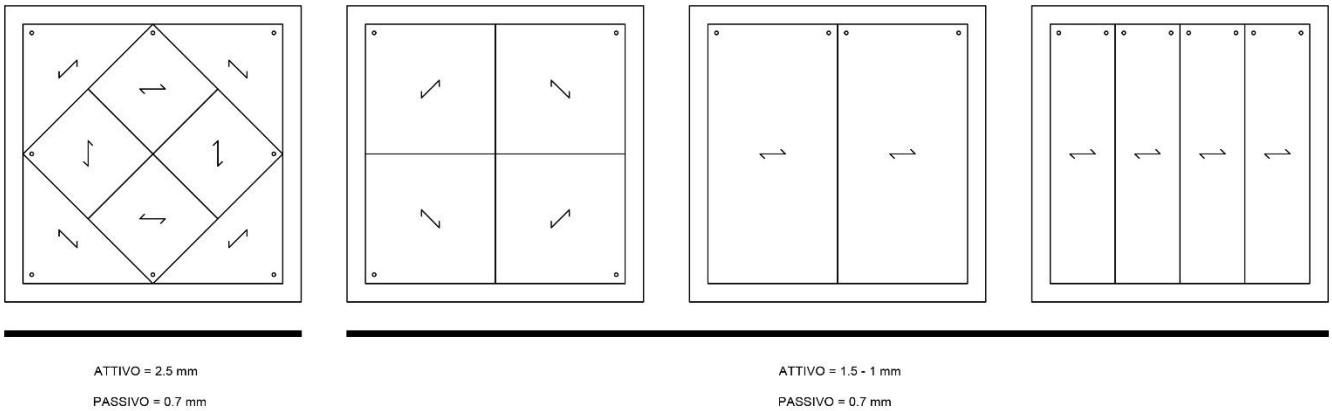
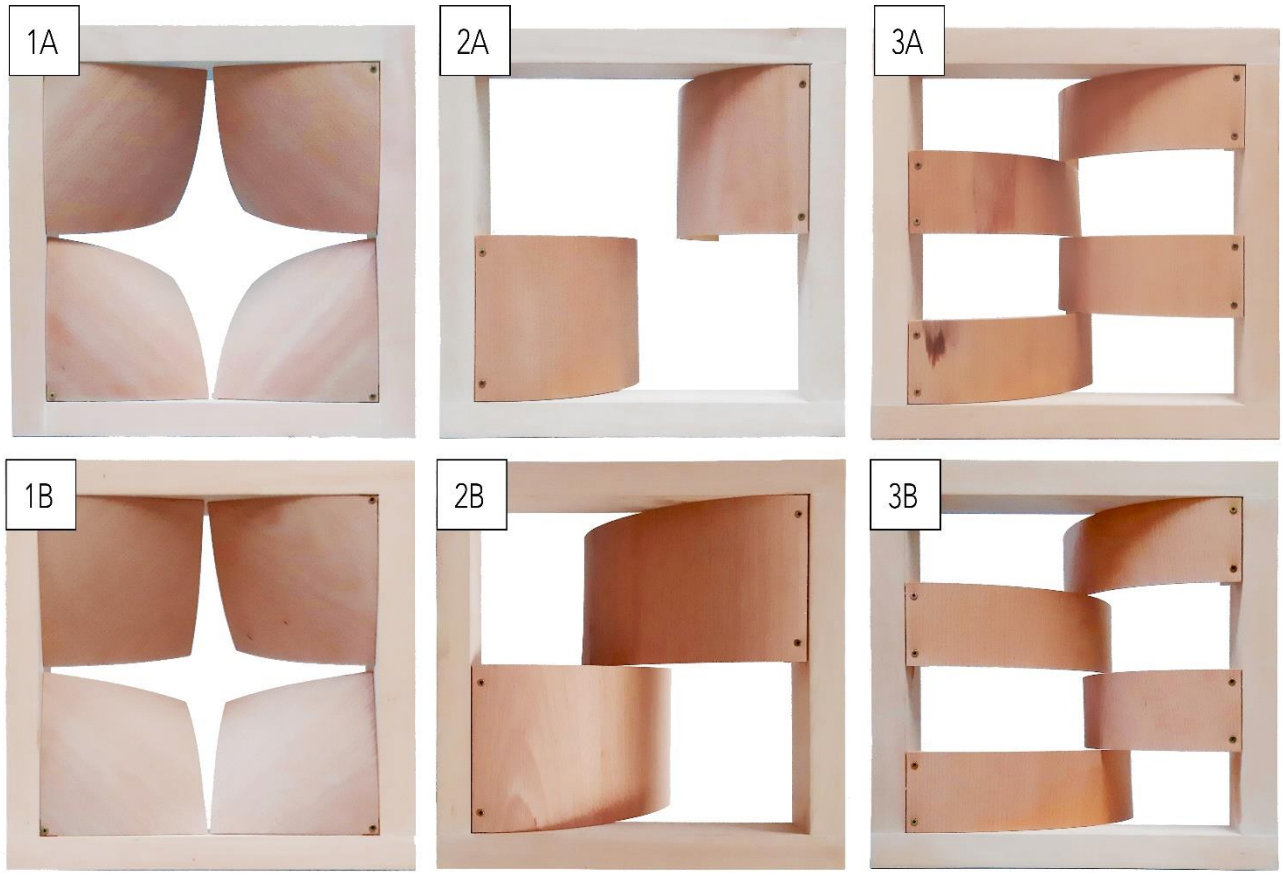


Figura 3. Confronto fotografico tra le curvature di tre diverse configurazioni. A: provini con strato attivo spesso 1.5 mm; B: provini con strato attivo spesso 1 mm.

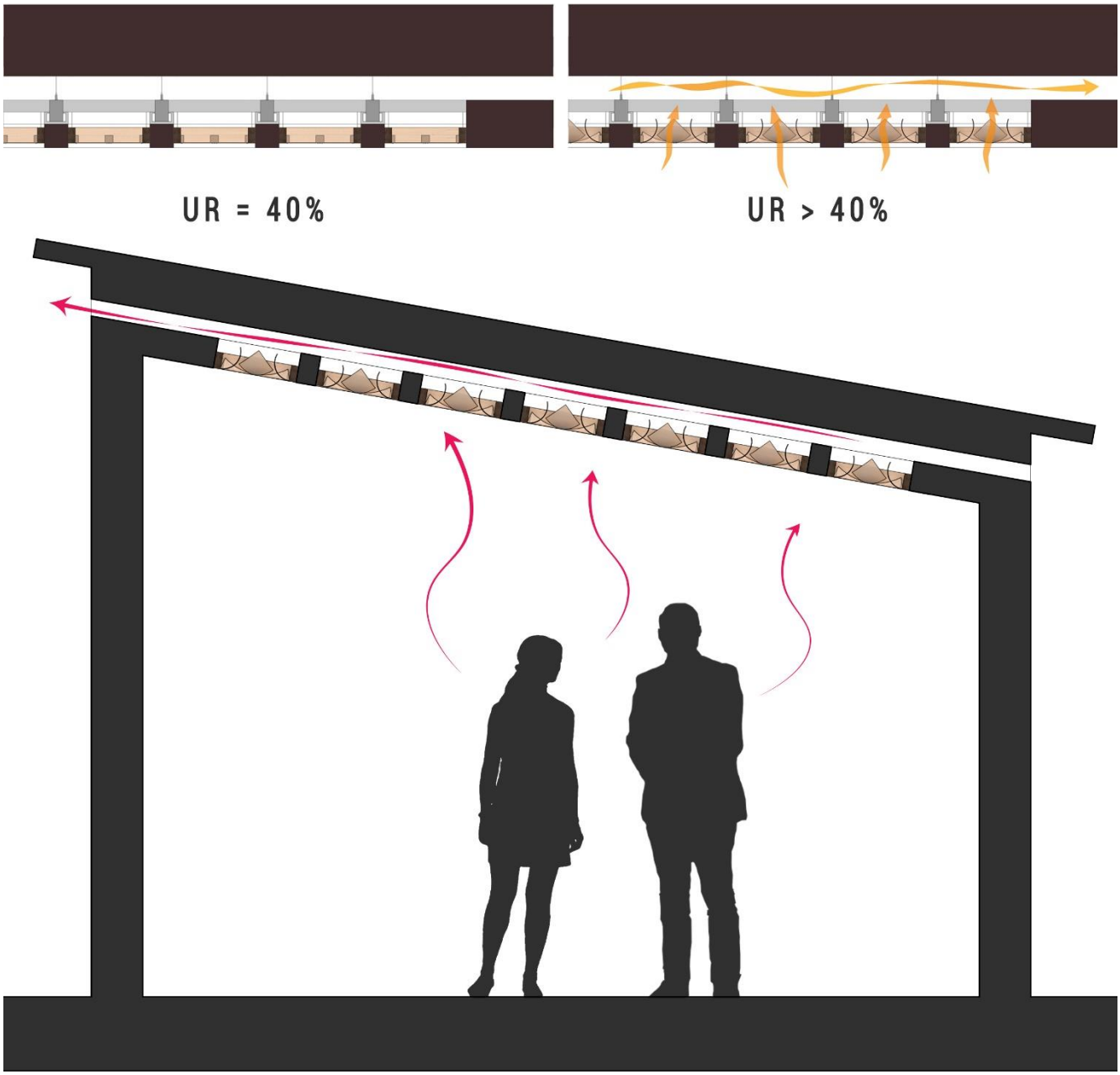


Il pannello modulare sopra descritto può essere quindi applicato a un controsoffitto in ambienti umidi. L'aria umida all'interno del locale sale per effetto dei moti convettivi verso il controsoffitto, provocando la curvatura dei pannelli grazie alla differenza di umidità. L'aria che fluisce all'interno della

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

soprastante intercapedine di 10 cm viene quindi portata all'esterno grazie all'effetto camino. La presenza di una seconda intercapedine tra la parete esterna e una parete vetrata, non inferiore ai 50 cm, permetterebbe inoltre di sfruttare l'effetto serra in modo che l'aria ulteriormente scaldata risalga fino a raggiungere un'apertura verso l'esterno a livello del piano superiore. In questo secondo caso, è necessario che ci sia almeno un piano sopra quello che deve essere deumidificato per attivare l'effetto camino (Fig. 4).

Figura 4. Sezione tipo illustrante l'ipotesi proposta secondo cui i pannelli, reagendo all'umidità, consentirebbero la deumidificazione passiva della stanza.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Conclusioni

In questo articolo è stata presentata un'analisi dell'igroscopicità del legno finalizzata alla realizzazione di elementi responsivi per la ventilazione passiva di specifici ambienti interni. I test sperimentali eseguiti confermano le aspettative sul comportamento dei "decompensati" e consentono di comprendere direttamente i fattori più influenti sulla reattività del composito. In particolare, come ci si aspettava, i compositi con strati attivi da 2.5, 1.5 e 1 mm manifestano una maggiore responsività sia in termini di curvatura sia di velocità di reazione, a parità di spessore dello strato passivo di 0.7 mm.

Le curvature osservate consentono di ipotizzare la realizzazione di elementi modulari da controsoffitto composti dai "decompensati" che, sottoposti a variazioni importanti di umidità ambientale, permetterebbero di deumidificare la stanza sfruttando i moti convettivi dell'aria calda e umida, l'effetto camino, l'igroscopicità del legno ed, eventualmente, l'effetto serra.

Negli sviluppi futuri è previsto il confronto di tali elementi in legno con pannelli realizzati secondo i medesimi principi ma utilizzando filamenti per la stampa 3D con determinate percentuali di contenuto di legno. Parallelamente, si prevede di effettuare studi su compositi dotati di uno strato attivo in legno e uno strato passivo polimerico. La finalità di questi test è quella di individuare la/le soluzioni maggiormente responsive e adatte a essere utilizzate come regolatori passivi dell'umidità *indoor*.

5. Didascalie

Figura 5. Lo script realizzato in Grasshopper permette di simulare, sulla base dei dati sperimentali, le curvature dei pannelli di vari spessori, calcolando il tempo impiegato a raggiungere le varie percentuali di curvatura.

Figura 6. Varie configurazioni dei pannelli modulari testati, con l'indicazione della direzione della fibratura nello strato attivo e degli spessori dei due strati.

Figura 7. Confronto fotografico tra le curvature di tre diverse configurazioni. A: provini con strato attivo spesso 1.5 mm; B: provini con strato attivo spesso 1 mm.

Figura 8. Sezione tipo illustrante l'ipotesi proposta secondo cui i pannelli, reagendo all'umidità, consentirebbero la deumidificazione passiva della stanza.

6. Bibliografia

1. Tian, Z., Zhang, X., Jin, X., Zhou, X., Si, B., & Shi, X., Towards adoption of building energy simulation and optimization for passive building design: A survey and a review. *Energy and Buildings*, 158 (**2018**) 1306–1316. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.022.
2. Loonen, R. C. G. M., Climate adaptive building shells. What can we simulate?, Eindhoven University of Technology, **2010**.
3. Addington, M. & Schodek, D. L., *Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions* (Oxford: Architectural, 2005).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A., Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 42 (**2010**) 1361–1368. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.026.
5. Benyus, J. M., *Biomimicry : innovation inspired by nature* (New York: Harper Perennial, 1997).
6. Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A.-K., Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society, Interface*, 3 (**2006**) 471–82. https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127.
7. Menges, A. & Reichert, S., Material Capacity: Embedded Responsiveness. *Architectural Design*, 82 (**2012**) 52–59. https://doi.org/10.1002/ad.1379.
8. Wood, D., Vailati, C., Menges, A., & Rüggeberg, M., Hygroscopically actuated wood elements for weather responsive and self-forming building parts – Facilitating upscaling and complex shape changes. *Construction and Building Materials*, 165 (**2018**) 782–791. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.12.134.
9. Holstov, A., Bridgens, B., & Farmer, G., Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture. *Construction and Building Materials*, 98 (**2015**) 570–582. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.08.136.
10. Reichert, S., Menges, A., & Correa, D., Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. *Computer-Aided Design*, 60 (**2015**) 50–69. https://doi.org/10.1016/J.CAD.2014.02.010.
11. Bridgens, B. & Holstov, A., Towards sustainable adaptive building skins with embedded hygromorphic responsiveness. (n.d.).
12. Ugolev, B. N., Wood as a natural smart material. *Wood Science and Technology*, 48 (**2014**) 553–568. https://doi.org/10.1007/s00226-013-0611-2.
13. Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M., Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25 (**2013**) 483–493. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.04.016.
14. Straube, J. F., Moisture in Buildings. *ASHRAE Journal*, 44 (**2002**) 15–19.
15. Giordano, G. & Bandini Orlandi, F., *Tecnologia del legno. 1, La materia prima* (UTET, 1981).
16. Song, K., Yeom, E., Seo, S.-J., Kim, K., Kim, H., Lim, J.-H., & Joon Lee, S., Journey of water in pine cones. *Scientific Reports*, 5 (**2015**) 9963. https://doi.org/10.1038/srep09963.
17. Dawson, C., Vincent, J. F. V., & Rocca, A.-M., How pine cones open. *Nature*, 390 (**1997**) 668–668. https://doi.org/10.1038/37745.
18. Reyssat, E. & Mahadevan, L., Hygromorphs: from pine cones to biomimetic bilayers. *Journal of the Royal Society, Interface*, 6 (**2009**) 951–7. https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0184.
19. Rüggeberg, M. & Burgert, I., Bio-Inspired Wooden Actuators for Large Scale Applications. *PLOS ONE*, 10 (**2015**) e0120718. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120718.
20. Vailati, C., Bachtiar, E., Hass, P., Burgert, I., & Rüggeberg, M., An autonomous shading system based on coupled wood bilayer elements. *Energy and Buildings*, 158 (**2018**) 1013–1022. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.10.042.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Analysis of AC/DC power converters for electrical vehicles

A. Hassan Shehata [1], E. Belloni [1,*], A. Faba[1], S. Quondam Antonio[1] and E. Cardelli[1]

[1] Department of Engineering, University of Perugia, Via G. Duranti 93, Perugia 06125, Italy

* E-Mail: elisa.belloni@unipg.it; belloni.unipg@ciriaf.it

Abstract: Modern society depends on the movement of goods and people and current transport systems have negative impacts on human health and the environment. The EU is committed to decarbonize its transport system and supporting alternatives to conventional combustion engine technologies and fuels. In this context, an always greater diffusion of electric vehicles is decisive and, in particular, the attention to the electrical components study requires further discussion and development. In this scenario, power electronics plays a crucial role in controlling and improving the energy conversion in power converter system. The use of power electronics helps in general in reducing dimensions and weight of the devices in comparison to the equivalent mechanical ones, is easier to maintain, and provides more controllability. In order to allow the use of DC components and systems, AC/DC converters are used. Among different AC/DC converter designs, the reduction of weight and size is very important in automotive sector. However, power electronics components such as rectifiers are non-linear loads which can cause high harmonic components in AC mains and ripples in DC output. Therefore, losses will be increased, resonances can be excited in some circuits resulting in over-voltages, and more in general it can cause problems of electromagnetic compatibility in the electrical plants on board. Different design geometries and strategies of AC/DC power converters have been proposed to reduce dimensions and weight on board and to overcome possible electromagnetic compatibility problems. In this paper, the performance of different configurations are studied either from the point of view of dimensions and weight, or from the point of view of harmonic pollution on the AC side and of the ripple on the DC side. In addition, power factor and efficiency are evaluated, for an all-round comparison of the two configurations. The analysis is carried out in detail for a power AC bus at 50 Hz, but the results can be easily extended to other frequencies ranges typical of automotive applications.

Keywords: Electric Vehicles; AC/DC Converters, 12 Pulses Rectifiers; Auto Transformer Rectifiers; Total Harmonic Distortion

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

The automobile sector plays an important role in shaping human civilization and economic growth from centuries affects entire pollution [1, 2]. The vehicles fitted with internal combustion engines are accountable for 20%–30% of total greenhouse gas emissions [3]. For these reasons, the increasing of the electrical vehicles (EVs) on-road is very important and the improving of their performance is fundamental. With the widespread use of EVs, rechargeable battery technologies and their management system have become an important issue. Various types of battery technologies such as lead-acid, nickel-cadmium (Ni–Cd), nickel-metal hydride (Ni-MH), sodium-sulfur (Na–S), lithium-ion (Li-ion) are used in EVs [4]. Power electronics plays a crucial role in controlling and improving the energy conversion in electric automobiles converter systems, allowing for the weight reduction of mechanical devices. Suitable AC-DC converter architectures must be designed to achieve low weight and volumes, and operate with THD, Power Factor (PF), and output voltage ripple in compliance with international standards. A CTU is an economic AC-DC converter, however, the THD of input main line current is quite high, it also does not always reach the power quality standard requirements. In this converter, a lower current harmonic content and a higher power factor is achieved by using interphase transformers and impedance-matching inductors, with a consequent increasing of the complexity, the volumes, the weights, and the costs. Moreover, these components not only are bulky but also suffer from drawbacks like detuning [5-12]. The alternative for improving power quality and reduce size is to use either AC-DC converters having a higher pulse number or look for more performing twelve-pulse AC-DC converters. Recently several authors proposed alternative solutions based on the use of autotransformers, indicating possible advantages and as an advantageous alternative to the use of CTUs [13-17]. The author of [18,19] presents a review of best-in-class DC-DC converters utilized in battery electric vehicles (BEVs), crossover electric vehicles (BEVs) and energy component vehicles (FCVs). Several converters, for example, detached, non-isolated, half and full bridge, unidirectional and bidirectional geographies, and their applications in electric vehicles are introduced.

The distortion of the AC / DC converter input current waveform is reduced as the number of pulses per cycle increases. On the other hand, a high number of pulses per cycle increases the complexity of the circuit connections and the number of diode bridges required. A good compromise is usually achieved with 12-pulse systems.

In this paper a 12 pulses ATU is designed and simulated, and its performance are compared with that of a conventional transformer CTU. This solution respects the power quality requirements for loads near full-load without the necessity of install bulky filters. The proposed autotransformer based solution is smaller, has lower costs, and efficiency comparable comparable to that of traditional solutions [19]. Therefore, the system weight and volume are decreased, overall reliability, capability, and maintainability are increased and it provides higher durability [20]. Two typical solutions are designed and simulated by means of MATLAB Simulink and then compared by considering their size and weight, the harmonic content on the AC side, and the ripple on the DC side. Also the power factor, the losses and the efficiency are analyzed. Finally, because of the high harmonic content of ATU configuration, capacitive filters are applied in order to reduce the input current THD. The F-ATU

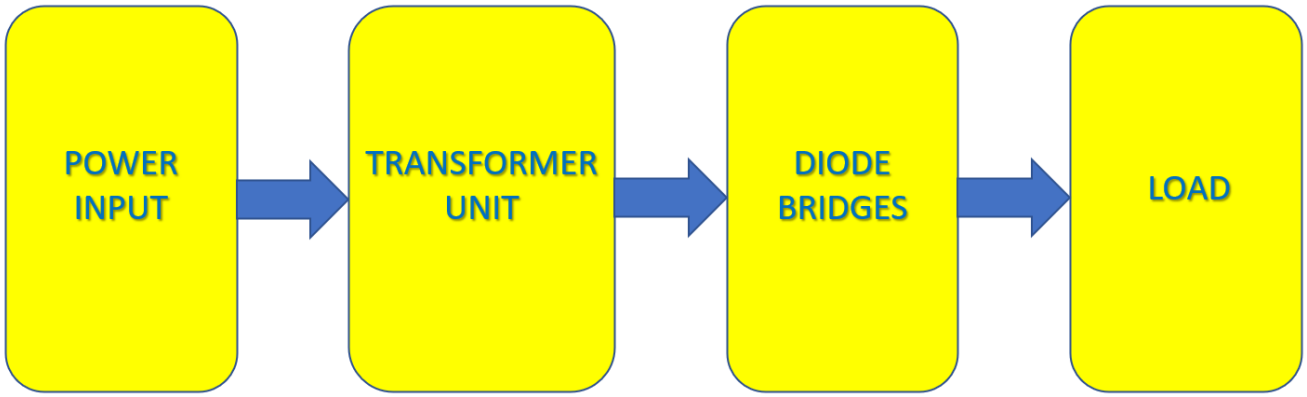
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

solution seems to be effective for the studied application and it represents the best solution, showing a higher efficiency with respect to the other converters in all the scenarios.

2. The converter systems

As explained in the introduction, a Conventional Twelve pulse Unit (CTU) and an Autotransformer Twelve pulse Unit (ATU) for automotive applications are considered and designed. The block diagram of both the systems is represented in Figure 1. Their descriptions and features are presented in detail in the following sections.

Figure 1. Block diagram of the converter systems.



2.1 Conventional Twelve Pulse Unit (CTU)

The conventional Twelve Pulse Unit (CTU) was designed to operate in the conditions showed in Table 1. In particular, the magnetic core material is a stacking iron-based Metglas® amorphous alloy [21]. In order to validate the previous computation and to evaluate the coupling coefficients between the windings, a Finite Element Analysis (FEA) was performed by using a code developed in our laboratory [22-25]. As shown in Figure 3, 2D analysis was performed, by assuming a linear behavior of the material. The mesh discretization and the air gap region were also shown in Figure 2. A full three phases current system was used for the excitations and the coupling coefficient was computed by considering their effective disposition in geometry. The aim of this simulation was both computed coupling coefficient and maximum value of magnetic induction in real operating conditions. In order to compute the coupling coefficient a postprocessing of the FEA solution was performed by evaluating the linked flux in the different part of the core section surrounded by windings. The coupling coefficients estimated were in the range 0.98-0,95, while the RMS value of magnetic induction was in the range 0.8-1 T.

In Fig. 2 is drawn a schematic picture of the electrical circuit of the CTU considered.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 2. Electrical circuit of the CTU system.

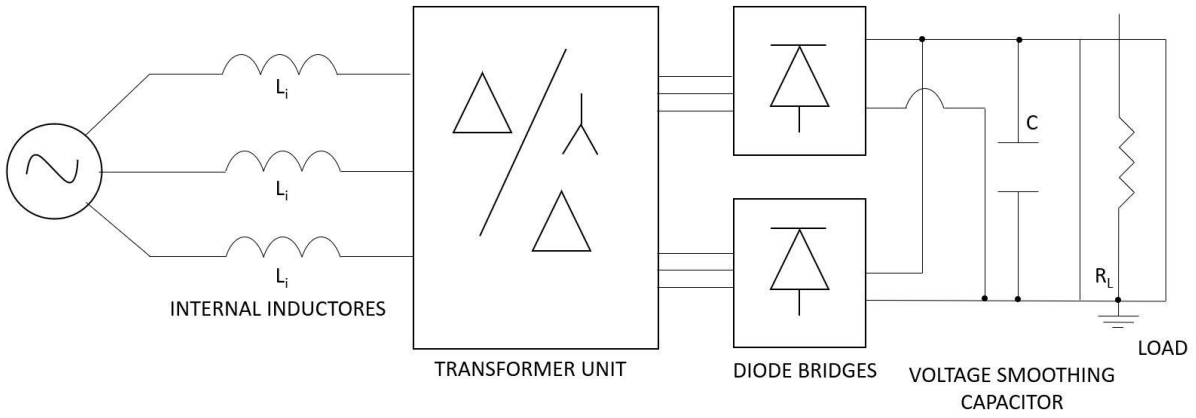
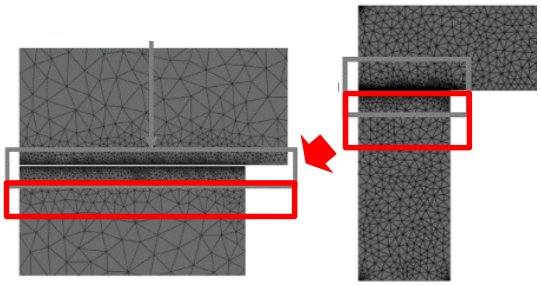


Table 1. Converter operating condition.

Parameter	Value
RMS Input Sinusoidal Voltage V_i	110 V
Frequency f	50 Hz
DC Output Voltage V_o	24 V
Nominal Output Power P_o	2 kW

Figure 3. Typical mesh of the half section of magnetic core used in Finite Element Analysis.



2.2 Autotransformer Twelve Pulse Unit (ATU)

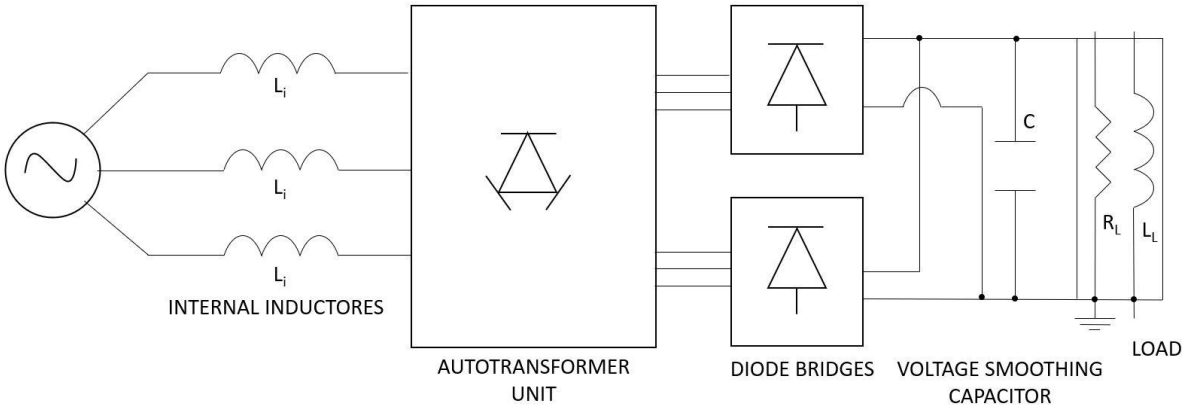
The second converter system (Autotransformer Twelve Pulse Unit – ATU) presents the same nominal design input of CTU (see Table 1). There are several differences between the autotransformer and the conventional transformer. An important difference between the two configurations is that in the case of the autotransformer there is no galvanic separation between the input circuit and the output circuit. Therefore, it is necessary to verify that in the windings of the autotransformer there are no parasitic recloses of the diode-load circuit. Such reclosings could lead to a worsening of the performance of the device, for example to a strong increase in the harmonic content of the input

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

current. On the other hand, as stated above, the size of the system is smaller in comparison with the conventional one, while the voltage regulation and the efficiency are comparable.

In Fig.4 is drawn a schematic picture of the electrical circuit of the ATU considered.

Figure 4. Electrical circuit of the ATU system.



3. Simulations

Both the solutions are designed to operate with the condition shown in Table 1. The diodes used in the rectifier to convert the AC voltage into DC voltage has a forward voltage V_F = 0.6 V and a conduction resistance r_{ON} = 0.1 Ω. All the simulations are referred to a value of the nominal output power P_o variable in the range 20 – 100 % of the nominal power (from 400 W to 2 kW). The output voltage ripple ΔV_o was evaluated considering the difference between the maximum and the minimum value, divided by the average value. The total harmonic distortion THD of the input current was calculated as the RMS value of the current waveform respect to the fundamental (first) harmonic component. In analogy, also the power factor PF was calculated. For further details about these definitions see [26].

Another parameter of primary importance is the AC-DC conversion efficiency. As know, it can be calculated as $\eta = P_o/P_i$ with $P_o=V_o \cdot I_o$ and $P_i = P_o + P_{loss}$.

The power losses considered were winding losses, magnetic core losses, diode losses, calculated in function of the applied voltages and of the calculated currents using the manufacturers data sheets [27-29]. Both the CTU and the ATU were simulated by using Matlab-Simulink.

The most important results of the simulations are represented in the following. In particular, V_o^{ripple} values are summarized in Figure 5, the Total Harmonic Distortion and the Power Factor in Figures 6 and 7. Finally, the percentage contribution of winding losses P_{Cu}, core losses P_{Core}, and diodes losses P_D for three different load conditions are summarized in Figure 8 a), b) and c). P_{magn} is obtained by the mathematical sum of these three power losses.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 5. CTU - Ripple output voltage.

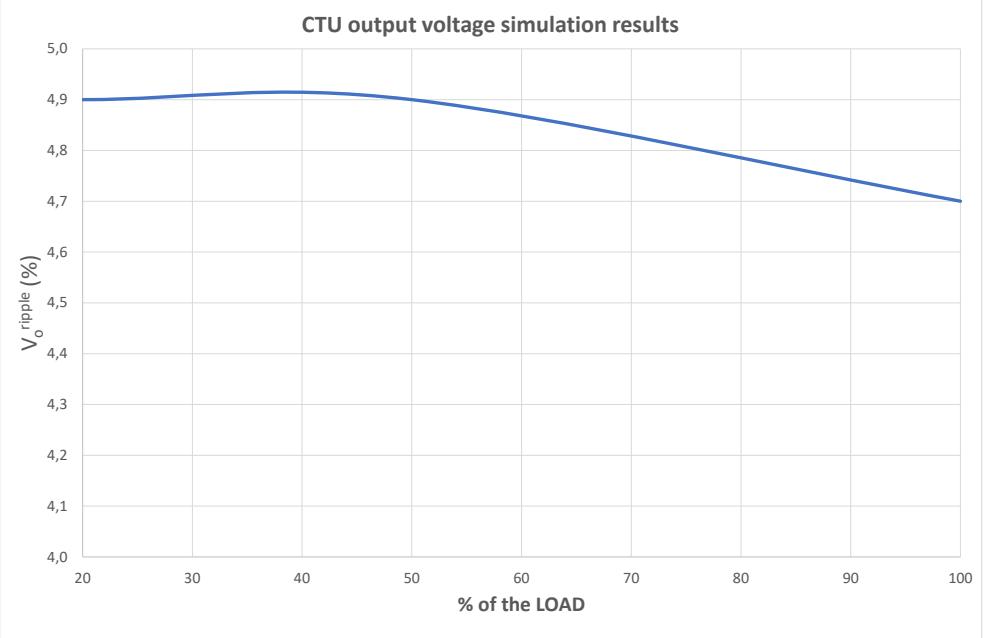
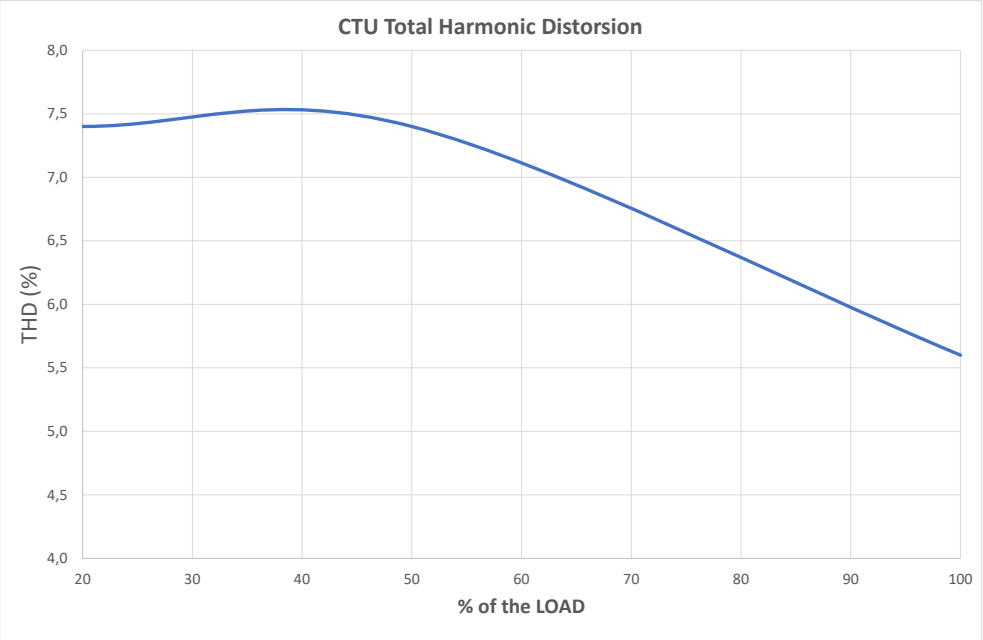


Figure 6. CTU – Total Harmonic Distortion.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 7. CTU – Power Factor.

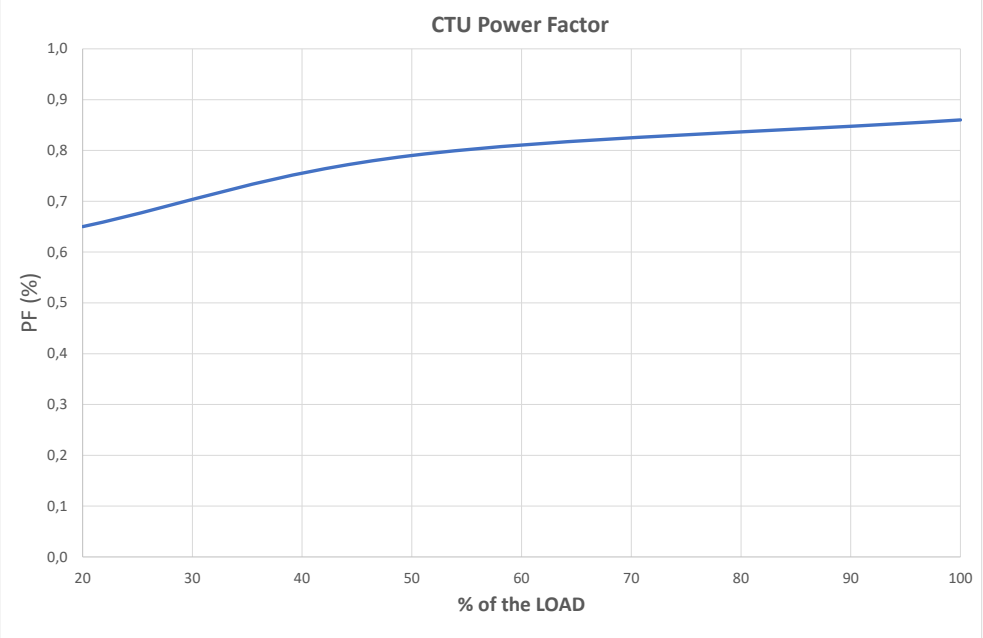
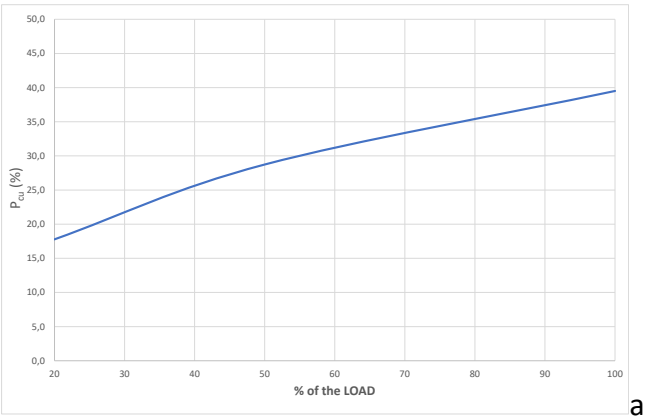
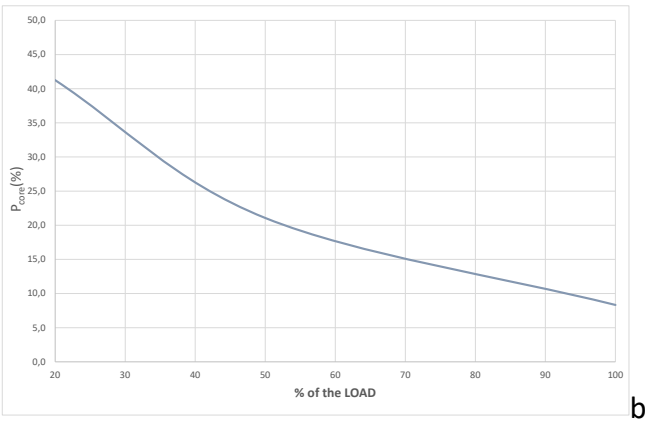


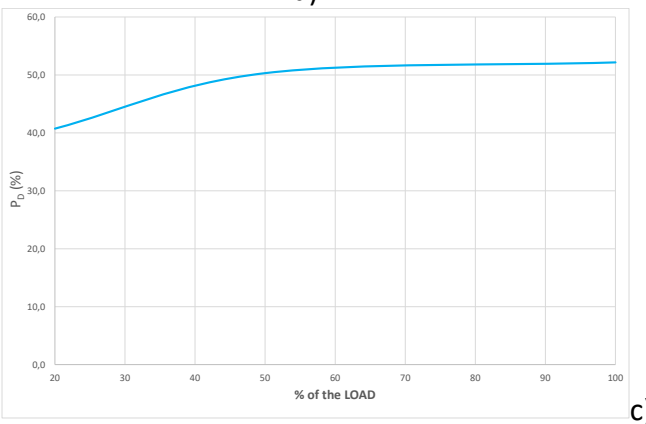
Figure 8. CTU – a) winding losses P_{cu}; b) core losses P_{core}; c) diode losses P_D.



a)



b)



c)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The same results are also shown for the Autotransformer Twelve Pulse Unit and in particular the ripple output voltage (Figure 9), the Total Harmonic Distortion (Figure 10), the Power Factor (Figure 11) and the power losses (in %) (Figure 12).

Figure 9. ATU - Ripple output voltage.

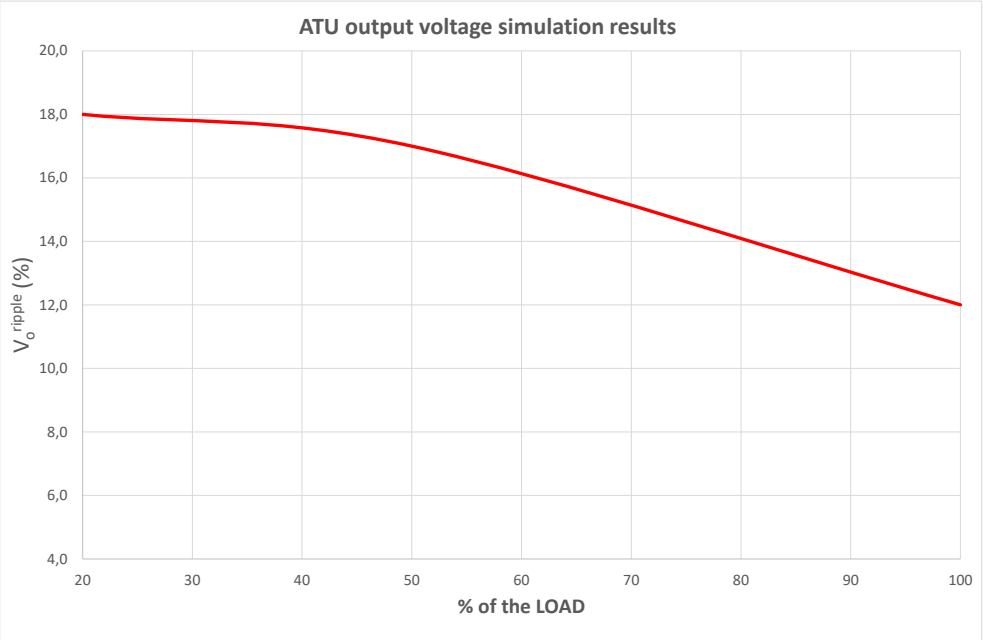
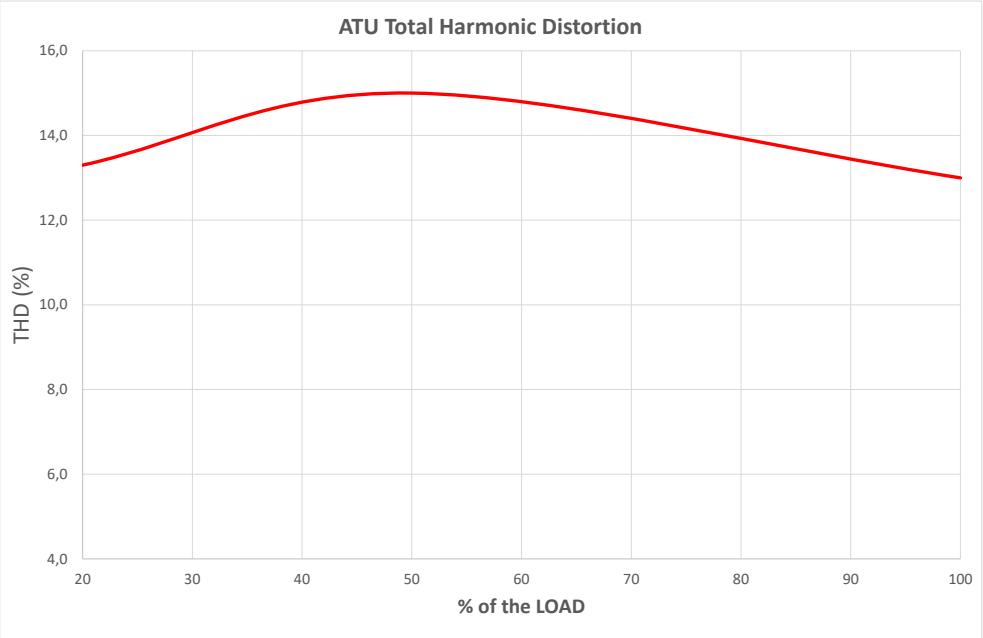


Figure 10. ATU – Total Harmonic Distortion.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 11. ATU – Power Factor.

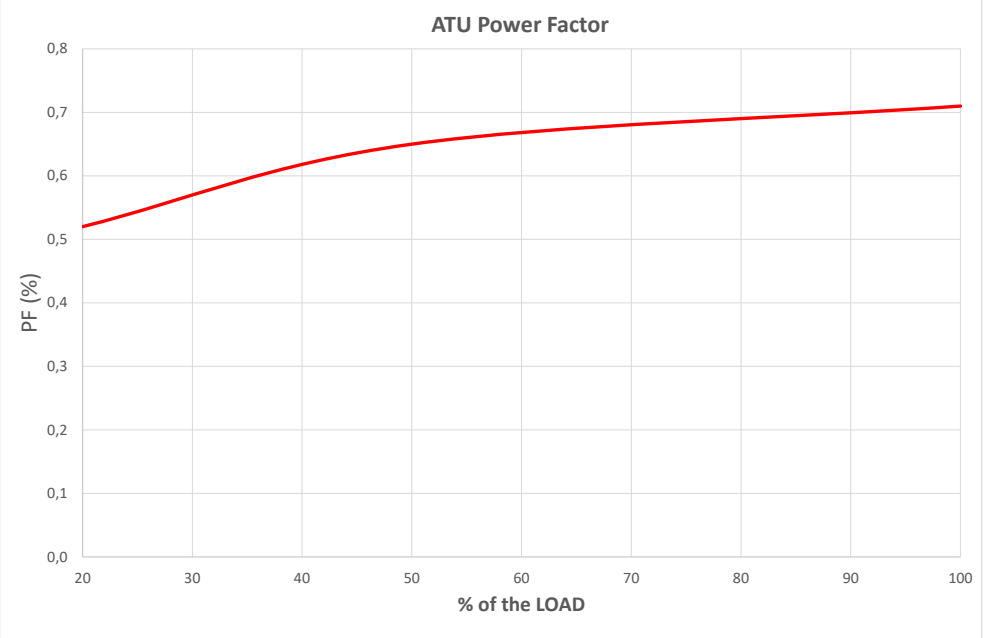
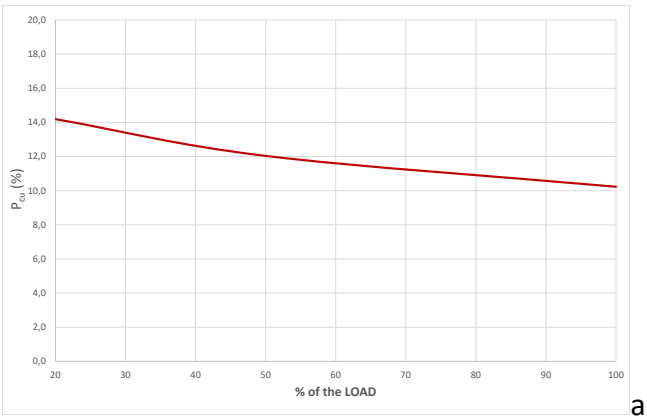
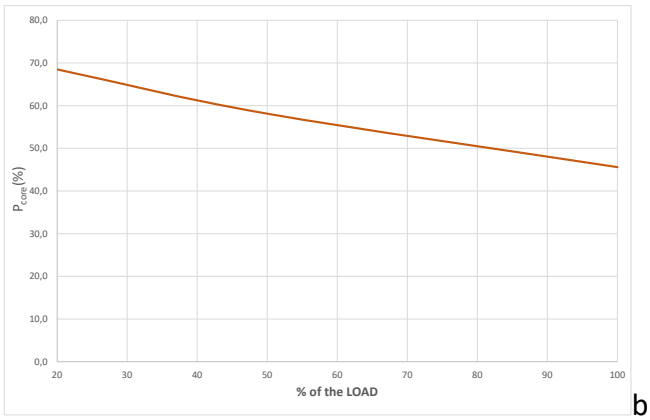


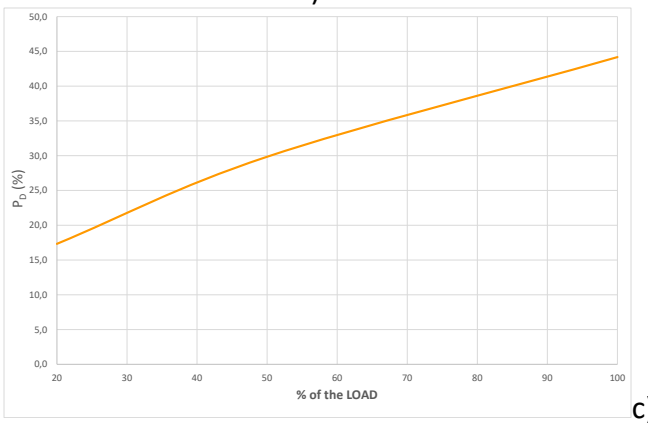
Figure 12. ATU – a) winding losses P_{cu}; b) core losses P_{core}; c) diode losses P_D.



a)



b)



c)

All the results for ATU represent a situation without Input Capacitor Filter: in this second case the harmonic content is higher than the one in CTU and it should be reduced by means of capacitive filters. Therefore, an additional Δ filtering capacitor was added to the system described above to reduce the input current THD.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

To decrease the THD, a passive shunt filter was designed following IEEE Standard 1531-2003 [30]. Three Δ connected capacitors have been to filter higher harmonics.

The filtered Autotransformer Twelve Pulse Unit (F-ATU) was also simulated and the results are represented in the following figures (Figures 13, 14, 15, and 16): it can be observed that THD was substantially reduced and the P_{core} (%) values also decrease.

Figure 13. F-ATU - Ripple output voltage.

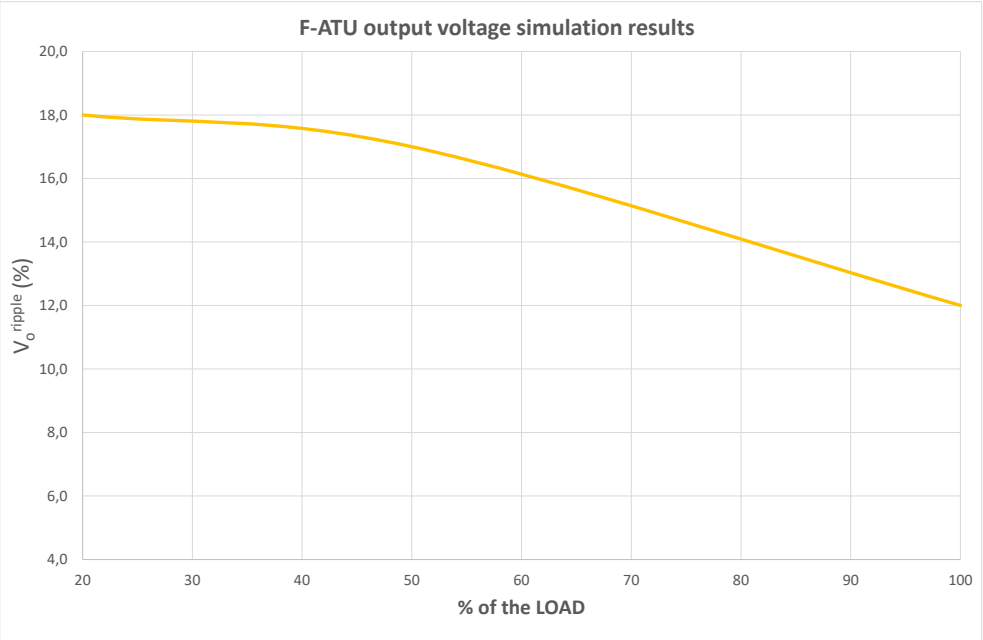
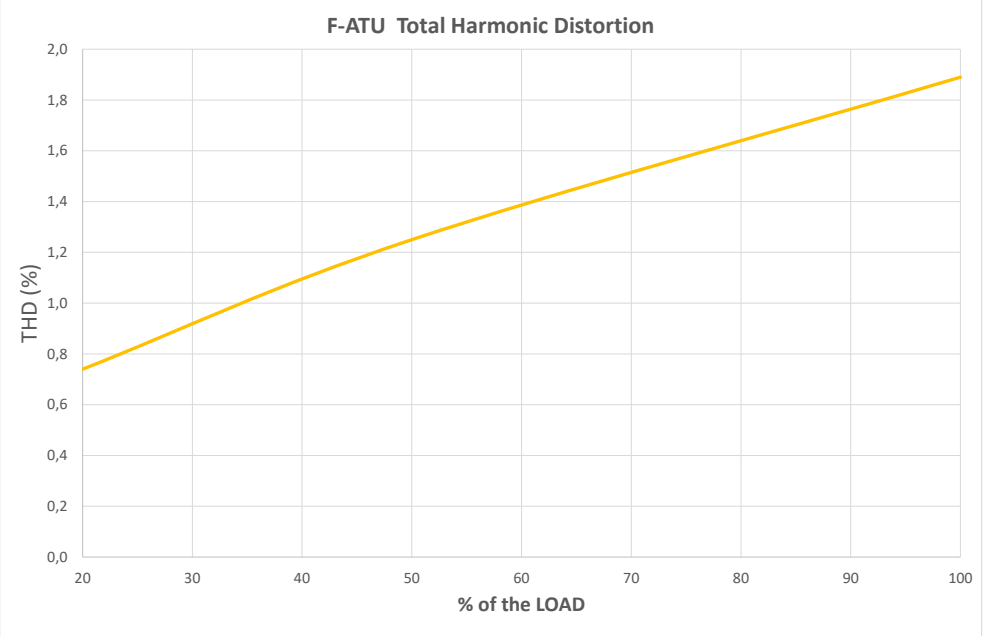


Figure 14. F-ATU – Total Harmonic Distortion.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 15. F-ATU – Power Factor.

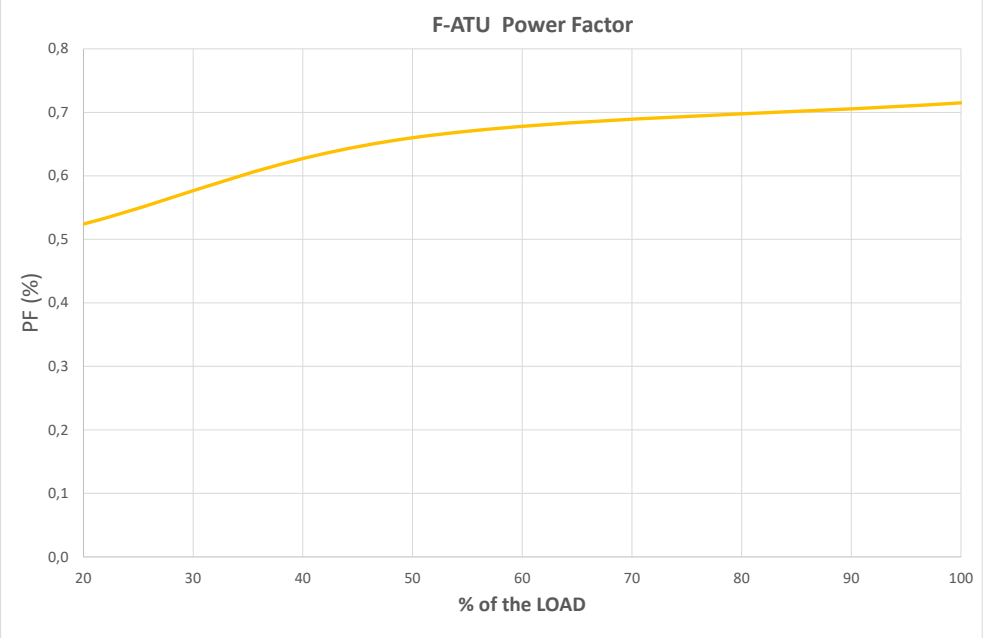
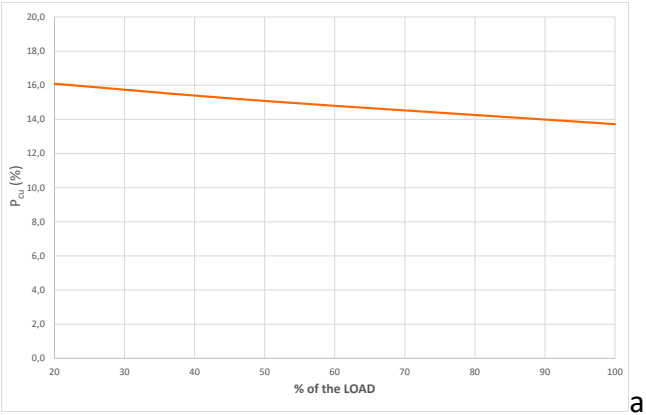
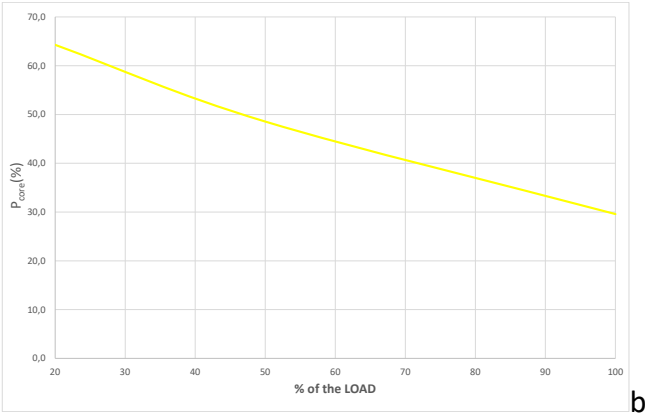


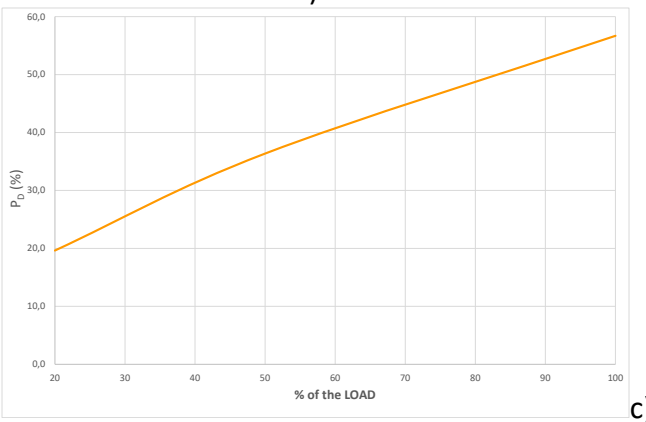
Figure 16. F-ATU – a) winding losses P_{cu}; b) core losses P_{core}; c) diode losses P_D.



a)



b)



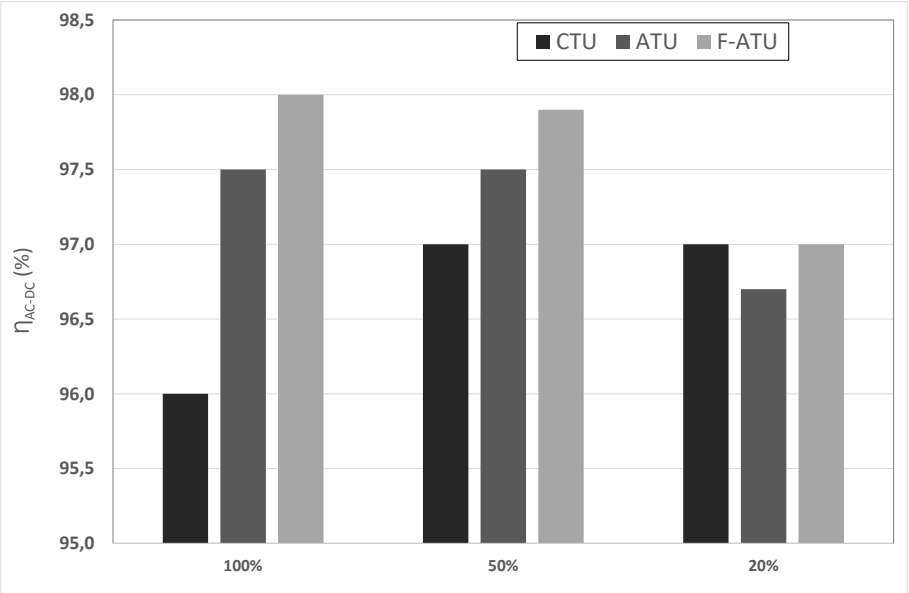
c)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Comparison

In Figure 17 the comparison between the CTU, ATU and F-ATU AC-DC conversion efficiency η_{DC-AC} has been evaluated for different loads. The AC-DC conversion efficiency is higher than 95% in all the operating conditions and for all the analyzed solutions. The CTU exhibits a lower transmission efficiency for heavy loads (100% of the nominal output power P_o) but has higher efficiency at light load (20 % of P_o). The ATU has higher efficiency respect to the CTU at high loads but it decreases for lighter load (20 % of the nominal output power P_o). The F-ATU represents the more efficient solution, showing a higher efficiency with respect to the other converters in all the scenarios.

Figure 17. Comparison of AC-DC Conversion efficiency for different loads.

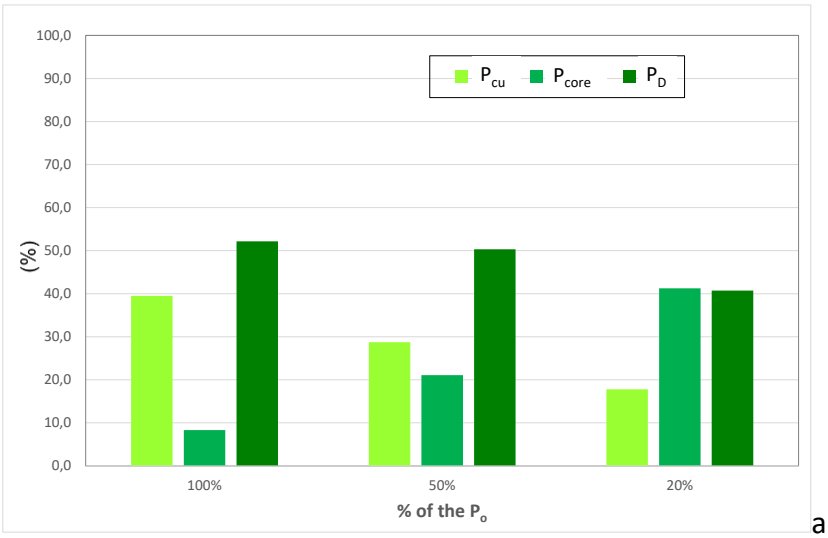


The power loss contributions at different loads were analyzed for each converter and shown in Figure 18. The copper losses P_{Cu}, the core loss P_{Core} and the diodes rectifiers losses P_D were analyzed. The three contributions for the CTU configuration are shown in Fig. 18(a). The core loss represents the lowest contribution for the maximum power load conditions (for 100 and 50% of P_o). The copper loss is the minimum contribution for the 20% of P_o and maximum in percentage for the 100% of P_o (variable from 18% to 39%). In Figure 18(b), the ATU power losses are shown: the core losses are predominant independently from the operating condition. The diode losses have a significative contribution for heavy load. Finally, in Figure 18(c) the F-ATU power losses are represented. The maximum percentage contribution is the diode loss for heavy load (about 58%) and the core loss for the lighter load (about 64%). Considering the 50% of the nominal output power, the difference between these two contributions decreases but the core loss is also the highest value (about 50%). The copper losses percentage contributions are the lowest ones for all the operating conditions (13-16%).

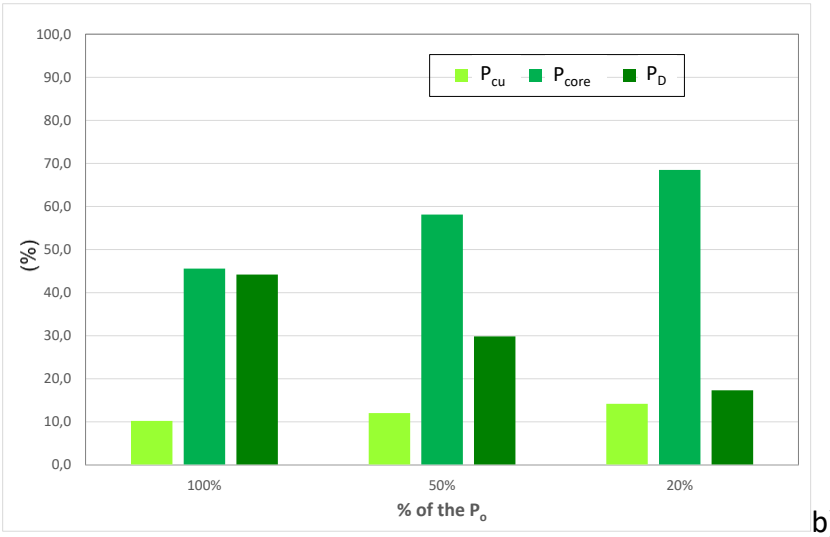
As expected, the diodes losses decrease for lighter load for all the three converter systems.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

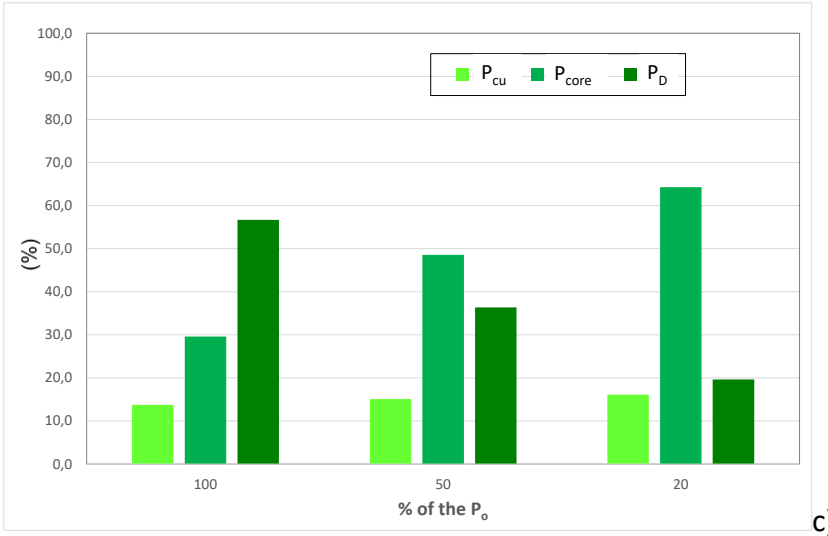
Figure 18. Power Losses at different loads: winding loss core loss, and diode rectifier loss. (a) CTU power losses (b) ATU power losses (c) F-ATU power losses.



a)



b)

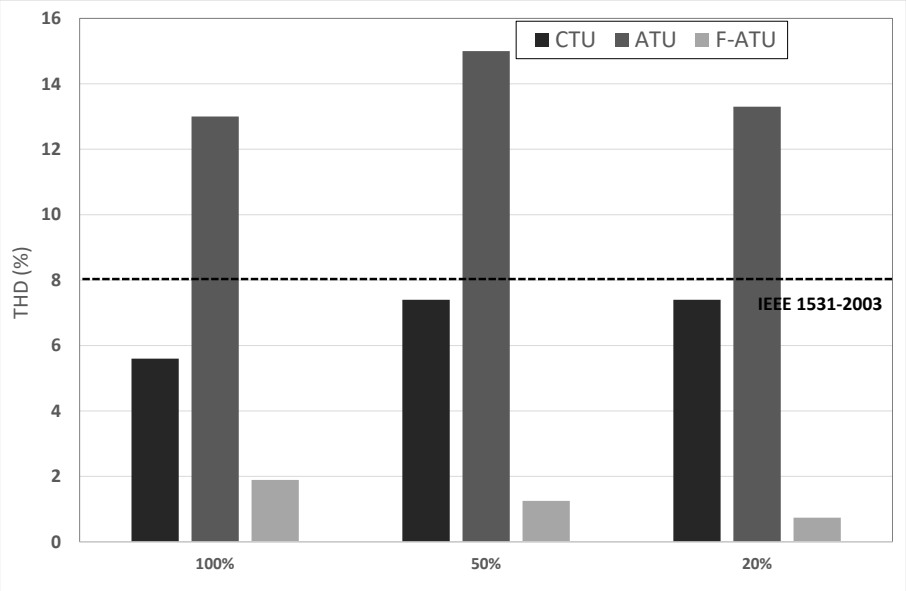


c)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Finally, in Figure 19, the comparison in terms of THD between the CTU, ATU and F-ATU are shown. As observed, the CTU allows to meet the standard requirements under the whole operating conditions, ensuring a THD lower than the threshold value of THD_{max} = 8%. The ATU, although has the advantage of lower cost and weight, shows THD values higher than the admissible ones. This problem can be completely solved by introducing the capacitive filter, which allows to operate at very low THD and to ensure better performance also in comparison with the CTU.

Figure 19. Comparison of input current THD at different loads for CTU, ATU and F-ATU configurations.



4. Conclusions

This paper describes the design and modelling of two different AC-DC twelve pulse rectifier: the CTU and the ATU. These circuits are suitable for automotive applications. The parameters considered for the comparison are the efficiency, output voltage and the THD. The comparison was performed by considering a variable load up to the nominal power varying from 100% to 20% of the P_o. Both pure resistive and inductive-resistive loads were considered. Results of the simulations, carried out by means of MATLAB program, show that the ATU allows a significant reduction of weight (more than 50% in the case study) respect to the CTU. On the other hand, the ATU is characterized by THD values higher than the threshold value defined by the standards. For this reason, a F-ATU was proposed as an alternative solution. Adding a Δ connected filter capacitors, the performance of the AC-DC converter is significantly improved and the THD values become always lower than 2%, also lower than the CTU ones (5,6 – 7,4%).

References

1. Shaik Reddi Khasim, C. Dhanamjayulu. Selection parameters and synthesis of multi-input converters for electric vehicles: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

141,110804.
2. Chakraborty, S., Vu, H.N., Hasan, M.M., Tran, D.D., El Baghdadi, M., Hegazy, O. DC-DC converter topologies for electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles and fast charging stations: state of the art and future trends. *Energies* **2019**,12. https://doi.org/10.3390/en12081569.
3. Pendolovska Brussels (Belgium)] V [DG C, Fernandez Copenhagen (Denmark)] R [EEA, Mandl N, Gugele B, Ritter Bilthoven (Netherlands)] M [ETC/ACM. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2011 and inventory report **2013**. Denmark.
4. Turksoy, A., Teke, A., Alkaya, A. A comprehensive overview of the dc-dc converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2020**, 133,110274.
5. Singh, B., et Al., Power quality improvements in isolated twelve-pulse AC-DC converters using delta/double-polygon transformer. In 2007 *IEEE Power Electronics Specialists Conference* June **2007**, 2848-2853.
6. Singh, B., et Al. Harmonic mitigation using 12-pulse AC-DC converter in vector-controlled induction motor drives. *IEEE transactions on power delivery* **2006**, 21(3), pp.1483-1492.
7. Luchetta, A., et Al. MLMVNNN for Parameter Fault Detection in PWM DC–DC Converters and Its Applications for Buck and Boost DC–DC Converters. in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* Feb. **2019**, 68, 2, 439-449. doi: 10.1109/TIM.2018.2847978.
8. Ayachit, A., et Al. Magnetising inductance of multiple-output flyback DC–DC convertor for discontinuous-conduction mode. *IET Power Electronics*, Volume 10, Issue 4, pp. 451-461, March **2017**.
9. Saini, D. K. et Al. Analysis and Design of Choke Inductors for Switched-Mode Power Inverters. in *IEEE Transactions on Industrial Electronics* March **2018**, 65(3), 2234-2244. doi: 10.1109/TIE.2017.2740847.
10. Faba, A. et Al. Robust Lightning Indirect Effect Protection in Avionic Diagnostics: Combining Inductive Blocking Devices with Metal Oxide Varistors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **2018,** 65 (8), 6457-6467.
11. Faba, A., et Al. A novel technique for online monitoring of photovoltaic devices degradation. *Solar Energy* **2017**, 158, 520-527.
12. Faba, A. et al. Overview of the mechanical, thermal vacuum and EMI/EMC tests performed for the AMS-02 UTTPS space qualification campaign. *20th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, MELECON **2020** - Proceedings, art. no. 9140595, 130-135.
13. Meng, F., et Al. Effect of phase-shift angle on a delta-connected autotransformer applied to a 12-pulse rectifi-er. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **2015**, 62(8), 4678-4690.
14. Lian, Y., et Al. A 36-pulse diode rectifier with an unconventional interphase reactor. *Energies* **2019**, 12(5), 820.
15. Meng, F., et Al. Effect of voltage transformation ratio on the kilovoltampere rating of delta-connected auto-transformer for 12-pulse rectifier system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **2012**, 60(9), 3579-3588.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

16. Choi, S., et Al. New 24-pulse diode rectifier systems for utility interface of high-power AC motor drives. *IEEE Transactions on Industry Applications* **1997**, 33(2), 531-541.
17. Choi, S., et Al. Polyphase transformer arrangements with reduced kVA capacities for harmonic current reduction in rectifier-type utility interface. *IEEE Transactions on Power Electronics* **1996**, 11(5),680-690.
18. Bellur, D.M., Kazimierczuk, M.K. DC-DC converters for electric vehicle applications, *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo* **2007**, 286–293.
19. Tao, Y.A.N.G., et Al. Generic functional modelling of multi-pulse auto-transformer rectifier units for more-electric aircraft applications. *Chinese Journal of Aeronautics* **2018**, 31(5), 883-891.
20. Uan-Zo-li, et Al. Comparison of prospective topologies for aircraft autotransformer-rectifier units. In IECON'03. *29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* **2003** November, 2, 1122-1127 (IEEE Cat. No. 03CH37468).
21. Technical bulletin for the Metglas amorphous Alloy 2605SA1,2005. (Available at: https://metglas.com (last access 30.03.2021).
22. E. Cardelli, et Al. Computer Modeling of Nickel–Iron Alloy in Power Electronics Applications. in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 3, pp. 2494-2501, March **2017**, doi: 10.1109/TIE.2016.2597129.
23. Cardelli E., et Al. Implementation of the Single Hysteron Model in a Finite-Element Scheme. in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, no. 11, pp. 1-4, Nov. **2017**, Art no. 7301304, doi: 10.1109/TMAG.2017.2698238.
24. Riganti-Fulginei, F., et Al. Two-dimensional magnetic modeling of ferromagnetic materials by using a neural net-works based hybrid approach", *Physica B: Condensed Matter* April **2016**,486, 1, 106-110.
25. Carcangiu, R., et Al. Moving vector hysteron model identification based on neural network inversion. *IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a Better Tomorrow*, RTSI **2016**.
26. D0160D Standards, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, ed: International Electro-technical Commission, **2010**.
27. Available at: https://metglas.com/pulse-power-cores/ (last access 30.03.2021).
28. Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/copper-wire-d_1429.html (last access 30.03.2021).
29. Available at: https://datasheetspdf.com/pdf/1199037/WON-TOP/10A10/1 (last access 30.03.2021).
30. IEEE Std. 1531, **2003**, November. IEEE Guide for application and specification of harmonic filters. In IEEE Power Engineering Society, Transmission & Distribution Committee.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

A new model for estimating the Solar Heat Gain Coefficient of an Aerogel glazing system

Piergiovanni Domenighini [1,*], Elisa Belloni [2] and Cinzia Buratti [2]

[1] CIRIAF, Interuniversity Research Centre On Pollution And Environment 'Mauro Felli', University of Perugia, Via G. Duranti, 67, Perugia 06123, Italy

[2] Department of Engineering, University of Perugia, Via G.Duranti, 93, Perugia 06125, Italy

* E-Mail: piergiovanni.domenighini@studenti.unipg.it

Abstract: Transparent and translucent surfaces are the weakest elements of the building envelope. They have the highest thermal conduction coefficients and the solar radiation easily comes through the glazing panes, it affecting the indoor comfort. The solar factor (or Solar Heat Gain Coefficient SHGC) is the parameter commonly used to define the exposition of a transparent (or translucent) window to the solar radiation and estimates how much energy can be carried into the indoor environment by the glazing system. Granular aerogel is a promising new technology which allows the improvement of the building envelope, thanks to its low thermal conductivity and translucent properties. It can substitute the vacuum or gas-filled chamber of glazing units and create high energy performance units. This paper proposes a new analytical model aiming at estimating the solar factor of a granular aerogel-filled glazing system. First, definitions of the material properties and the geometrical distribution hypothesis were considered. Then, the mathematical proxy was explained. The model was divided into two sections which interact each other: one calculates the heat transmission by conduction and the other one concerns the optical properties and the radiation's transmission. In order to check the model, after a test on a standard air filled window, weather data and granular aerogel-filled window's data inputs are used and the results are compared with solar factor values derived from a simplified method based on the EN 410 and ISO 9050 standards. Conclusions gather the differences between the results and explain the open opportunities for this research.

Keywords: solar factor; aerogel applications; analytical model; glazing systems.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

Energy requirements of buildings represent an important point on the "road to sustainability". They seem to increase every year, and it is not possible to stop or regulate drastically this trend at once because it affects almost our daily routine actions. The building sector in the EU accounts for about 40% of total primary energy use and about 25% of greenhouse gas emissions. The main energy consumption is for lighting, heating, and cooling. These aspects involve a specific kind of surface of the building: the transparent or translucent elements. Which allow the natural lighting of indoor environments and contribute to saving a large amount of energy for lighting, but are the weakest part of the building envelope because of the high thermal transmission of windows and their frames. The application of wide glass windows on a building produces the increase of energy demand for cooling during summer periods and heating during winter periods in the northern hemisphere. To face this problem, the producers made innovations in the last few decades, and now it is possible to apply technologies to make Low-E, reflective, or multiple-layer windows. In order to improve the heat insulation, windows chambers could be filled with different gas rather than air, create vacuum conditions or even. Use triple glazing units Nonetheless, these addictions to windows technologies have to produce heavier and more expensive products. Fortunately, new technologies have been improved in the last few years. Silica aerogel came across as one of the most promising materials to improve the building envelope when filling the glass windows chamber. Thanks to its low thermal conductivity ($\lambda<0.0024$ W/mK), in a single window chamber they are more efficient than triple chamber windows, with a great advantage on weight and thickness, due to its low density ($\rho<100$ kg/m^3). This amorphous material can be synthesized in two different ways: the granular and the monolithic forms. The first is largely diffused in the market: it makes the glazing units translucent because of the high scattering of the granules; the monolithic synthesis produce transparent surfaces, with high thermal performance.

Although heat difference is the cause of heat fluxes through the glass surfaces, the sun is the main cause of energy gain across the windows. In order too evaluate the energy gain due to the sun exposition of a transparent or translucent surface, EN674 [1] introduced the Solar Heat Gain Coefficient (SHGC). It is a coefficient that allows calculating the energy contribution by the sun by its incident energy on the windows surface.

SHGC values are known for common windows, but for innovative technologies such as granular aerogel filled windows a reliable method of calculation is still not available, especially when materials are characterized by a high scattering. Experimental methods are supported by the technical standards. For a reliable measure, it is required a laboratory real scale solar chamber for the solar façade test certified according to ISO9001:2000 [2], but only a few laboratories are equipped with the required devices. In the literature several studies proposed different attempts to estimate the value of this coefficient [3-6]. This paper presents an analytical model to evaluate and calculate the SGHC of an aerogel glazing system, starting from weather data and the window components' known properties.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2. The analytical model

The aerogel glazing system (AGS) on which this paper is focused on is made of a double glazing unit with its cavity filled with granular silica aerogel. The total thickness of the AGS is 28 mm, whereas the glasses are both 8 mm and the aerogel is 12 mm (Figure 1). The total heat transfer through aerogel involves the direct and diffusive transmitted radiation, conduction through the different layers, convection and radiation between inner or outer glass and surroundings.

2.1 Previous hypothesis

A complete analytical model of the material is quite impossible to develop because of its complexity and number of unknown parameters. For this reasons, the following hypotheses were adopted:

1. a one-dimensional flow and adiabatic edges for the glass. Gravity and consequently the weight of the granules contributes to more compression in the bottom compared to the top, but it does not affect too much the density of the granules. Furthermore, the vertical heat transfer is insignificant [3];
2. constant thermal properties: heat capacity and extinction coefficient are considered constant in time, in order to avoid uncontrollable behaviors;
3. isotropic layers: it is the common way used to consider aerogel by the scientific community although it is nano porous, random structured. It also allows to led our analysis with a standard modelling process;
4. a uniform distribution of absorbed solar radiation: this is due to the relatively small dimensions and geographical location of our prototype;
5. the transmitted radiation through the aerogel layer is diffuse due to the scattering phenomena happening in the aerogel layer;
6. the whole scattering phenomena happens when the radiation is transmitted through the interface between the aerogel and the inner glass;
7. the diffuse radiation is assumed to be uniform towards all directions;
8. a collecting plate is considered, which can absorb all the solar radiation transmitted through the aerogel glazing system;
9. the radiation transmitted through the aerogel layer obeys Beer–Lambert law;
10. the extinction coefficient of aerogel is approximately constant for the main wavelength range of solar irradiance, in the 0.28/2.5 μm range;
11. it is assumed that the extinction coefficient of the aerogel is not varied with temperature;
12. the interfaces do not store energy;
13. aerogel is divided into 3 layers in order to improve the accuracy of the calculation of the absorption coefficient.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2.2 The mathematical approach

The analytical model is actually a system of two models which simulate the coupling of the heat transfer and of the optical transfer. The output is a double-model that can be solved by Matlab-Simulink computing.

2.2.1. The conduction model

The window is divided in 5 nodes, 3 of which concern the aerogel section. The nodes represent the temperature in each layer. By applying the energy equation for each node, it is possible to obtain:

1. $$\rho_1 c_{p1} \delta_1 \frac{dT_1}{dt} = h_{ce}(T_e - T_1) + h_{re}(T_e - T_1) + k_1(T_2 - T_1) + q_{\alpha 1} \quad (1)$$

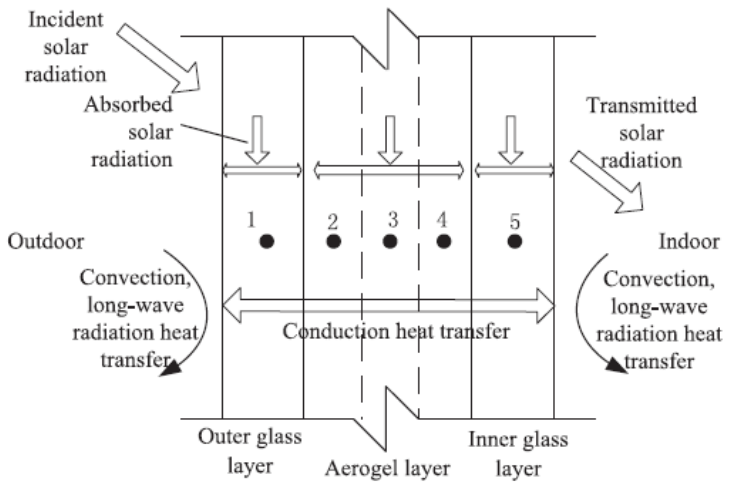
2. $$\rho_2 c_{p2} \frac{\delta_2}{3} \frac{dT_2}{dt} = k_1(T_1 - T_2) + k_2(T_3 - T_2) + \frac{1}{3} q_{\alpha 2} \quad (2)$$

3. $$\rho_2 c_{p2} \frac{\delta_2}{3} \frac{dT_3}{dt} = k_2(T_2 - T_3) + k_2(T_4 - T_3) + \frac{1}{3} q_{\alpha 2} \quad (3)$$

4. $$\rho_2 c_{p2} \frac{\delta_2}{3} \frac{dT_4}{dt} = k_2(T_3 - T_4) + k_1(T_5 - T_4) + \frac{1}{3} q_{\alpha 2} \quad (4)$$

5. $$\rho_1 c_{p1} \delta_1 \frac{dT_5}{dt} = h_{ci}(T_i - T_5) + h_{ri}(T_i - T_5) + k_1(T_4 - T_5) + q_{\alpha 3} \quad (5)$$

Figure 1. Schematic section of the Aerogel Granular System with the nodes and the energy interactions.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The total transferred heat can be calculated as:

$$q = h_{ci}(T_5 - T_i) + h_{ri}(T_5 - T_i) + \tau I \quad (6)$$

Where τ is the overall transmittance of the aerogel glazing system and I is the incident solar radiation. The equations 2-6 can be rewritten in their matrix form as:

$$C_{apa}\dot{T(t)} = A_0 T(t) + B_0 U(t) \quad (7)$$

where:

$$C_{apa}=\begin{bmatrix} \rho_1 c_{p1}\delta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\rho_2 c_{p2}\delta_2}{3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\rho_2 c_{p2}\delta_2}{3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\rho_2 c_{p2}\delta_2}{3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_1 c_{p1}\delta_1 \end{bmatrix}; \quad A_0=\begin{bmatrix} -k_1 - h_{ce} - h_{re} & k_1 & 0 & 0 & 0 \\ k_1 & -k_1 - k_2 & k_2 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & -2k_2 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_2 & -k_1 - k_2 & k_1 \\ 0 & 0 & 0 & k_1 & -k_1 - h_{ci} - h_{ri} \end{bmatrix}$$

$$B_0=\begin{bmatrix} h_{ce} + h_{re} & \alpha_{D1} & \alpha_{d1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3}\alpha_{D2} & \frac{1}{3}\alpha_{d2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3}\alpha_{D2} & \frac{1}{3}\alpha_{d2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3}\alpha_{D2} & \frac{1}{3}\alpha_{d2} & 0 \\ & \alpha_{D3} & \alpha_{d3} & h_{ci} + h_{ri} \end{bmatrix}; \quad U=\begin{bmatrix} T_e \\ I_D \\ I_d \\ T_i \end{bmatrix}$$

α_D and α_d represent the direct and diffuse absorption of each layer, whereas I_D and I_d are the direct and the diffuse solar radiation.

At this point, with T as a column matrix representing the temperature of nodes, it is possible to define the state space model [4]:

$$\begin{cases} \dot{T}(t) = AT(t) + BU(t) \\ Q(t) = CT(t) + DU(t) \end{cases} \quad (8)$$

Porous materials are more complex than other materials because of the presence of fluid (gas or liquid) inside the porous. For this reason, there are three modes of heat transfer through them: convection, conduction, and radiation. Convection is the macroscopic movement of the fluid, which leads to a relative displacement and mixes the cold part and hot part of the fluid to produce the heat transfer in the fluid. For porous media, it was reported that when the pore diameter is lower than several millimeters [3] [5], heat transfer by convection could be neglected. Although the macropore diameters of granular aerogel can reach 1-2mm [6], several studies Indicate that the convection heat transfer is negligible [7] [8]. The conduction heat transfer mode could be subdivided into the gas-solid coupled heat conductivities and radiative thermal conductivity.

$$\lambda_e = \lambda_r + \lambda_c \quad (9)$$

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Aerogel is a nanostructured solid network obtained by the aggregation of nanoscale particles. Due to its complex nanoscale porous structure, heat conduction paths through the solid skeleton turn to be lengthened. Meanwhile, the characteristic length of solid skeleton is at nanoscale, close or less than the phonon mean-free-path, so the solid heat conduction through the skeleton will also exhibit an obvious size effect. These two kinds of effects lead to the reduction of solid heat transfer of aerogel material simultaneously. The solid skeleton thermal conductivity under the longitudinal heat flux and the transverse heat flux can be derived. The expressions of the thermal conductivities of the two cases are as follows [5].

$Longitudial$

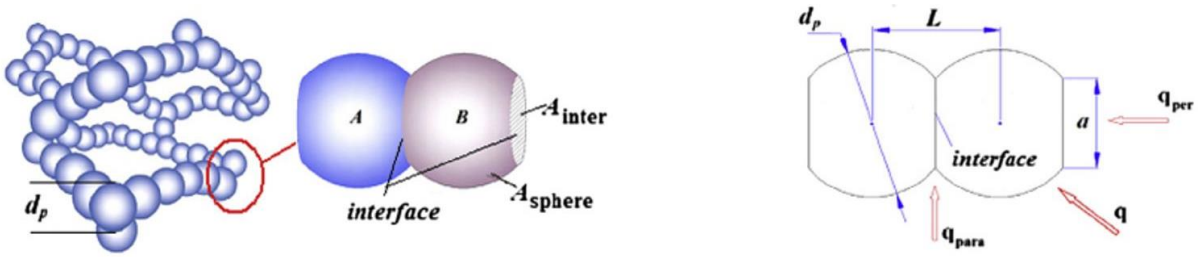
$$\lambda_{s,L} = \frac{\lambda_b}{1 + \frac{\Lambda_{bulk}}{a} + \frac{\Lambda_{bulk}}{3LT_d}} \quad (10)$$

$Trasversal$

$$\lambda_{s,T} = \frac{\lambda_b}{1 + \frac{\Lambda_{bulk}}{d}} \quad (11)$$

λ_b is the thermal conductivity of bulk solid material and Λ_{bulk} is the mean free path calculated according to the thermal conductivity of bulk material.

Figure 2. Aerogel's nano-structured chains and molecular interface.



The convection is calculated according to UNI EN ISO 6946 as:

$$h_{c,e} = 4 + 4V \quad (12)$$

$$h_{c,i} = 5.34 + 3.27V_i \quad (13)$$

where V is the wind speed close to the wall and V_i is the indoor air velocity.

Buildings external elements (walls and roofs) are continuously exposed to the atmosphere. Therefore, the radiative heat flux (q_{rad}) is significant and it can be described by the equation:

$$q_{rad} = A\varepsilon\sigma\left(T_{sky}^4 - T_1^4\right) = Ah_{re}(T_e - T_1) \quad (14)$$

$$h_{re} = \frac{\varepsilon\sigma(T_{sky}^4 - T_1^4)}{(T_e - T_1)} \quad (15)$$

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The Standard UNI EN ISO 6946 recommends the following simplified formula to calculate h_{re}:

$$h_{re} = 4\varepsilon\sigma T_m^3 \quad (16)$$

where T_m is the average radiative temperature of the surface and the surrounding surfaces. At external surfaces, the Standard suggests to use the external air temperature, based on an assumption of overcast sky conditions, so that external air and radiant temperatures are effectively equal.

Aiming at simplifying the calculation procedure, the Standard suggests the internal and external surface resistance values as a function of the heat flow directions. For a horizontal heat flux, the external surface resistance is equal to 0.04 m^2K/W, which corresponds to a total heat transfer coefficient (h_{tot}) approximately equal to 25 W/m^2K. This value is calculated by considering an emissivity value equal to 0.9 and a wind velocity constant value equal to 4.0 m/s [9].

2.2.2. The optical model

The transmittance τ of the aerogel can be calculated as:

$$\tau_{k\to k+1} = e^{-KL} \quad (17)$$

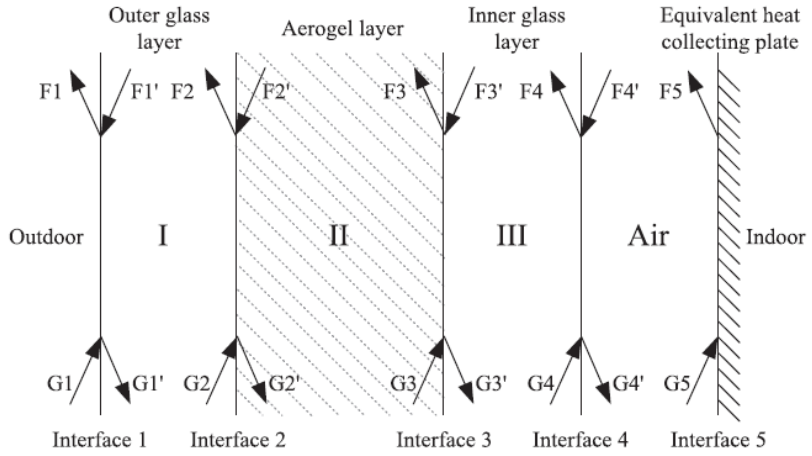
where L is the optical path ($\delta/\cos\theta$) and K is the extinction coefficient. The reflectivity of each interface can be calculated by Fresnel's Formula as presented in the following:

$$\rho_k = \frac{1}{2}\left[\frac{sin^2(\theta_2-\theta_1)}{sin^2(\theta_2+\theta_1)} + \frac{tan^2(\theta_2-\theta_1)}{tan^2(\theta_2+\theta_1)}\right] \quad \text{if } \theta_1 \geq 30 \quad (18)$$

$$\rho_k = \left(\frac{n_1-n_2}{n_1+n_2}\right)^2 \quad \text{if } \theta_1 < 30 \quad (19)$$

where θ_1 is the incident angle; θ_2 is the refractive angle, calculated by $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$.

Figure 3. Optical Model and layer of the AGS.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The incident angle of the solar radiation throughout the day and the year is calculated by an ad hoc algorithm calculating the earth-solar angle. The incident angle is the angle between the solar radiation and the normal direction to the vertical glass surface heading south and it is given by the simple relation:

$$cos\theta = cos\beta cos\emptyset \tag{20}$$

The equivalent transmittance of each layer can be calculated according to the recurrence formula:

$$\varphi_k = \frac{1-\rho_k}{1-\rho_k\beta'_k} \tag{21}$$

$$\beta_k = 1-\varphi_k(1-\beta'_k) \tag{22}$$

$$\beta'_k = \beta_{k+1}\tau^2_{k\to k+1} \tag{23}$$

where $\varphi_k$is the front equivalent transmittance of Interface K, β_k is the front equivalent reflectance of Interface K and β'_k is the reciprocal of the back equivalent reflectance of Interface K:

$$\varphi_k = \frac{G'_k}{G_k} \quad \beta_k = \frac{F_k}{G_k} \quad \beta'_k = \frac{F'_k}{G'_k} \tag{24}$$

The radiation through aerogel is transformed into diffuse radiation, so the radiation transmitted through the third glass is all diffuse and its optical path is hardly determinable. An integral method is introduced to calculate the transmittance of the third glass:

$$\tau'_{3\to4} = \frac{\int_0^{\pi/2}\tau_{3\to4}(\theta)I_3 d\theta}{2\int_0^{\pi/2} I_3 d\theta} = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi/2}\tau_{3\to4}(\theta)d\theta \tag{25}$$

The total transmittance of direct irradiation can be calculated as:

$$\tau_{dir}(\theta) = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\varphi_4\tau_{1\to2}\tau_{2\to3}\tau'_{3\to4} \tag{26}$$

The total absorption of direct irradiation is given by:

$$\alpha_{k\to k+1} = [1-\tau_{k\to k+1}+\beta'_k\frac{1-\tau_{k\to k+1}}{\tau_{k\to k+1}}]\varphi_k\prod_{i=1}^{k-1}\varphi_i\tau_{i\to i+1} \tag{27}$$

In order to evaluate the diffusive characteristics of the AGS, the integration of the transmission over all directions is divided by the integration of the irradiance over all directions:

$$X = \frac{2\int_0^{\pi/2}X_{dir}(\theta)I_s d\theta}{2\int_0^{\pi/2} I_s d\theta} = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi/2}X_{dir}(\theta)d\theta \tag{28}$$

where X is the transmittance or absorptance of diffuse irradiation [10].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2.3 Solar Heat Gain Coefficient

The total heat transfer through AGS is due to the sum of the transmitted radiation, the conductive heat transfer (caused by the difference of temperature) and the radiation absorbed by AGS, which causes an additional increase of its temperature, and consequently a flow toward the internal environment. Actually, as the temperature of the layers rises, it goes above the temperature of both the inside and outside environments and the heat flux can go in both the directions too; therefore, only a part of the flow moves toward indoors:

$$q_t = U(T_e - T_i) + N_i(q_\alpha) + \tau I \tag{29}$$

where U is the transmittance of the AGS, and N_i represents the portion of the absorbed radiation which moves inwards.

The solar heat gain can be written as:

$$SHGC = \frac{N_i(q_\alpha) + \tau I}{I} \tag{30}$$

In order to highligh the diffusive behaviors of the AGS, the integration of the transmission over all directions is divided by the integration of the irradiance over all directions:

$$SHGC = \frac{q_t - U(T_e - T_i)}{I} \tag{31}$$

Eq. (34) can be solved with the previously explained model. q_t can be calculated if the inside and outside temperatures are known data as well as the direct and diffusive radiations, the second part of the equation require to know the thermal transmittance and the temperatures.

The solar factor output of the model was compared with another value from literature [11] calculated on the same granular aerogel-filled window sample.

Another comparison was carried out in order to validate the model with a less complex simulation: it was considered a double glazing air filled window of the same dimensions of the aerogel glazing unit, but with a 15 mm air chamber, and with a known value of the SHGC from the technical sheet of the producer. Apart from the aerogel layers, the model shown in section 2.1 and 2.2 is unchanged. The heat and light transmission of the air in the chamber are considered with a thermal resistance $R = 0.18$ and overall optical transmission $\tau = 0.681$, with small changes depending on the incidence angle.

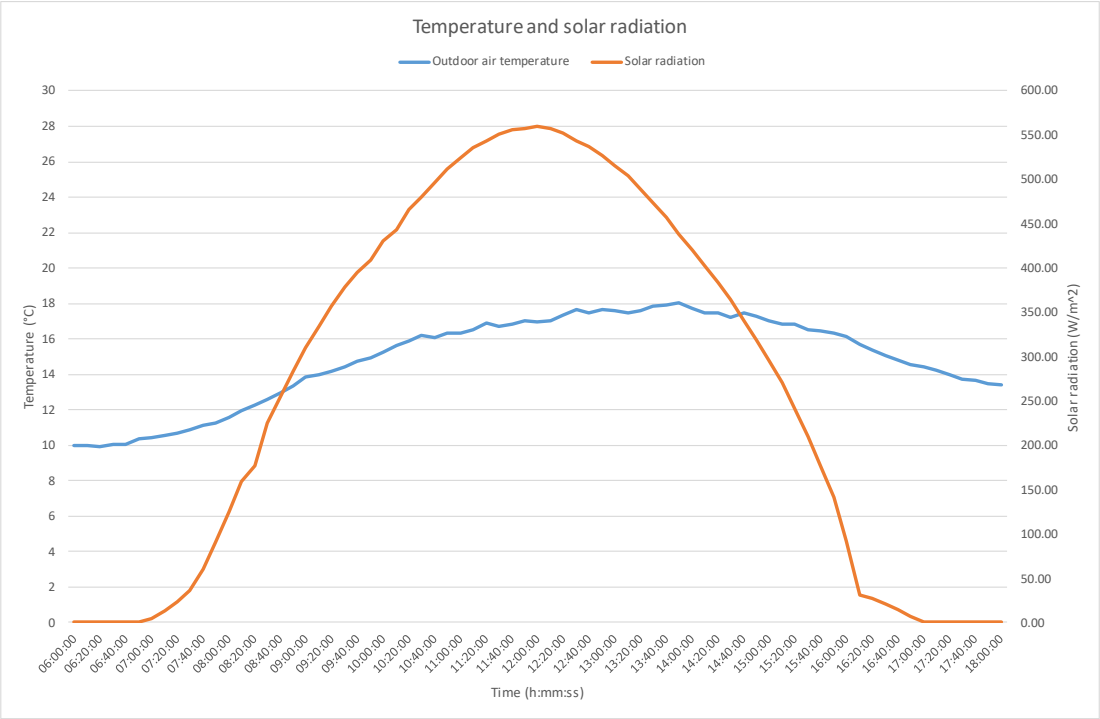
3. Input and results

The simulation is carried out with the recorded temperature and solar radiation of winter-like time in Perugia as inputs for the model. The winter conditions are chosen to simplify the calculation by limiting the number of changes of the heat flux direction and state that indoor temperature is ever higher than outdoor. The single value and trends of the mandatory data are represented in figure 4. In order to establish the reliability of the model, a first simulation is made with a standard double glazing system. The comparison between the output model data and the solar factor provided by the

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

manufacturer is shown in figure 5. In order to gain an overall value for the Solar Heat Gain Coefficient, a mobile average of the trend is calculated and the considered value is last of the sequence at the simulation time before the sunset; in this way the value should be significant for the analysis and consistent with the solar path through the day.

Figure 4. Solar Radiation and Temperature trends of the simulated day.



As it is possible to observe, the output data of the model match with the technical sheet value and they overlap each other. It is interesting to observe that the model seems to need a time interval to become effective and it is easy to see the relationship with the radiation trend from figure 4. The model output becomes stable only when the radiation stops to raise.

With the successful test of the model in the easier situation of a standard glazing system, it is now possible to make and compare the simulation in the case of aerogel-filled glazing system.

Figure 6 shows the result of the calculation. As in the previous simulation, it is calculated a mobile average of the trend and the considered value is last of the sequence at the simulation time before the sunset. The SHGC trend of the granular aerogel window behaves like the air-filled double glass window and it becomes stable only after the raising stop of the solar radiation. This common behavior may be considered as a first small confirmation of the model's functionality. It is also interesting to observe that the mismatch between the stablished trend of the model and the model based on the ISO 9050 is actually very small (0.36 vs 0.35). Unfortunately, the limit of this analysis is the impossibility to assure what is the real value of the SHGC for this aerogel window and this makes useless any other kind of comparison. In fact, the next step to check the reliability of the model will be the comparison of its outputs with the results of experimental methods.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 5. SHGC calculated trends and comparison between the mobile avarage value and the value raised from technical sheet of a standard double glazing system.

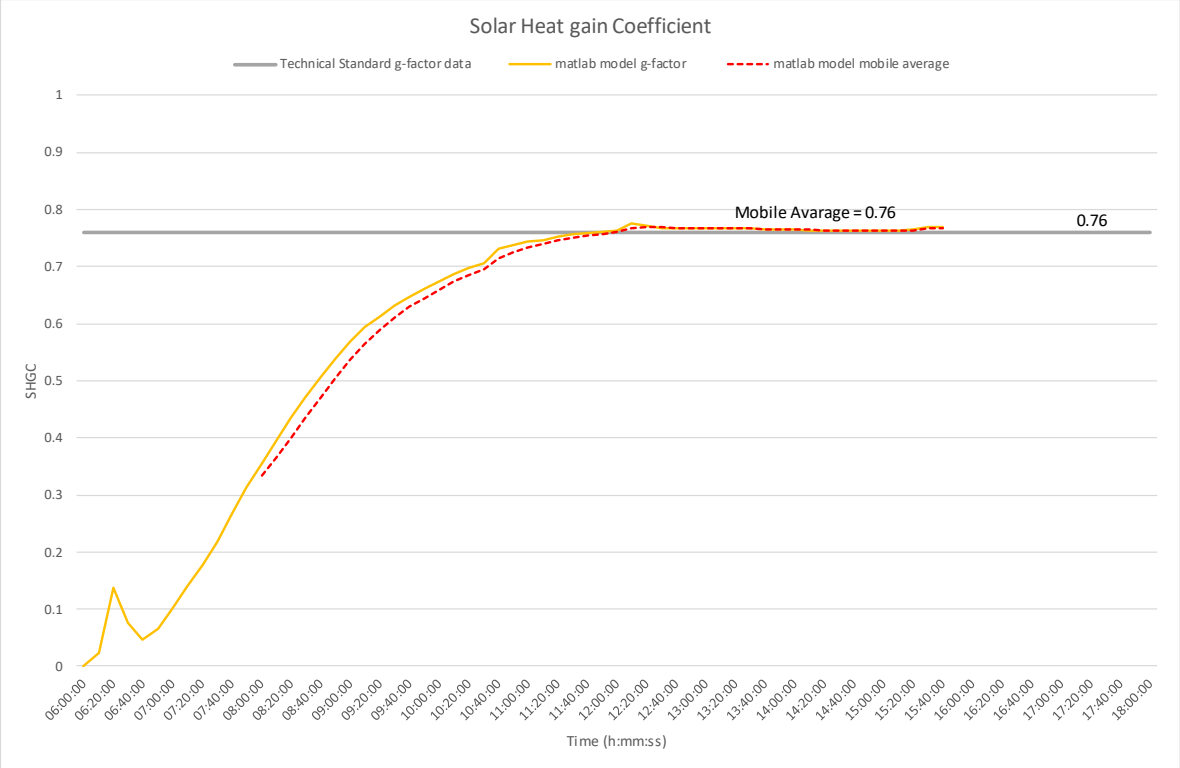
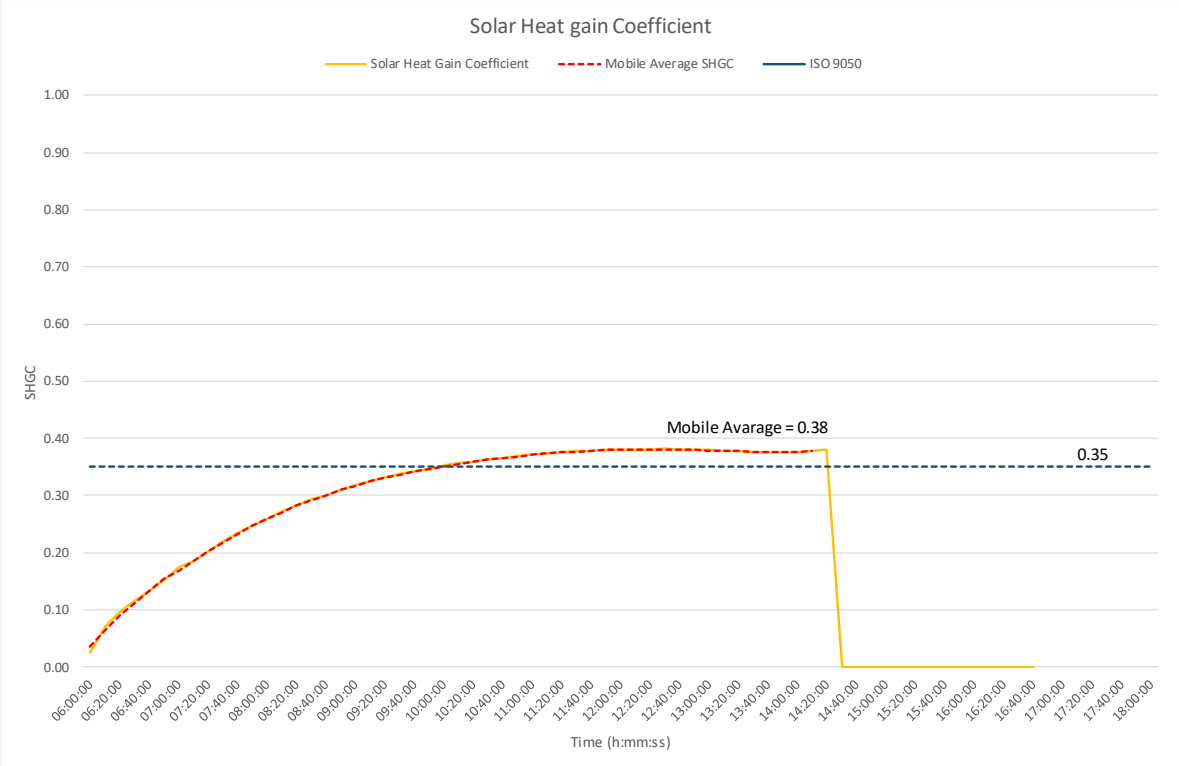


Figure 6. SHGC calculated trends and comparison between the mobile avarage value and the value raised from bibliography of a granular-aerogel-filled window.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Conclusions

Solar Heat Gain Coefficient is one of the most important parameter that allows the characterization of a window; in particular, it represents the quantity of incident solar radiation entered through a window, both directly transmitted and absorbed and subsequently released inward. The evaluation of this parameter is important also when considering the prescription of recent standards and laws for the buildings envelope. This paper proposes an interesting model for the evaluation of SHGC, applied to an innovative glazing solution that presents aerogel in interspace. It was defined in Matlab-Simulink computing language. After a successful simulation test on a standard window with known solar factor, the comparison with a standard method was carried out and a good agreement was observed (0.38 vs. 0.35 was obtained). The next step will be to check the reliability of the solar factor results by comparing them to the results of experimental methods.

References

1. EN674:2011. Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Guarded hot plate method. **2011.**
2. ISO/TC 176/SC 2. ISO 9001:2000 Quality management systems — Requirements. **2000.**
3. Neugebauer, A.; Chenb, K. ; Tang, A. ; Allgeier, A. ; Glicksman, L. ; Gibson, L. Thermal conductivity and characterization of compacted, granular silica aerogel. *Energy & Buildings* **2014**, 79, 47–57.
4. Chen, Y. ; Xiao, Y. ; Zheng, S. ; Liu, Y.; Li, Y. Dynamic heat transfer model and applicability evaluation of aerogel glazing system in various climates of China. *Energy* **2018**,163 , 1115-1124.
5. Neugebauer, A.; Chen, K.; Tang, A.; Allgeier, A.; Glicksman, L.; Gibson, L. Thermal conductivity and characterization of compacted, granular silica aerogel. *Energy & Buildings* **2014**, 79, 47–57.
6. He, Y.L.; Xie, T. Advances of thermal conductivity models of nanoscale silica aerogel insulation material. *Applied Thermal Engineering* **2015**, 81 , 28-50.
7. Moretti, E.; Zinzi, M.; Merli, F.; Buratti, C. Optical, thermal, and energy performance of advanced polycarbonate systems with granular aerogel. *Energy & Buildings* **2018**, 166, 407–417.
8. Ihara, T., Grynning, S.; Gao, T.; Gustavsen, A.; Jelle, B.; Impact of convection on thermal performance of aerogel granulate glazing systems, *Energy and Buildings* **2015**, 88, 165–173.
9. Evangelistia, L.; Guattari, C.; Gorib, P.; Bianchi, F.; Heat transfer study of external convective an radiative coefficientsfor building applications. *Energy and Buildings* **2017**, 151, 429–438.
10. Liu, Y.; Chen, Y.; Zheng, S.; Li, Y.; Lu, B.; Lu, M.; Zhang, D.; A model and method to determine sola extinction coefficient of aerogel granules layer through experiment under real climatic condition, *Energy & Buildings* **2019**, 190, 144-154.
11. Moretti, E.; Belloni, E.; Merli, F.; Zinzi, M.; Buratti, C. Laboratory and pilot scale characterization of granular aerogel glazing systems. *Energy & Buildings* **2019**, 202, 1-15.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

A CFD model for a real scale ventilated brick wall: validation and dynamic simulations of the energy performance

Costanza Vittoria Fiorini [1,*], Francesca Merli [2], Domenico Palladino [3], Cinzia Buratti [2]

[1] CIRIAF, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 63, Perugia 06125

[2] Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 93, Perugia 06125

[3] Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development of Engineering (ENEA), Via Anguillarese, 301, S.M. di Galeria, 00123 Rome, Italy

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: fiorini@crbnet.it

Abstract: The building sector is in charge of a significant percentage of energy consumptions and emissions. In an environmental impact reduction perspective, international objective is to act on the envelope increasing its thermal inertia. Ventilated façades represent a promising solution reducing thermal fluxes across the wall and the overheating effect due to solar radiation. This paper aims to highlight how the estimation of the thermal transmittance of a ventilated wall in compliance with UNI 6946 prevents the effective evaluation of its performance. The thermal behaviour at real scale of a ventilated brick wall made in Central Italy is investigated, as an innovative solution able to preserve the constructive tradition. According to these results, a ventilated façade 8.5 m height equipped with a system able to monitor air and surface temperatures, air velocity, and heat flux continuously was built in a new gym. The wall height influence on the temperatures within the ventilation gap, their phase displacement, and air velocity fields were investigated. In winter partially-ventilation cavity temperatures are higher than the external peaks of about 3°C, allowing heat losses reduction during heating hours. During summer, peak values inside the cavity exceed the outside air of about 3°C, while the difference between external and internal temperature peaks reaches 10°C. The heat flux range is 5-15 W/m^2. Experimental results at real scale enabled to implement and validate a 2D CFD model in FLUENT, chosen since its advantage of allowing a better discretization of the domain with a reduced size mesh, hence minimizing the simulation error. The simulated trends are consistent with the measured data and show that velocity at the inlet remarkably increases the phase shift: for v = 0.39 the phase shift reaches 3h. The trasmittance both obtained from the CFD model and calculated according to the legislation was used for simulations with E+ Software; through comparison limits of the legislation in estimating the energy consumption of buildings employing ventilated walls were highlighted.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Keywords: ventilated wall; CFD; real scale prototype; experimental performance; ventilation openings configuration; dynamic simulations; thermal and motion fields; thermal transmittance; adduction coefficient; energy saving.

1. Introduction

GHG emissions reduction and energy saving are two of the main targets of international policy to tackle climate change and to improve the security of energy supply as well as resource efficiency. In this context, reducing building environmental impacts and improving energy efficiency throughout its life cycle is one of the key components of the undertaken strategies. In Europe the building sector is in charge of 40% of the energy consumption and the contribution of Italy amounts to 40% [1,2]. Buildings contribute in a different way to the total energy consumptions and emissions, but a significant discrimination is given by their period of construction: the greatest responsibility lies with those built before adopting a common energy saving policy (about 75%) [3].

The most common way to improve the performance of buildings and encourage the recovery of existing ones is to act on the envelope. “Thermal coat” [4-6] shows an excellent behaviour during the heating period, whereas during the cooling season it contributes to the thermal loads increase and, if not properly designed, can cause wall transpiration problems, deterioration of the materials and reduction of its operating life [7].

Ventilated façades are an alternative solution to the “thermal coat”, able to increase the winter thermal resistance and to provide a reduction of the summer heat load, due to the combined effect of the shading of the outside wall and of the air flow into the ventilation gap caused by natural convection. Their efficient design reduces thermal fluxes across the wall, as well as the overheating effect due to solar radiation [8]. The heat transfer inside the ventilated cavity is due to the radiative heat exchange between the two walls of the channel, the convection heat exchange between cavity surfaces and the circulating air flow and the conduction through the walls.

The effect of emissivity was analysed in a double-wall façade with a closed cavity [9], pointing out that low values drastically reduce the heat transfer coefficient by radiation, and consequently, the cooling load diminished by 24%. In cases of natural ventilation, the air mass flow rate into the ventilated duct depends on the duct geometry, the heat flux, the fluid dynamic heat losses and the external atmospheric conditions, including a remarkable influence operated by the wind velocity and direction, both for windward and leeward side [10]. Authors highlighted that the ventilated configuration under windy conditions allow to obtain an energy saving of about 20% for an East/West facing during the winter, against a 40–50% saving, depending the façade orientation, during the cooling period [11]. Furthermore, intensive experimental campaigns on non-traditional ventilated wall, reported that while wind pressure strongly influences the airflow rate in lower walls, it does not affect the performance of higher walls [12]. In the aim to improve the thermal performance of ventilated façades, major relevance has to be attributed to solar radiation: it affects the thermal field, in addition to direct action on the external surface, resulting in the motion field in the cavity. [13] highlighted the strong influence

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

of solar radiation on air flow magnitude of an open-jointed cladding exposed to severe direct solar irradiance during the summer. Through simulations carried out in summer period [11] showed that under calm wind scenario, only the buoyancy effects generate the air stream and it is directly affected by the incident solar radiation on the façade; the maximum value of velocity is reached in phase with the highest solar radiation.

The performance of ventilated envelopes during the whole year are mainly devoted to envelope equipped with "active" systems for airflow control and/or energy recovery [14, 15], like Ventilated Active Thermoelectric Envelope (VATE) module [16]. [17] evaluated the integration of a semi-transparent PV system with natural ventilation (BISTPV/T), providing that the air flow that in summer cools the PV module, during the heating period is driven in the indoor environment as pre-heated air. Outputs of the model were used for calculating heating and cooling needs of a building integrating the system, by means of TRNSYS, achieving a double both thermal and electrical energy gain.

For non-equipped walls, the influence of the outer skin in terms of climate-responsive materials [18,19] as well as the distribution and dimensions of the openings [20] is a remarkably important design issue. The optimization of bio-based or recycled materials from construction and demolition waste for the fabrication of ventilated façades adds enviro-economic benefits to thermal ones [21, 22].

CFD simulation codes are widely used to implement and to develop both traditional and innovative ventilated walls [23, 10]. Diarce et al. [24] used Fluent CFD code in order to predict the thermal behaviour of a ventilated wall with PCM materials. Based on experimental data obtained from a real-scale test facility, a 2D model in transient conditions was validated, testing three different turbulent models (RNG k–ε, standard k–ω, and SST k–ω) and two radiation models (S2S and DO). Under complete turbulent model, CFD results were in very good agreement with the experimental data. A 2D CFD model in steady state was used by Santa Cruiz and Porras [25] in order to study a ventilated façade with double chamber, showing an increasing in efficiency by 38% and 333% in summer and winter respectively, when compared to a standard ventilated façade system with closed joints. By means of an experimental validated model, Liu et al. [26] determined an energy saving of about 90% both in summer and winter for a façade ventilated by exhaust air.

In all the aforementioned papers, experimental and numerical analyses are related to openings for the ventilation as wide as the wall, with all the width completely opened.

A weakness of the theory of ventilated walls lies in the excessive simplification of the thermal transmittance evaluation procedure suggested by UNI EN 6946 [27]. As well known under the steady-state condition the thermal resistance of an unventilated façade (UF) is calculated by Eq.(1):

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^{n} \frac{s_j}{k_j} + \frac{1}{h_e} \left[\frac{K \cdot m^2}{W} \right]$$

where

s_j and k_j are the thickness and thermal conductivity of the j_{th} layer of the façade,

n is the number of layer,

hi and he are the indoor and outdoor heat transfer coefficients conventionally assumed to be 7.7 and 25.0 W/m^{2}K.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

As regards the ventilated walls, the standard [27] distinguishes them in very weakly ventilated, weakly ventilated and strongly ventilated, using the ratio between the surface of the openings (s) and that of the length of the façade (L). A well-ventilated air layer is one for which the openings between the air layer and the external environment are equal to or exceed 1500 mm^2 per metre of length (in the horizontal direction) for vertical air layers. The total thermal resistance of a building component containing a well-ventilated air layer shall be obtained by Eq.(1) disregarding the thermal resistance of the air layer and all other layers between the air layer and external environment, and including an external surface resistance corresponding to still air (7.7 W/m^2K). Thus, comparing an unventilated façade and a very strong ventilated facade with the same stratigraphy, the thermal resistance R of the two facades differs of about 0.05 m^2K/W.

The present work aims at extending at real scale the study on a ventilated brick wall developed in collaboration with an Umbrian brick producer (F.B.M.), as a solution able to preserve the constructive tradition of the Central Italy, thanks to the use of local materials. A preliminary scaled prototype was built at the laboratory of the Department of Engineering at University of Perugia in 2014 and experimental data, collected during the investigation of its thermal behaviour in controlled conditions, were used for the validation of the mathematical equations to be solved in the CFD model. As reported in a previous paper [20], a 3D CFD model was developed in order to design and optimize the openings' size and to evaluate the opening area per unit width of the wall. According to these results, a prototype of the ventilated façade 8.5 m height was built in a new building, placing openings, 250x25 mm^2/m of horizontal length, at the bottom and at the top of the wall. It is equipped with a system able to monitor air and surface temperatures, air velocity, and heat flux continuously in several winter and summer periods. The possibility of opening and closing the ventilation holes gave the possibility to compare non-ventilated, partially ventilated, and ventilated configurations. Experimental results at real scale enable to implement and validate a 2D CFD model in FLUENT that will allow to predict the behaviour of the wall in different periods of the year and climate conditions. Since the façade concerned is a strongly ventilated wall (according to the classification of UNI EN 6946), the validated model was used to identify the values of the adduction coefficients on the outermost layer that the standard takes into consideration for the evaluation of transmittance as the speed of the incoming air increases. The transmittance obtained from the CFD simulations for this model was compared with that of further simulations in which, the stratigraphy of the initial geometric model was modified by reducing the amount of insulating boards. The comparison between the demand for heating derived from dynamic simulations using the Energy Plus software by introducing the thermal transmittances obtained from the validated CFD or UNI for different stratigraphies, allowed to establish the real benefit of the ventilation and the accuracy of the calculation procedure provided by the standard.

In future works, thanks to the validated models, results related to conventional and innovative brick ventilated wall will be compared in terms of energy demand both in different cities and climate conditions.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2. Materials and methods

2.1. Real scale prototype

In agreement with results obtained with the 3D CFD model validated at laboratory scale, a real prototype of the ventilated façade was built at the end of 2015 as a perimeter wall of a new gym in Central Italy (Foligno).

The building encloses a single space of 450 m^2. The roof is made with a load-bearing structure in laminated wood beams on which the slab in sandwich panels with mineral wool and aluminum sheet covering rests, separated from each other by an air gap of 100 mm. The supporting structure in elevation is made of a continuous perimeter wall in reinforced concrete insulated inside and outside with EPS panels, along which open four large glass surfaces of about 17 m^2 each, two on the North oriented facade and two on the South Oriented, and one of about 8 m^2 (entrance) on the eastern façade.

All the perimeter walls of the building are ventilated; the ventilation cavity is made of an anchoring system with uprights and transoms of the facing bricks as load-bearing structure. In addition, the steel substructure acts as a connection between the septum and the external masonry face, allowing to improve overall resistance against horizontal actions due to wind and earthquake. The 90 mm cavity thickness corresponds to the height of the "C" profile of the uprights, placed at a distance of 1 m. The counter wall was built with clay bricks (length = 250 mm, thickness = 120 mm, height = 55 mm) produced by the company FBM - Fornaci Briziarelli Marsciano, linked together with continuous horizontal and vertical joints of cement mortar. Openings, 250x25 mm^2/m of horizontal length at the bottom and at the top of the wall were made by replacing standard bricks with similar bricks of reduced height (length = 250 mm, thickness = 120 cm, height = 25 mm), in order to simplify the management of the module and to remove less bricks as possible (Buratti et al., 2018).
The gym and the construction features of the ventilated wall are shown in Figure 1.

Figure 1. Real scale prototype.

Dimensions and physical characteristics of the layers that make up the façade from inside to outside are summarized in Table 1.

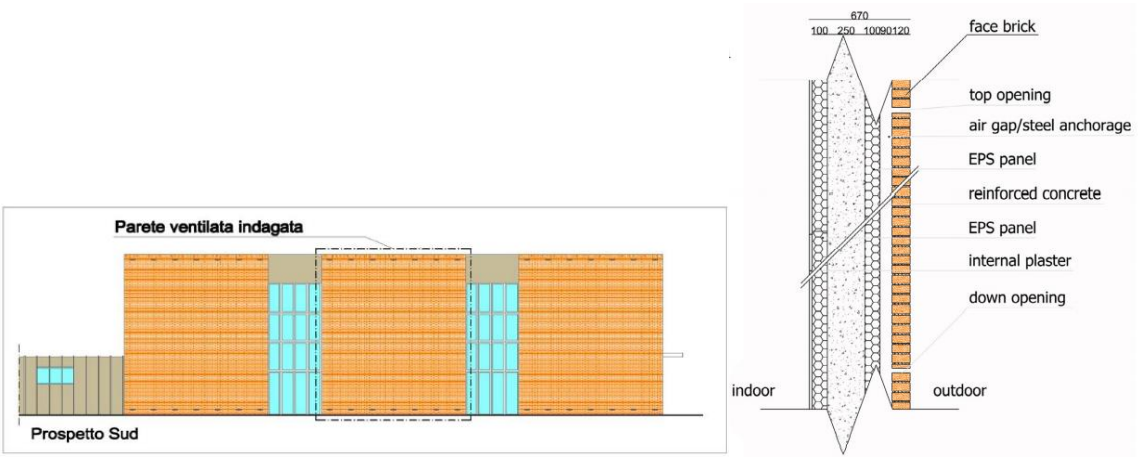
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 1. Dimensions and thermophysics characteristics of the ventilated facade.

Layer	s $[\mathbf{m}]$	ρ $\frac{[\mathbf{Kg}]}{[\mathbf{m^3}]}$	λ $\frac{[\mathbf{W}]}{[\mathbf{m^2}][\mathbf{K}]}$	γ $\frac{[J]}{[kg][K]}$	k $\frac{[\mathbf{W}]}{[\mathbf{m^2}][\mathbf{K}]}$	R $\frac{[m^2][K]}{[W]}$
Inside	-	-	-	-	7.7	0.13
Plaster	0.02	1800	0.90	1000	-	0.022
EPS	0.10	20	0.04	1200	-	2.778
Reinforc.concrete	0.25	2300	2.30	1000	-	0.109
EPS	0.10	20	0.04	1200	-	2.778
Air gap	0.09	-	-	-	-	-
Brick	0.12	1700	0.78	940	-	0.154
Outside	-	-	-	-	25	0.04

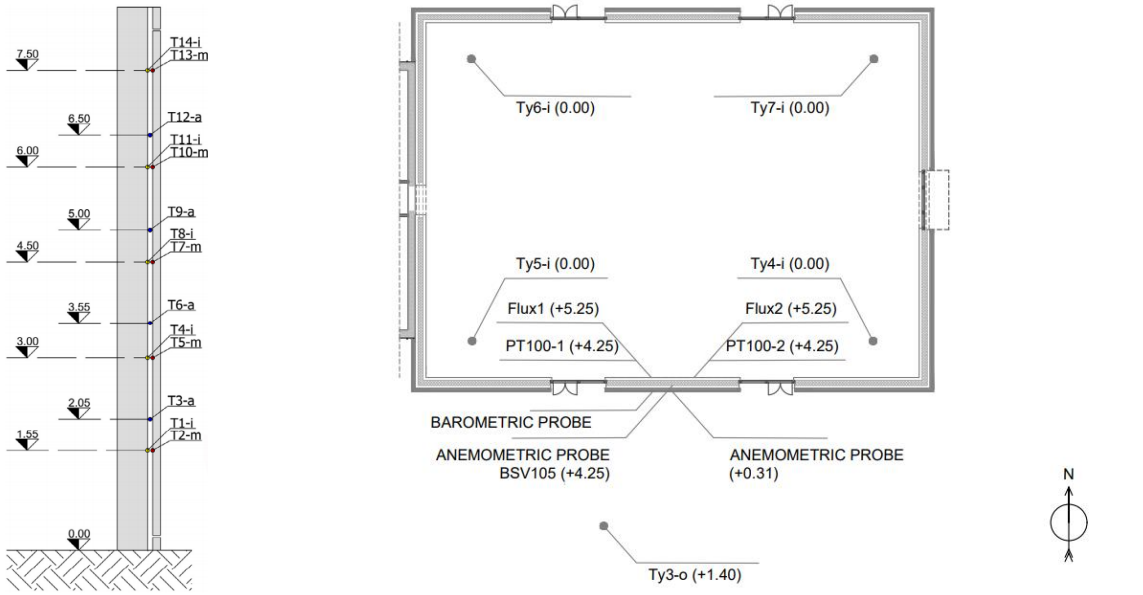
The southern façade is equipped to monitor air and surface temperature, air velocity, heat flux. The measurement equipment into the air gap was predisposed during the building construction. 14 probes, 10 of which for the surface temperature on the EPS and bricks layers facing the cavity and 4 for the air temperature, were positioned at a height of 1.50 m from each other between 1.55 m and 7.50 m inside the cavity (Figure 2). A BSV 105 hot wire anemometric probe for air velocity was placed in the center of the cavity at half height of the wall. The surface temperatures of the internal layer and the heat fluxes were monitored in two symmetrical points with respect to the center of the wall by means of 2 resistance temperature detectors (PT100) at 4.25m and of 2 heat flux probes at 5.25m, respectively. Air temperature inside the gym and outside was monitored by means of Tiny Tag (5 indoor and 1 outdoor). For limited periods, a barometric probe near the wall and an anemometer inside one of the lower openings were added to the instrumentation already presented. The positioning of the measurement equipment is described in Figure 3.

Figure 2. Ventilated facade. Investigated wall and particular of the stratigraphy.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 3. Probes positioning. a) Wall section. B) Indoor and outdoor environment.



The experimental campaigns were carried out with different ventilation holes configurations:

1. un-ventilated wall (configuration 1): all the ventilation holes are closed, therefore the air gap is not ventilated;
2. half-ventilated wall (configuration 2): only half of the ventilation holes are open (only left side of the façade);
3. ventilated wall (configuration 3): all the ventilation holes are open.

Half-ventilated and ventilated wall configurations are investigated in order to compare the behaviour under the same weather conditions.

The monitoring campaign discussed in this paper started in January 2017 and was stopped in March 2019 with the aim of monitoring continuously its thermal behaviour and to gather experimental data for the validation of the mathematical equations to be solved in the new CFD model.

2.2. CFD 2D model

The ANSYS Fluent Software [28] was used for assessing the steady state and dynamic thermal behaviour and the energy performanc]e for ventilated configuration in winter conditions. A 2D model was chosen instead of 3D one, able to take into account the real influence of the opening size on the ventilation of the air gap, since its advantage of allowing a better discretization of the domain with a reduced size mesh (hence minimizing the simulation error).

2.2.1. Numerical steady state validation

A numerical validation was carried out to determine the geometric parameters and mathematical equations to be implemented for a simulation of the heat exchange through the building envelope as compliant as possible with the experimental results (Figure 4, Figure 5). As boundary conditions an internal temperature of 20 ° and an external temperature of 0 °, in winter conditions, and a wind speed of 0.39 m/s according to in-field measurements were used. The value of the thermal transmittance

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

calculated according to the procedure of the UNI EN ISO 6946 [27] was used as a control parameter. In addition, the simulated values of surface temperature, air velocity inside the cavity and the heat flow through the wall were compared between the models. In this phase, control points have been defined (Figure 5), corresponding to the positions of the thermocouples, used as a reference for the validation phase and maintained for subsequent simulations.

Figure 4. Organization chart adopted for the CFD model implementation.

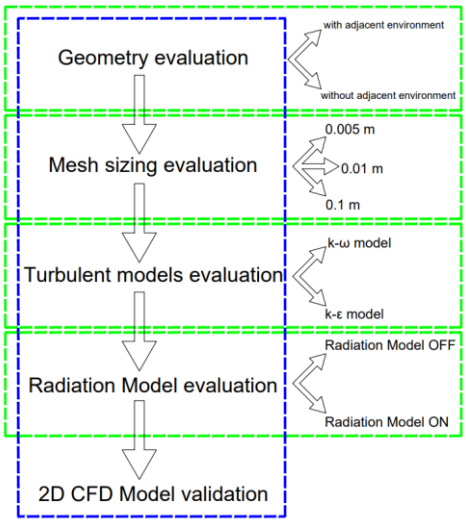
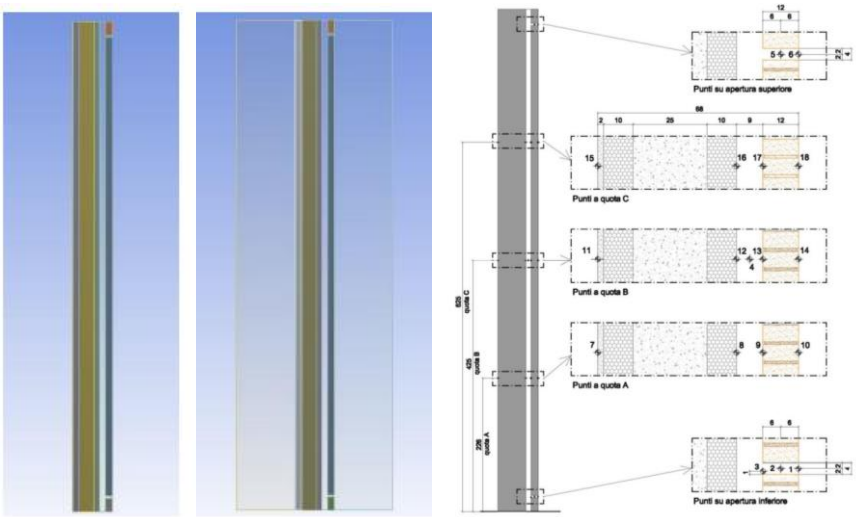


Figure 5. Geometrical models and definition of the control points used in the model.



In terms of geometry, two models were compared with the same stratigraphy as the built wall (Table 1) but to one of them two volumes of air in contact with the inner and outer layer of the wall were added. All the models implemented were made with the same mesh size (0.005 m for the solids and 0.002 for the air inside the cavity).The air temperature values used as boundary conditions have been entered by adopting the temperature condition for the model without external air, the convection condition (ki = 7.7 W/m^{2}K - ke = 25 W/m^{2}K) for the one with external air.Based on the obtained results, considering that the model with external air zones would require long computational times in case of need for mesh refinement in the fluid domain, the geometric model selected for the winter case

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

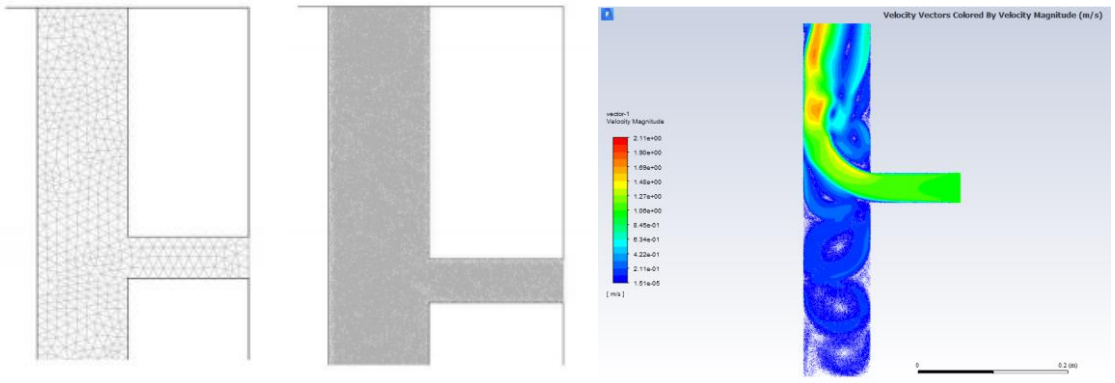
simulations consisted only of the stratigraphy of the ventilated wall, starting from the internal plaster layer, up to the solid bricks of the counter wall.

The best simulation model implemented was subjected to sensitivity analysis for the evaluation of the mesh size within the fluid domain that allows a complete development of the air motion inside the cavity. The dimensions compared were 0.1m, 0.01m and 0.01m (Figure 6 a)). The simulated velocity values inside the cavity are similar for all the models implemented; however the effects of the flow field on the wall are very different, as can be seen from the simulated heat flux values. The greater the mesh width corresponds to a greater variability of heat flow along the height, which in steady state means the incomplete development of the velocity field. It is therefore necessary to thicken the mesh in correspondence with the fluid domain.

In order to establish the best turbulent model to be used to correctly simulating the velocity profile into the air gap simulations were carried out by using k-ε and k-w. The latter involves the triggering of turbulence not allowing reliable results to be obtained (Figure 6 b)).

The actual need to activate a radiative model which influences the development of the flow field inside the cavity was verified. Model P1 and Surface to Surface model were tested. The latter, operating according to the principle of parallel facing planes, was found to be the most effective in taking into account the radiative exchange between the surfaces (error with respect to the theoretical thermal transmittance of less than 5%) and the limited articulation of the geometry made it usable without excessively affect the computation effort. The surfaces used for the view factor calculation were the two delimitating the interspace.

Figure 6. Numerical validation. a)Sensitivity analysis. b)Turbulence phenomena with k-w model.



2.2.2. Experimental dynamic validation

Data collected during the in-field campaigns were implemented in the 2D CFD model in order to perform the experimental validation.

The following CFD parameters were set in the model implementation:

- Energy model: for the heat exchange simulation;
- Turbulent model: k–ε standard; Wall Fn standard;
- Radiation Surface to Surface (S2S) model, by setting the emissivity value of different materials in the 0.8 - 0.9 range;

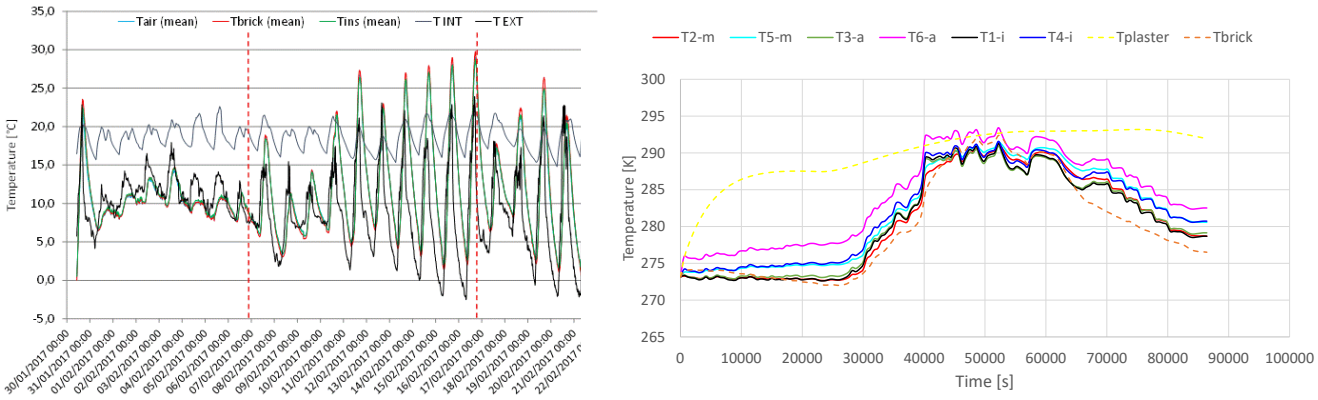
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- Boussinesq approximation for the simulation of the air.

Considering the temperatures gathered during the in field experimental campaign, the validation of the ventilated model was performed in transient conditions; the implementation in the simulation of the hourly variation of the weather conditions requires to write specific User Defined Functions (UDF) that would allow to set a variation of a specific physical quantity as a boundary condition. The outputs were monitored on control points corresponding to some thermocouples positions in the field: T2-m and T5-m on the brick, T1-i and T4-i on the EPS, and T3-a and T6-a in air (Figure 3).

The geometric model developed for the winter case consisted only of the stratigraphy of the ventilated wall, starting from the internal plaster layer, up to the solid bricks of the counter wall. The external and internal air temperature values with the corresponding convective coefficients K = 25 and K = 7.7 were attributed to the extreme layers. As a boundary condition in the inlet section of the fluid domain, a speed of 0.29 m / s was set, equal to the simulated value near the opening in previous works on the same wall. Calculations revealed that the regime condition is reached within the first hours of simulation; for this reason it was decided to streamline the calculation times by carrying out the simulation over 24 hours, identifying February 20th 2017 as a representative day of winter weather conditions. (Figure 7 a)) On the basis of the data collected on that day, the temperature profiles of the external and internal air used as inputs of the CFD model were written. From the winter simulations (Figure 7 b)) it could be observed that the simulated thermal field is very similar to the monitored one, in accordance with the experimental results, the fluctuation of temperatures in the cavity (of about 20°C) is more contained than that of the outside air; in particular the negative peaks are not reached. From the simulations it has been noted that velocity affects the phase shift: its increase strongly augments the phase shift.

Figure 7. Experimental validation. a) Temperature profiles in non-ventilated, partially ventilated and ventilated configurations. b) Winter results (simulated), v=0.29m/s.



As regards the velocity field (Table 2), the simulated one is very close to that monitored at the opening of the wall (point 2) with an error of about 0.03 m / s. Slightly higher error was found at half height (point 4) and equal to about 0.08 m / s; this may be due to a more developed simulated motion in that area of the geometric domain than in the real case. However, also considering the accuracy of the measurement instrumentation adopted, the error obtained can be considered acceptable.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 2. Comparison between simulated and monitored velocity field.

Control points	Simulated velocity [m/s]	Measured velocity [m/s]	Δ
Point 2	0.22	0.19	0.03
Point 4	0.13	0.05	0.08

2.3. Numerical analysis

The obtained CFD and Standard data were used in simulations performed by means of EnergyPlus software [29] taken into account the climatic conditions of examined area. The geometric model of the gymnasium with locker rooms (Figure 8) was implemented by means of Google SketchUp and Open Studio legacy plug-in. Different stratigraphies for the opaque walls were considered according to three case studies (Subsection 3). Conventional glazing system (6 mm float clear glass – 16 mm air – 6 mm float clear glass) modeled in transparent surfaces was characterized by thermal transmittance of 2.9 W/m^{2}K, visible transmittance of 0.79, and solar factor of 0.7. The input parameters were assumed according to Table 3 for gymnasium and locker rooms; the temperature set-points being 18°C in winter and 24°C in summer for the heating and cooling system operating periods [30]. Moreover, infiltration rate value and internal loads for people and lighting were defined [31-33].

Figure 8. Model of the building

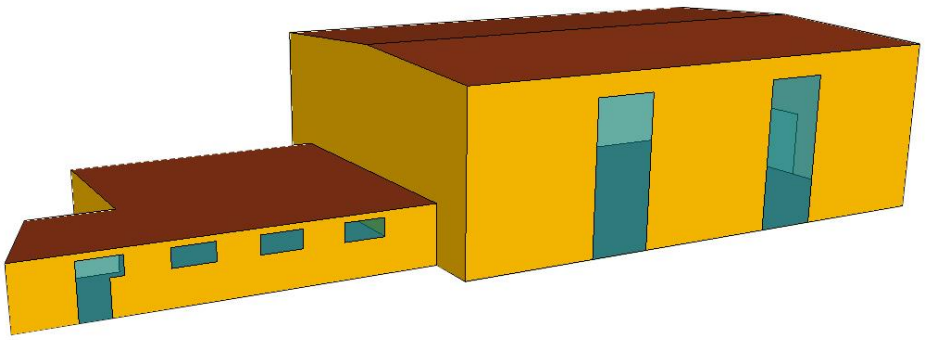


Table 3. Model simulation hypotheses.

Internal loads			
People	35 people – 407 W/person (gymnasium) 0.05 people/m^2 – 108 W/person (locker)		Working days from 8:00 a.m. to 1:00 p.m. and from 3:00 p.m. to 9:00 p.m.
Lighting	7 W/m^2 (gymnasium) 3 W/m^2 (locker)		Working days from 8:00 a.m. to 2:00 p.m. at 50% and from 2:00 p.m. to 9:00 p.m. at 100%
Heating and cooling systems operating periods			
Heating (18°C) 11/01 – 04/15		**Cooling (24°C)** 06/01 – 09/15	Working days from 7:00 a.m. to 9:00 p.m.
Infiltration rate			
gymnasium	0.8 vol/h 0.2 vol/h	Working days from 8:00 a.m. to 1:00 p.m. and from 3:00 p.m. to 9:00 p.m. Working days from 9:00 p.m. to 8:00 a.m. and from 1:00 p.m. to 3:00 p.m.	
locker	0.4 vol/h 0.1 vol/h	Working days from 8:00 a.m. to 1:00 p.m. and from 3:00 p.m. to 9:00 p.m. Working days from 9:00 p.m. to 8:00 a.m. and from 1:00 p.m. to 3:00 p.m.	

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. Results

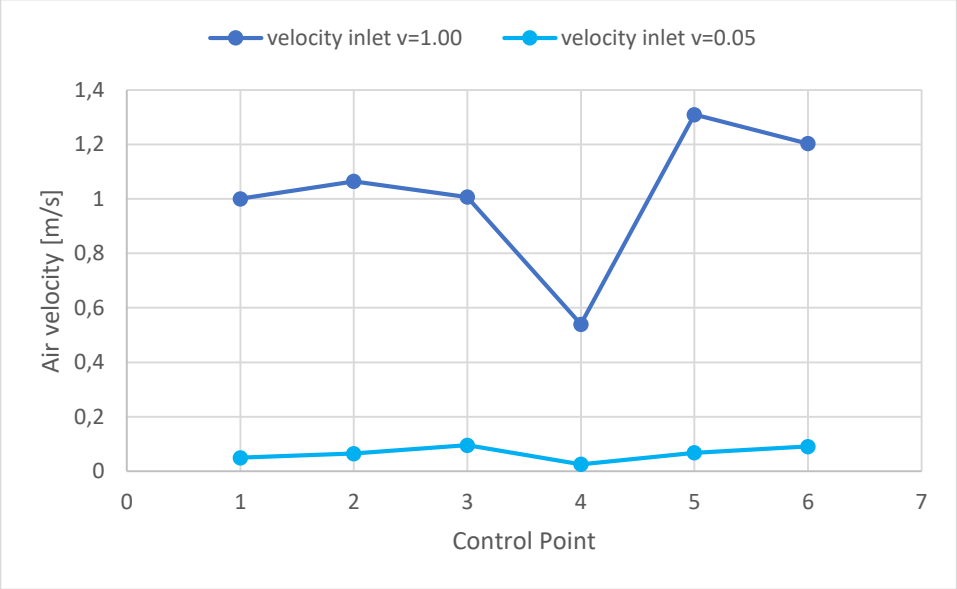
3.1. Adduction coefficient evaluation in relation to air velocity at ventilation inlet

On the basis of the validated 2D CFD model, simulations were carried out by varying the velocity inlet near the ventilation opening at the base of the wall, imposing it equal to 0.01 m/s, 0.4 m/s (in compliance with measured data) and 1 m/s respectively. The simulated values in the inlet and outlet sections are comparable to those measured; some inaccuracies remain in the mid-wall point (4.50 m), attributable to correctable aspects of the CFD model, which in any case do not involve particular influences on the velocity profiles in the lower part and in the upper part of the wall (Table 4, Figure 9).

Table 4. Velocity control points coordinates.

Control Point	Elevation	Distance from inner surface
v1	0,2525	0,48
v2	0,2525	0,42
v3	0,2425	0,36
v4	4,25	0,315
v5	8,2475	0,42
v6	8,2475	0,48

Figure 9. Air velocity at different elevations inside the air cavity depending on velocity inlet.



The temperature values estimated at the control points inside the cavity thus made it possible to calculate the adduction coefficient relating to the last layer of the wall (going from the inside to the outside) before the ventilated space. The formula suggested by UNI 6946 [27] was used, compared with the one proposed in [34] deemed reliable for geometries like the one in question. In the case of walls with strongly ventilated air cavities, such as the one under investigation, UNI EN ISO 6946 [27] prescribes to neglect the thermal resistance of the air cavity and of all the layers that separate the cavity from the side external surface of the wall, considering an external surface thermal resistance

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

equal to the internal one, of 7.7 W/m^{2}K. Such an approximation is inadequate with respect to the influence that the speed of the air passing through the cavity has on the performance of the wall itself. Therefore, attributing a more affordable adduction coefficient to the layer that the standard defines as "external" in the calculation procedure and establishing a correlation of its variability with respect to the input velocity appears necessary. The first results obtained and reported in Figure 10, show that already with a minimum input speed, equal to 0.05 m/s, the adduction coefficient increases by 1.5 W/(m^{2}K). Figure 11 shows the speed profiles in the input sections for the three simulated velocities.

Figure 10. Comparison between adduction coefficient obtained from CFD and indicated by the standard (UNI 6946).

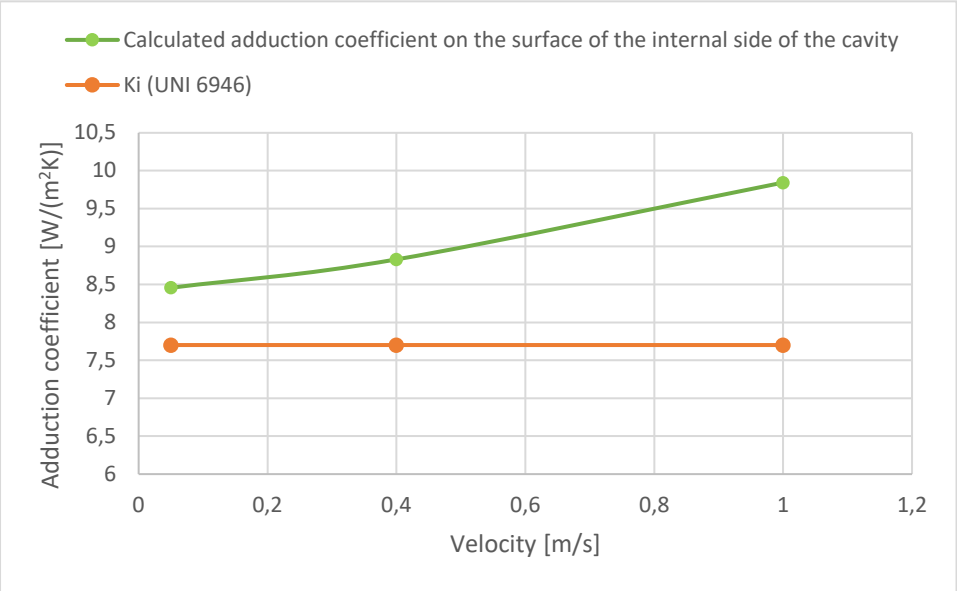
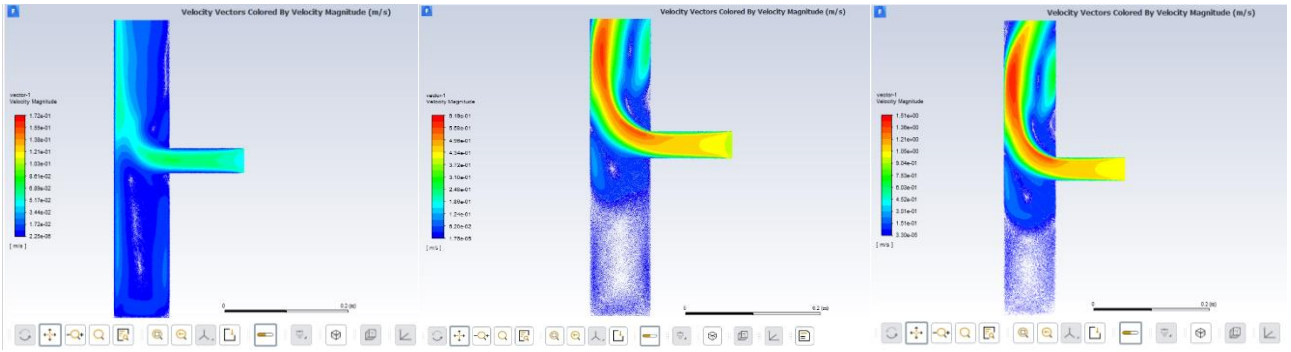


Figure 11. Motion field in the inlet section for different air velocities.
a) v=0.05 m/s. b) v=0.40 m/s. c) v=1.00 m/s.



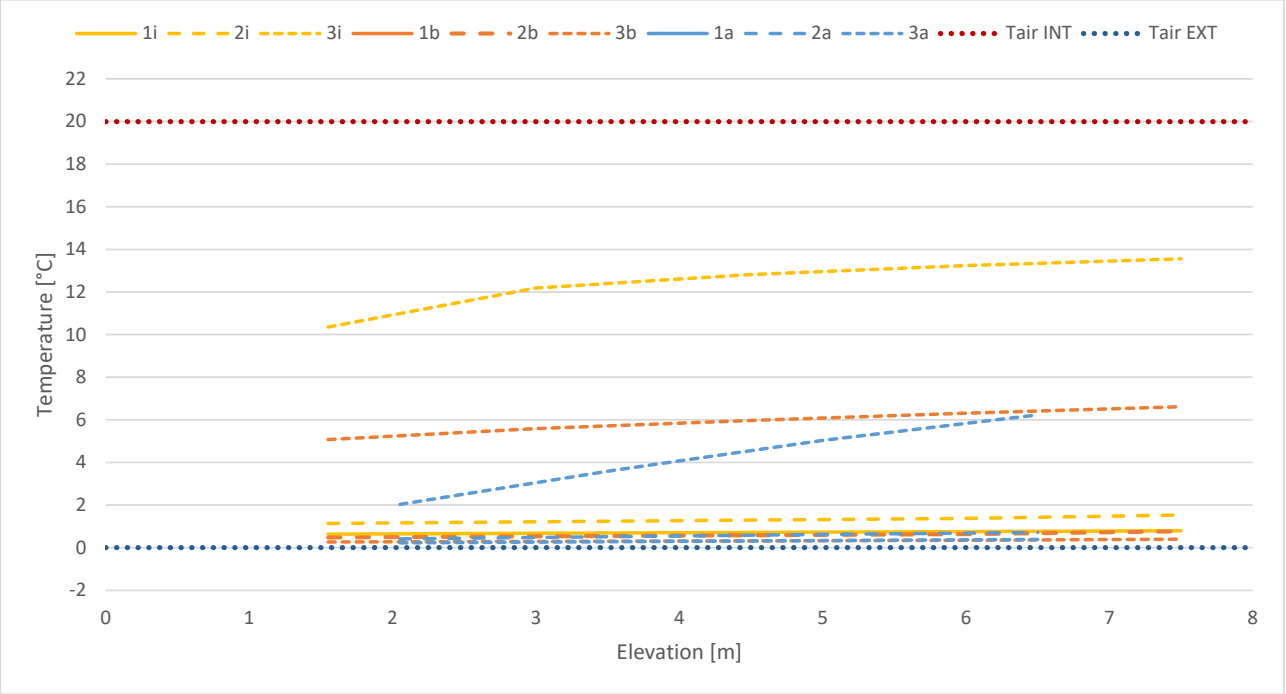
3.2. Themal transmittance determination for different ventilated wall stratigraphies

The reliability of the CFD model allows us to use the inputs determined as optimal by applying them to walls with different stratigraphies (Table 1), in order to evaluate their thermal transmittances. CFD

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

simulations were carried out on 3 models: the first corresponds to the ventilated wall actually built in the gym in Foligno (Case 1), the other two with stratigraphy similar to that of the first model but one without internal insulation (Case 2) and the other completely devoid of insulating layers (Case 3). The speed value considered at the velocity inlet is 1 m/s, the internal and external temperatures respectively of 20°C and 0°C. Figure 12 reports the temperature values inside the cavity obtained by CFD simulations for the three cases; "1" indicates case 1, "2" case 2 and "3" case 3, while the letters alongside indicate whether the surface temperature is relative to insulating material (i), brick (b) or air (a).From the comparison, it could be observed that in all cases the lowest values are those of the air inside the cavity, close to the external one, while those measured on the last layer before the air gap are slightly higher. The highest temperatures are found in the third case, where the lack of any insulation element with respect to the perimeter concrete wall, makes it maintain a temperature of around 13 ° C, a clear sign of thermal dispersion of the wall during the winter season.

Figure 12. Motion field in the inlet section for different air velocities.
a) v=0.05 m/s. b) v=0.40 m/s. c) v=1.00 m/s.



The transmittance values obtained in the three cases were compared with the theoretical thermal transmittances of the corresponding ventilated walls estimated in compliance with ISO 6946 (Figure 13). Considering that the wall built, with openings area per m of horizontal length equal to 12500 mm^2/m(>1500 mm^2/m), is "well ventilated" according to the Standard [27].

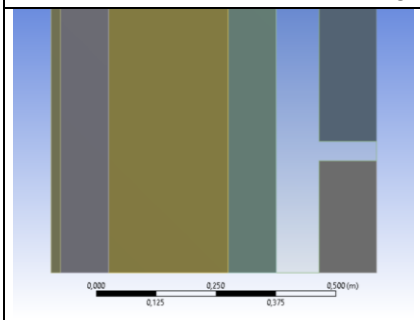
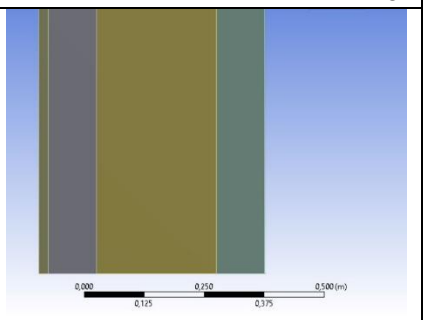
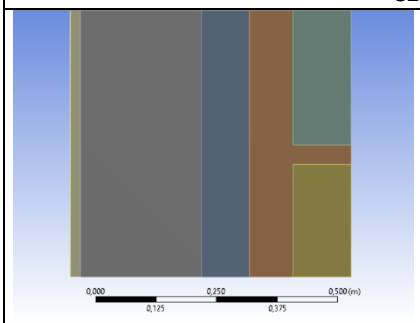
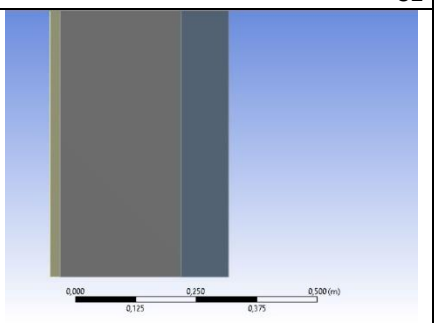
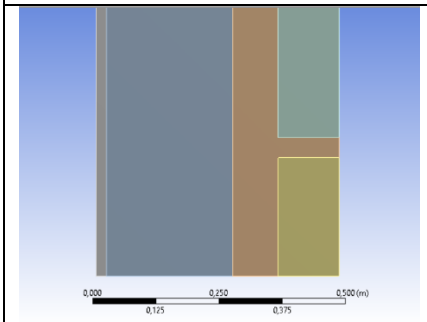
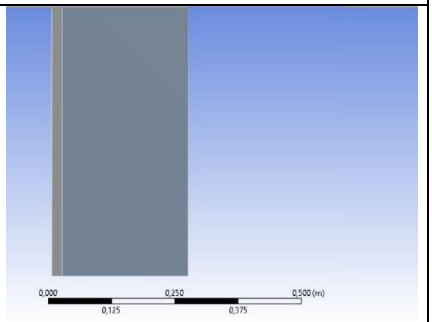
The geometric models to which the UNI 6946 refers consist only of the stratigraphy of the ventilated wall, starting from the internal plaster layer, up to the solid bricks of the counter wall. The external and internal adduction coefficient K = 7.7 were attributed to the extreme layers.

Starting from the thermos-physical properties of the materials provided by the Company (Table 1),

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

a value of 0.167 W/m^{2}K was found for the first configuration; the amount of the gap between the values obtained with the two methods is only 0.12%. By applying this comparative procedure to casings with poorer thermal properties, a difference between transmittance obtained by CFD simulation and standard calculation of around 27% was obtained. The CFD model therefore allows to have very accurate results as the quality of the building decreases. This enable to evaluate the real benefit of a ventilated wall as an integration to an older structure, built without following particular energy efficiency criteria; satisfactory result considering the additive optics of the ventilated wall element.

Figure 13. Thermal transmittance for different ventilated wall stratigraphies determined using CFD simulations or calculation procedure from UNI 6946.

	Thermal transmittance [W/m^2 K]		
	CFD	**UNI EN 6946**	**Δ**
CASE 1	C1 	S1 	
	0,1669	0,1671	-0,0002
CASE 2	C2 	S2 	
	0,3134	0,3009	0,0125
CASE 3	C3 	S3 	
	2,5598	1,8692	0,6906

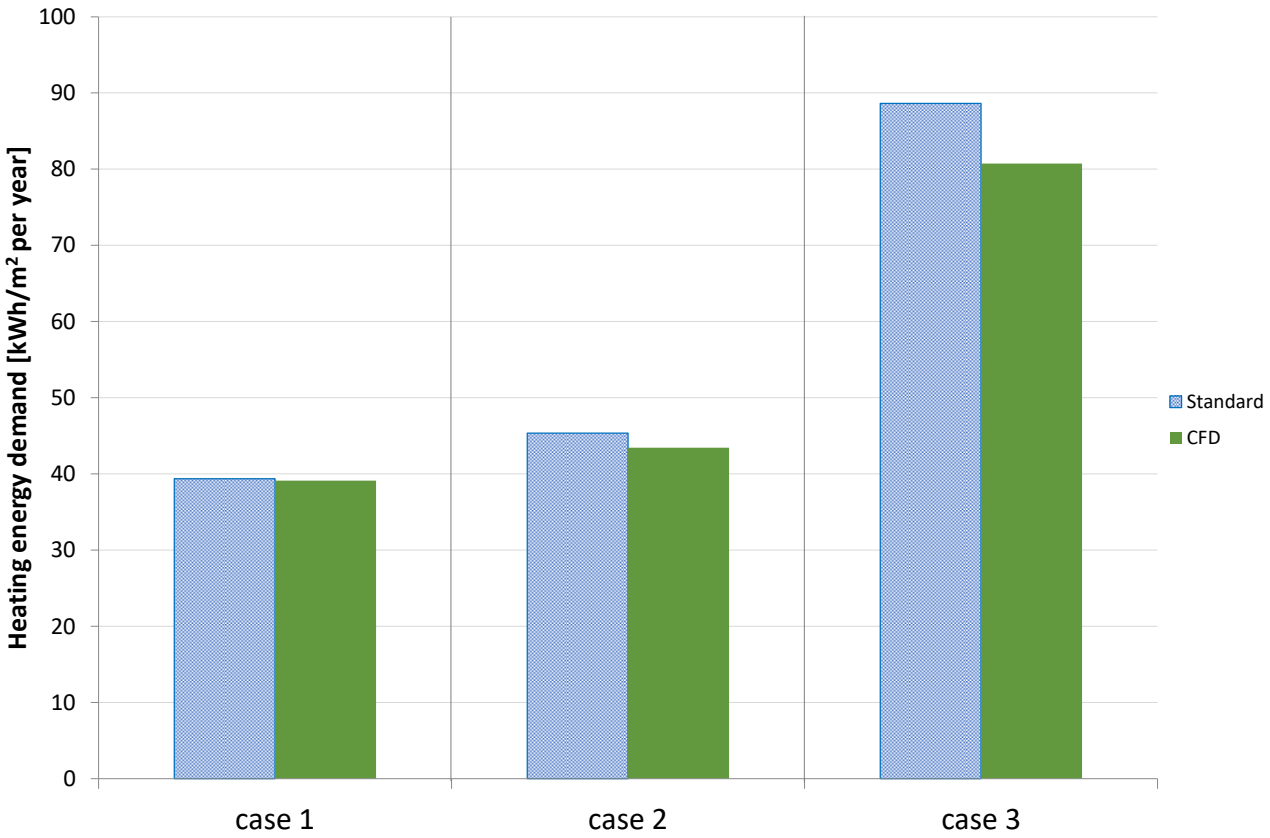
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.3. Heating energy performance results

The impact of the walls (Figure 13) on building energy performance was evaluated in terms of only heating energy demands, expressed in kWh/m^2 per year, which constitutes the most sever condition in the case of ventilated walls. Ideal energy loads were calculated as the heating heat transfer rates that needed to be removed to the zone to maintain the indoor temperature conditions, without considering any equipment for heating.

Of course, as the thermal performance of the walls decreases, the energy demands for heating increase. When the opaque wall is characterized by a good thermal insulation (case 1), the heating energy demand differences between the data obtained from CFD simulations and calculated ones by means of UNI EN ISO 6946 are negligible (39.11 Kwh/m^{2}y and 39.38 Kwh/m^{2}y, respectively), as inferred in Figure 14. By increasing the insulation of the wall, the thermal performance calculation carried out following [27] involves an overestimation of the building energy demand up to a maximum of 9% in case 3, by proving a lower accuracy in the modeling of the ventilated wall.

Figure 14. Annual heating energy demand: comparison between thermal performance calculated with Standard and CFD simulations



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Conclusions

The thermal resistance of the masonry package preceding the counter wall affects the energy saved, making it an optimal solution for existing buildings that do not have high performance characteristics. Due to its both winter and summer efficiency, ventilated wall represents an innovative solution to the “thermal coat”. Its behaviour involves benefits, especially in southern Europe regions where the highest levels of solar radiation are encountered. Measurement campaigns over more than 2 years, allowed to evaluate the behavior of a ventilated brick wall 8.5 m high and facing south for different seasons and weather conditions.

Implementation and validation of a 2D CFD model with experimental results at real scale allow to predict the behaviour of the wall in different periods of the year and in different climate conditions, in order to establish the real benefit of the ventilation.

The model was the subject of two validations and a sensitivity analysis. The first validation allowed to confirm and evaluate the correctness of the mathematical resolution of the implemented heat exchange and motion equations, the sensitivity analysis allowed to define the most correct mesh size to be used to correctly simulate the flow field at inside the air gap, while the last validation allowed to verify the whole model from an experimental point of view. The model, therefore, can be considered validated and can be considered reliable for the calculation of the thermal transmittance of the wall under investigation. From the simulated results, the trend of the adduction coefficients was then obtained on the last layer of the masonry package (from the inside) before the interspace depending on the incoming air speed; compared to that indicated by the standard of 7.7 W / m2K, CFD analyzes produce a value of 10 W / m2K. The CFD analysis was also the basis for determining the theoretical thermal transmittance value of the wall considering the behavior in the winter season, that is, the most unfavorable for this type of building envelope. From the calculation it can be observed that the equivalent transmittance value of the wall built in Foligno should be about 0.167 W / m2K, in analogy with what was obtained by law. Applying the same procedure to ventilated walls leaning against walls with poorer performance, it can be seen that the difference between the values obtained by law and those obtained by the CFD model reaches 0.6906 W / m2 K.

Comparing the values obtained from the energy simulations, for the gym with ventilated walls according to regulations, it can be observed how the calculation of the transmittance from UNI 6946 overestimates the building energy demand up to a maximum of 9% in case of low-performance walls, by proving a lower accuracy in the modelling of the ventilated wall.

References

1. IEA, International Energy Agency. World Energy Outlook 2012.
2. EEA, European Environment Agency. Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990–2018 and Inventory Report 2020, 27 May 2020.
3. EEA, European Environment Agency. Energy Efficiency and Energy Consumption in the Household Sector, 2012.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Alonso, C.; Oteiza, I.; García-Navarro, J.; Martín-Consuegra, F. Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of façades. Three Case Studies in Madrid. Energy Build. **2016**, 126, 252–262.
5. Gagliano, A.; Giuffrida, S.; Nocera, F.; Detommaso, M. Energy efficient measure to upgrade a multi-storey residential in a NZEB. AIMS Energy **2017** 5 (4), 601–624.
6. Kolaitis, D.I.; Malliotakis; E., Kontogeorgos, D.A.; Mandilaras, I.; Katsourinis, D.I.; Founti, M.A. Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. Energy Build. **2013**, 64, 123–131.
7. ENEA National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development. Energy Efficiency Tips for Citizens and Professionals. 2015.
8. Arce, J.; Jiménez, M.J.; Guzmán, J.D.; Heras, M.R.; Alvarez, G.; Xamán, J. Experimental study for natural ventilation on a solar chimney. Renewable Energy **2009**, 34 (12), 2928–2934.
9. Aketouane, Z.; Bah, A.; Malha, M.; Ansari, O. Effect of emissivity on the thermal behavior of a double wall facade with a closed cavity. In: International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC'16. Marrakech (Morocco) 2016.
10. Gagliano, A.; Nocera, F.; Aneli, S. Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period. Energy Build. **2016**, 122, 131–139.
11. Gagliano, A.; Aneli, S. Analysis of the energy performance of an Opaque Ventilated Façade under winter and summer weather conditions. Solar Energy **2020**, 205, 531-544.
12. Stazi, F.; Vegliò, A.; Di Perna, C. Experimental assessment of a zinc-titanium ventilated façade in a Mediterranean climate. Energy Build. **2014**, 69, 525–534.
13. Labat, M.; Woloszyn, M.; Garnier, G.; Rusaouen, G.; Roux, J.J. Impact of direct solar irradiance on heat transfer behind an open-jointed ventilated cladding: experimental and numerical investigations. Solar Energy **2012**, 86, 2549–2560.
14. Astorqui, J.S.C.; Porras-Amores, C. Ventilated Façade with double chamber and flow control device. Energy Build. **2017**, 149, 471–482.
15. Diallo, T.M.O.; Zhao, X.; Dugue, A.; Bonnamy, P.; Miguel, F.J.; Martinez, A.; Theodosiou, T.; Liu, J.S.; Brown, N. Numerical investigation of the energy performance of an Opaque Ventilated Façade system employing a smart modular heat recovery unit and a latent heat thermal. Applied Energy **2017**, 205, 130–152.
16. Zuazu-Ros, A.; Martín-Gómez, C.; Ibañez-Puy, E.; Vidaurre-Arbizu, M.; Ibáñez-Puy, M. Design, assembly and energy performance of a ventilated active thermoelectric envelope module for heating. Energy Build. **2018**, 176, 371–379-
17. Saadon, S.; Gaillard, L.; Ménézo, C.; Giroux-Julien, S. Exergy, exergoeconomic and enviroeconomic analysis of a building integrated semi-transparent photovoltaic/thermal (BISTPV/T) by natural ventilation. Renewable Energy **2020**, 150, 981–989.
18. Patania, F.; Gagliano, A.; Nocera, F.; Ferlito, A.; Galesi, A. Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. Energy Build. **2010**, 42, 1148-1155.
19. Stazi, F.; Ulpiani, G.; Pergolini, M.; Magni, D.; Di Perna, C. Experimental comparison between three

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

types of opaque ventilated facades. The Open Construction and Building Technology **2018**, J.12, 296–308.
20. Buratti, C.; Palladino, D.; Moretti, E.; Di Palma, R. Development and optimization of a new ventilated brick wall: CFD analysis and experimental validation. Energy Build. **2018**, 168, 284–297.
21. Pujadas-Gispert, E.; Alsailani, M.; van Dijk, K.C.A.; Rozema, A.D.K.; ten Hoope J.P.; Korevaar, C.C.; Moonen, S.P.G. Design, construction, and thermal performance evaluation of an innovative bio-based ventilated façade. Frontiers of Architectural Research **2020**, 9, 681-696.
22. Bagaric, M.; Banjad Pecur, I.; Milovanovic, B. Hygrothermal performance of ventilated prefabricated sandwich wall panel from recycled construction and demolition waste.A case study.Energ Build. **2020**, 206,1-19.
23. Buratti, C.; Palladino, D.; Moretti. Prediction of indoor conditions and thermal comfort using CFD simulations: a case study based on experimental data. Energy Procedia **2017**, 126, 115–122.
24. Diarce, G.; Campos-Celador, Á.; Martin, K.; Urresti, A.; García-Romero, A.; Sala, J.M. A comparative study of the CFD modeling of a ventilated active façade including phase change materials. Applied Energy **2014**, 126, 307–317 .
25. Santa Cruiz, J.; Porras, C. Ventilated Façade with double chamber and flow control device. Energy Build. **2017**, 149, 471–482 .
26. Liu, L.; Yu, Z.; Zhang, H. Simulation study of an innovative ventilated facade utilizing indoor exhaust air. In: International Conference on Improving Residential Energy Efficiency, IREE 2017.
27. UNI EN ISO 6946, 2017. Building components and building elements -- Thermal resistance and thermal transmittance -- Calculation methods.
28. ANSYS Fluent User's guide, release Fluent 16.1, ANSYS, Inc., 2015, a.
29. EnergyPlus 8.7. Available at: https://energyplus.net/.
30. UNI/TR 103491-2, 2016. Heating and cooling of buildings -- Climate data -- Part 2: data for design load.
31. UNI 10339, 1995. Impianti aeraulici ai fini del benessere, Calcolo infiltrazioni aria.
32. UNI TS 11300-1, 2014. Prestazioni energetiche degli edifici, Calcolo ricambi di aria per ventilazione naturale.
33. EN ISO 8996, 2004. Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate.
34. Bar-Cohen, A.; Rohsenow, W.H. Thermally Optimum Spacing of Vertical, Natural Convection Cooled, Parallel Plates, J. Heat Transfer **1984**, Vol. 106, pp.116-123.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Noise pollution and mental health: a narrative review

Giulia Menculini [1,*], Patrizia Moretti [1], Luigi Attademo [2], Pierfrancesco Maria Balducci [3], Francesco Bernardini [4] and Alfonso Tortorella [1]

[1] Department of Psychiatry, University of Perugia, Piazzale Lucio Severi 1, 06132, Perugia, Italy
[2] SPDC Potenza, Department of Mental Health, ASP Basilicata, Italian National Health Service, 85100 Potenza, Italy
[3] CSM Terni, Department of Mental Health, 05100 Terni, Italy
[4] CSM 24 ore Area delle Dolomiti Friulane, Department of Mental Health, AsFO Friuli Occidentale, 33170 Pordenone, Italy

* Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: giuliamenculini@gmail.com

Abstract: Urbanization processes and anthropogenic actions led to a significant increase of pollution levels in urban areas, with relevant consequences on global health. In particular, noise pollution demonstrated an association with cardiovascular, metabolic, and respiratory diseases. Furthermore, increasing evidence underlined the possible role of air and noise pollution in the development of psychiatric disorders. In this narrative review, evidence concerning the relationship between noise pollution and the emergence of psychiatric disorders or psychiatric symptoms is summarized. After the literature search process was completed, 30 papers were included in the present review. The exposure to road-, rail-, and air- traffic represented a risk factor for the emergence of affective disorders. This could also be mediated by the occurrence of circadian rhythms disturbances. Another mediator of the relationship between noise pollution and psychiatric symptoms is represented by noise annoyance and noise sensitivity, both influencing psychological distress and health-related quality of life as well. Fewer studies concentrated on special populations, particularly pregnant women and children, where noise pollution was confirmed as a risk factor for psychopathology as well. The better clarification of the complex interaction between noise pollution and mental health may help to identify subjects at risk and targeting specific prevention and intervention strategies in the urban environment.

Keywords: noise pollution; urban environment; traffic noise; mental health; psychopathology; psychiatric symptoms

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Background

During the last decades, urbanization processes and anthropogenic activities contributed to the significant increase of air and noise pollution in urban areas, namely densely populated areas where at least 50% of the inhabitants live in high-density clusters [1]. Air pollution may cause detrimental effects on global health, with a higher risk for developing cardiovascular, neurological, and respiratory diseases [2,3]. Similarly, an association between noise pollution and hypertension, diabetes, stroke, asthma, as well as hearing loss, has been evidenced [4–6]. In particular, according to the World Health Organization (WHO) estimates, exposure to traffic-related noise was associated with the loss of 1.5 million years of healthy life mainly due to cognitive problems, sleep disturbances, and cardiovascular diseases [7].

To note, pollution was demonstrated to play a role in the occurrence of psychiatric symptoms and psychiatric disorders. Indeed, a higher rate of psychotic and mood disorders was described after long-term exposure to air pollutants [8], which is also enlisted among possible causes of the more frequent occurrence of psychiatric disorders in the urban environment [9]. Furthermore, a higher number of emergency admissions due to psychiatric reasons showed a correlation with pollutants levels in previous research [10]. As for noise pollution, preliminary evidence also depicts a possible correlation with mental health, despite partially contrasting findings [11,12]. Noise represents a salient component of the urban milieu and may contribute to the development of psychiatric symptoms acting through different pathways, such as the disruption of sleep-wake rhythm [13]. Moreover, subjects affected by serious mental illnesses show a higher sensitivity to noise that may trigger specific psychopathological features, such as psychotic symptoms [14]. Different sources of noise may also be involved in distinct psychological responses, underpinned by diverse characteristics of noise produced by each source [15]. Despite complex mechanisms that may underlie these responses, pathophysiological pathways concerning the increase of stress hormone levels were hypothesized to be activated, as well as inflammatory and oxidative stress systems [16].

Previous reviews and meta-analyses focused on the effects of noise pollution on mental health, mainly considering specific outcomes, e.g., anxiety and depressive symptoms, or noise sources, e.g., traffic noise [12,17,18]. In this narrative review, we summarize existing evidence concerning noise pollution and mental health. The main aim of the present work is to better clarify the possible relationship between noise produced by different sources and the occurrence of psychiatric symptoms. Furthermore, the possible role of noise as a risk factor for the development of serious mental illnesses is investigated.

2. Methods

A literature search of the Pubmed, Scopus, and Web of Science databases was carried out from 1st January 2011 to 15th March, 2021 by entering the following search string: ((noise) OR acoustic) AND pollution AND ((psychiatric disorder*) OR mental health). We included original research evaluating the relationship between noise pollution coming from different sources and mental health. Studies

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

assessing the effects of noise on the development of psychiatric symptoms/psychiatric disorders as secondary outcomes were considered as well. Grey literature was included, if providing sufficient findings. As for studies with overlapping samples, we decided to include more that one study if adding relevant information. We did not include commentaries, letters to the editor, and reviews. We excluded research focusing on the effects of noise pollution on medical (e.g., cardiovascular, respiratory, neurological) conditions and symptoms (e.g., cognition) without reporting data on psychiatric symptoms/psychiatric disorders. Moreover, studies focused on animal samples and studies presenting only a hypothesis not supported by data were excluded.

3. Results

3.1 Literature search results and study description

The initial search retrieved 737 results (141 Pubmed, 393 Scopus, 203 WoS). After duplicates removal, literature screening and hand screening of relevant references, 30 papers were included in the present narrative review. Among the selected studies, 19 were cross-sectional, 6 were cohort studies, 3 had an observational naturalistic design, 1 was a case-control study, and 1 was an ecological study. As for evaluated noise exposure, 4 studies focused on transport noise (road, railway, aircraft), 3 focused only on road and railway traffic noise, 10 exclusively on road traffic, and 1 on aircraft noise. Moreover, 5 papers considered overall noise, measured by real-time sensing techniques or average levels. Further sources that were taken into account were industry noise (1 study) and wind turbine noise (1 study). Finally, 16 studies also evaluated perceived noise, noise annoyance, and/or noise sensitivity. Characteristics of the included studies are displayed in **Table 1**.

3.2 Noise pollution, psychiatric disorders and psychopathology

The possible causal relationship between noise pollution and the incidence of serious psychiatric disorders was confirmed by 5 studies. In a cross-sectional study, levels of road-, rail-, and air- traffic noise were associated with the presence of depressive and anxiety disorders diagnosed according to traditional nosographic criteria and influenced symptom severity as well [19]. Similarly, in one cohort study the incidence of depression was directly associated with aircraft noise exposure, acting as an independent risk factor. Furthermore, when subjects were exposed to multiple sources of noise addictive effects were demonstrated [20]. In a large case-control study [21], the exposure to road traffic noise was also associated with the risk of a newly diagnosed depression. In the same population, the higher risk for developing depression seemed to be underpinned by the simultaneous exposure to road, railway, and aircraft noise. In a Spanish study considering average data on noise levels as measured by different stations, noise pollution revealed a significant association with daily admissions for both depression and anxiety, as well as with daily number of suicides [22]. Specific psychopathological features were also connected to higher levels of noise exposure in certain environments. Particularly, a study conducted on a sample of Iranian automotive industry workers elucidated how higher daily exposure to noise was associated with verbal aggression, physical

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

aggression, hostility and anger [23]. Circadian rhythms were also evaluated in 2 of the included studies. Indeed, traffic noise was associated with insomnia symptoms, particularly difficulties falling asleep and waking up too early, with a dose-response relationship, whilst it did not display any association with sleep medication use [24]. Moreover, in a cross-sectional study road traffic noise determined more severe psychopathology, underpinning a probable diagnosis of a psychiatric disorder, only in subjects with poor sleep quality, whilst no significant associations between noise exposure and mental health were detected among subjects with no sleep impairment [25].

As for psychopharmacological treatment prescription, a longitudinal study evaluating mental health outcomes in subjects with multiple exposures showed that road-traffic noise predicted higher anxiolytics prescription [26]. Similarly, road traffic noise annoyance was associated with a higher rate of anxiolytic, but not antidepressant and sleep medications [27], whilst objective measures of noise demonstrated a significant association with both antidepressant and anxiolytic medications. An association with sleep medications and antidepressant prescription was also demonstrated by a Danish cohort study evaluating low-frequency wind turbine noise [28]. In this research, outdoor night-time noise was associated with higher prescription of sleep medications and antidepressants, which was stronger in subjects aged ≥ 65.

On the contrary, 2 studies failed in demonstrating an association between noise pollution and the emergence of psychiatric symptoms. Particularly, road traffic and railway noise did not show a relevant association with mental disorders as evaluated by the International Classification of Primary Care in a representative sample of residents in small neighborhood [29]. Furthermore, in a study evaluating air pollution and noise exposure according to an ecological momentary assessment approach, noise showed an insignificant independent effect and a weak moderating effect when compared to air pollutants exposure, and thus did not act as a significant acute stressor [30].

3.4 Perceived noise, noise annoyance, noise sensitivity and mental health

Psychological well-being, which also represents a determinant of health-related quality of life, was significantly associated with traffic noise annoyance in 5 studies [31–35], leading to the hypothesis that noise annoyance may serve as an indirect mediator of the impact of road traffic noise on mental health [34]. A similar finding was demonstrated also for neighborhood noise annoyance [18,35]. One among the above-mentioned studies demonstrated that also noise sensitivity displayed a strong relationship with mental health-related components [33], whilst no direct association was observe between transportation noise pollution and health-related quality of life [33]. Sensitivity to noise was also associated with more severe psychological symptoms as evaluated by a self-administered questionnaire, with a higher prevalence of anxiety, concentration complaints, and ill temper [36]. Similarly, a study focusing on aircraft noise pollution did not show a clear association with psychological ill-health, that was only predicted by noise annoyance and noise sensitivity [37]. This is also demonstrated by a study where higher exposure to road traffic noise, especially at 56-60 dBA levels, predicted psychopathology in a cohort of subjects followed during ten years [38]. This relationship was moderated by noise sensitivity and predicted by noise annoyance. Furthermore, higher perceived noise

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

was one among the neighborhood characteristics that were mainly related to psychological well-being and depression in an international survey with more than 76,000 respondents [39]. Similarly, perceived noise was significantly associated with mental health-related symptoms in a large cross-sectional study, where also living in proximity of main roads affected psychological well-being [40]. This was also confirmed by a cross-sectional study conducted during the COVID-19 pandemic, where the perception of neighborhood noise levels was demonstrated to mediate the emergence of psychological distress [41].

Noise annoyance caused by traffic and neighbors also determined a higher level of perceived stress as measured by a cross-sectional survey in a population of almost 27,000 subjects living in multistorey housing [31]. Perceived stress was as well associated with rail-traffic noise in a cross-sectional study [26] and with individual noise exposure in a study using ecological momentary assessment approach [42], which also demonstrated that a higher level of psychological stress may be mediated by higher perceived noise.

3.5 Noise pollution and specific populations

Among included studies, 4 focused on children populations. One study analyzing possible effects of road traffic noise on sleep duration and quality in 7 year-old children demonstrated a relationship between noise pollution and the two parameters among girls, but not in the overall population [43]. Road traffic noise exposure during childhood was also associated with a 7% increase of parent-reported behavioral problems, particularly concerning hyperactivity/inattention, abnormal conduct and peer relationships [44]. In a study evaluating parent-reported noise annoyance from different sources, overall mental health problems were associated with road traffic noise, especially at night, which also influenced the emergence of emotional symptoms and conduct problems. In the same population, also noise coming from neighbors during the day showed a relevant influence on conduct problems and hyperactivity [45]. On the contrary, in a cross-sectional study conducted in The Netherlands road traffic noise was not associated with higher severity of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) symptoms and displayed a negative association with ADHD diagnosis [46].

Moreover, one longitudinal study focused on a population of pregnant women and revealed that higher noise levels, especially during night time, determined a higher risk of hospitalization for depression or other mental disorders during a 18 months follow-up period [47].

4. Conclusions

In this narrative review, the association between noise pollution and different outcomes concerning mental health was confirmed, with only few exceptions. Particularly, the exposure to different sources of noise that may be common in the urban environment may increase the incidence of clear-cut psychiatric disorders, but may also influence the emergence of specific psychopathological features and increase perceived psychological stress, thus reducing health-related quality of life. The higher risk for hospital admissions and higher psychopharmacological treatment use also reveals the high burden that noise-associated psychopathological features may exert on mental health services. Furthermore,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

the association between noise exposure and specific psychiatric symptoms, such as sleep disturbances, may itself represent a risk factor for developing psychiatric conditions, e.g. mood disorders. Indeed, noise pollution and mental health may be linked by possible intermediate factors, involving circadian rhythms disruptions but also noise annoyance and noise sensitivity. This confirms the complex and multifactorial relationship between noise pollution and mental health, also suggesting potential mediators that may represent a potential target for preventive and early intervention strategies. Indeed, given the evidence of an association between noise pollution and psychiatric symptoms also in young populations, the early identification of symptomatological clusters that should be screened when subjects are exposed to noise sources may be crucial. To note, several studies considered noise pollution as one among possible factors linked to the emergence of psychiatric disorders in the urban environment. Indeed, urbanization underpins several determinants that may coexist and act synergistically, thus causing detrimental effects on global health. This could be the case of noise and air pollution, possibly presenting a complex interaction which should be taken into account since the exposure to both factors may be responsible for confounding effects. Under this perspective, future studies taking into account further sources of noise pollution, as well as indoor pollution, may better clarify these associations. A better clarification of the complex and interactive process leading to the development of psychiatric disorders may help targeting individualized treatments, also suggesting possible preventive strategies. Such strategies should hopefully include in the future a comprehensive rethinking of the urban environment, taking into account a wide range of possible mediators, such as noise, air pollution, urban green cover, built environment, and social determinants of mental health.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Reference	Country (Study)	Design	Sample	Mental Health Outcome (Assessment Measure)	Noise exposure (Measure Unit)
Alimohammadi et al. [51]	Iran	Cross-sectional study	250 automotive industry workers, mean age 36.1	Aggression (Bruss and Perry questionnaire)	Workplace (industry) noise (mean received dose)
Baudin et al. [37]	France	Cross-sectional study	1,244 18 - ≥ year-old subjects living near three airports	Psychological well-being (GHQ)	Aircraft noise (L_{den}, L_{eq24h}, $L_{eq\ 6\text{-}22}$, and L_{night}) Noise annoyance and noise sensitivity
Cerletti et al. [33]	Switzerland (SAPALDIA)	Cohort study	2,035 subjects participating to the second and third wave of SAPALDIA	Health-related quality of life (SF36)	Road traffic, aircraft and railway noise (L_{den}) Transportation noise annoyance (ICBEN recommendation) and sensitivity (Weinstein noise sensitivity scale)
Chen et al. [52]	China	Cross-sectional study	937 respondents (34.7% male)	Psychological distress (K6)	Perception of neighborhood noise (self-administered questionnaire)
Dìaz et al. [22]	Spain	Ecological longitudinal study	Madrid inhabitants: 3,218,500	Daily number of admissions for anxiety (ICD), depression (ICD), daily number of suicides (ICD)	City level average noise (L_{eqday}, $L_{eqnight}$ and L_{eq24h})
Dreger et al. [45]	Germany	Cohort study	1,185 children (602 F, 583 M) from first to fourth grade of primary school	Parent-reported incident mental health problems (SDQ)	Parent-reported noise annoyance (ICBEN recommendations) from different sources (neighbors, road traffic, railway, aircraft, industry, restaurant, sport facilities, construction work, playground)
Dzhambov et al. [34]	Bulgaria	Cross-sectional study	399 students aged 15-29	Psychiatric symptoms (GHQ-12)	Road traffic noise (L_{den}) Noise annoyance
Dzhambov et al. [53]	Bulgaria	Cross-sectional study	720 students aged 18-35	Psychiatric symptoms (GHQ-12)	Residential noise (L_{eq}) Noise annoyance
Evandt et al. [24]	Norway (HELMILO)	Cross-sectional study	12,138 urban residents	Insomnia (difficulties falling asleep, awakenings during the night, waking up too early), self-reported sleep medication use	Nighttime road traffic noise (L_{night})
Eze et al. [20]	Switzerland (SAPALDIA)	Cohort study	4,581 randomly selected subjects from 8 Swiss areas who attended the second and third visit of the SAPALDIA study	Incidence of depression	Road traffic, aircraft and railway noise (L_{den}) Transportation noise annoyance
Generaal et al. [19]	The Netherlands (NESDA)	Cross-sectional study	2,981 subjects (NESDA study population)	Presence of anxiety and depressive disorders (CIDI) Severity of anxiety (BAI, FQ) and depression (IDS)	Road-, rail-, air traffic noise (L_{den})
Hammersen et al. [35]	Germany (GEDA 2012)	Cross-sectional study	19,294 subjects aged 18-99	General psychopathology (MHI-5)	Noise annoyance (ICBEN recommendations)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Harbo Poulsen et al. [28]	Denmark	Cohort study	Dwellings within a radius of a 20-WT heights of a WT and dwellings situated 20-to-40-WT heights away: 583,968 for sleep medications, 584,891 for antidepressants	Sleep and antidepressant medications (Danish National Registry)	Indoor and outdoor wind turbine noise
He et al. [47]	Canada	Observational longitudinal study	140,456 pregnant women	Depression (ICD) or, when absent, other mental disorders	Overall noise (L_{eq24h}, L_{den}, L_{night})
Hjortebjerg et al. [44]	Denmark	Cohort study	46,940 7-year-old children	Parent-reported mental health problems (SDQ)	Road traffic noise (L_{den})
Jensen et al. [31]	Denmark	Cross-sectional study	26,837 adults living in multistorey housing	Psychological well-being and perceived stress (SF12, PSS)	Neighbor and traffic noise annoyance
Klompmaker et al. [26]	The Netherlands	Cross-sectional study	354,827 >19 year-old subjects	Psychological distress (K10) Prescription of anxiolytics and antidepressants	Road- and rail- traffic noise (L_{den}, L_{night})
Kou et al. [42]	China	Observational study	120 18-60 year old participants living in the community for at least 1 year	Psychological distress (GEMA)	Momentary measured noise, perceived noise (GEMA, activity travel diary, portable sensors)
Ma et al. [40]	China	Cross-sectional study	1,125 subjects aged 18-65	Mental health-related features (anxiety, fatigue, headache, sleep disorders, stress)	Perceived road- and rail- traffic noise, perceived commercial and house construction noise
Nazneen et al. [36]	Pakistan	Cross- sectional study	2,500 subjects with different occupations exposed to road traffic noise	Psychological well-being	Road traffic noise (L_{eq}, LNP, NC) Noise sensitivity, noise annoyance
Oiamo et al. [32]	Canada	Cross-sectional study	603 subjects selected from eight census tracts	Psychological well-being (SF12)	Road traffic noise (DNL) Noise annoyance, noise sensitivity
Okokon et al. [27]	Finland (HCREHS)	Cross-sectional study	7,321 respondents living in urban and surrounding areas	Sleep medications, anxiolytics and antidepressants use	Road traffic noise (façade noise maps) Noise annoyance
Seidler et al. [21]	Germany	Case-control study	1,026,670 subjects (77,295 cases, 578,246 controls), ≥ 40 years old	Depression (ICD)	Air-, rail-, road- traffic noise (L_{eq24h})
Shiue [39]	International study	Cross-sectional study	79,270 adults >18 years old living for > 6 years in a country	Psychological well-being, depression (WHO-5)	Perceived neighborhood noise (self-report)
Stansfeld et al. [38]	United Kingdom (Caerphilly Collaborative Heart Disease Study)	Cohort study (secondary analysis)	2,398 men aged 45-59	Psychiatric symptoms and psychological well-being (GHQ)	Road traffic noise (A-weighted sound pressure level, L_{eq}) Noise sensitivity (Weinstein's self report scale- 10 items) and noise annoyance
Sygna et al. [25]	Norway	Cross-sectional study	2,898 urban residents, 50.2% females, 49.8% males, 18-78 years old	Psychological distress (HSCL-25), sleep quality	Road traffic noise (Nordic prediction method of road traffic) Noise sensitivity

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tao et al. [30]	China	Observational study	101 subjects aged 18-60, 52.5% female, 47.5% males	Psychological distress (EMA)	Real-time noise levels (portable sensors)
Weyde et al. [43]	Norway (MoBa)	Cross-sectional study	2,000 7 year-old children	Parent-reported children sleep quality (questionnaire)	A-weighted evening and night-time road traffic noise (L_{eq})
Zijlema et al. [46]	The Netherlands (TRAILS)	Cross-sectional study	1,710 10-12 year-old children	ADHD diagnosis (DISC-IV parent version)	Road traffic noise at residence and school
Zock et al. [29]	The Netherlands	Cross-sectional study	4,450 residents from 135 small neighborhoods, 0 - ≥ years old	Psychiatric disorders (ICPC)	Road- and rail- traffic noise (L_{den})

Table 1. Studies included in the review. ADHD = Attention Deficit Hyperactivity Disorder; BAI = Beck Anxiety Inventory; CIDI = Composite International Diagnostic Interview; DISC-IV = Diagnostic Interview Schedule for Children; DNL = day-night average sound level; EMA = Ecological Momentary Assessment; FQ = Fear Questionnaire; GEMA = Geographic ecological momentary assessment; GHQ = General Health Questionnaire; HSCL-25 = Hopkins Symptom Checklist, 25 items; ICBEN = International Commission on Biological Effects of Noise; ICD = International Classification of Diseases; ICPC = International Classification of Primary Care; IDS = Inventory of Depression Symptomatology; K6 = Kessler Psychological Distress Scale, 6 items; K10 = Kessler Psychological Distress Scale, 10 items; L_{den} = Average sound level day-evening-night; L_{eq} = Average equivalent noise level; L_{eq24h}, $L_{eq\ 6\text{-}22}$ = L_{eq} during the indicated period; MHI-5: Mental Health Inventory, 5 items; SDQ = Strengths and Difficulties Questionnaire; SF12 = Short Form Health Survey 12 items; SF36 = Short Form Health Survey 36 items; SPSS = Perceived Stress Scale; WHO-5 = World Health Organization five well-being index.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

1. Dijkstra, L.; Poelman, H. A harmonized definition of cities and rural areas: the new degree of urbanization. Available online: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/2014_01_new_urban.pdf (accessed on Mar 26, 2021).
2. Attademo, L.; Bernardini, F. Air pollution and urbanicity: common risk factors for dementia and schizophrenia? *Lancet Planet. Heal.* **2017**, *1*, e90–e91, doi:10.1016/S2542-5196(17)30042-6.
3. Meng, X.; Liu, C.; Chen, R.; Sera, F.; Vicedo-Cabrera, A.M.; Milojevic, A.; Guo, Y.; Tong, S.; Coelho, M. de S.Z.S.; Saldiva, P.H.N.; et al. Short term associations of ambient nitrogen dioxide with daily total, cardiovascular, and respiratory mortality: multilocation analysis in 398 cities. *BMJ* **2021**, *372*, n534, doi:10.1136/bmj.n534.
4. Luan, Y.; Salvi, R.; Liu, L.; Lu, C.; Jiao, Y.; Tang, T.; Liu, H.; Teng, G.-J. High-frequency Noise-induced Hearing Loss Disrupts Functional Connectivity in Non-auditory Areas with Cognitive Disturbances. *Neurosci. Bull.* **2021**, doi:10.1007/s12264-021-00663-2.
5. Liu, S.; Lim, Y.H.; Pedersen, M.; Jørgensen, J.T.; Amini, H.; Cole-Hunter, T.; Mehta, A.J.; So, R.; Mortensen, L.H.; Westendorp, R.G.J.; et al. Long-term exposure to ambient air pollution and road traffic noise and asthma incidence in adults: The Danish Nurse cohort. *Environ. Int.* **2021**, *152*, doi:10.1016/j.envint.2021.106464.
6. Münzel, T.; Gori, T.; Babisch, W.; Basner, M. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *Eur. Heart J.* 2014, *35*.
7. Fritschi, L.; Brown, A.L.; Kim, R.; Schwela, D.H.; Kephalopoulos, S. *Burden of disease from environmental noise*; Bonn, Germany, 2011;
8. Khan, A.; Plana-Ripoll, O.; Antonsen, S.; Brandt, J.; Geels, C.; Landecker, H.; Sullivan, P.F.; Pedersen, C.B.; Rzhetsky, A. Environmental pollution is associated with increased risk of psychiatric disorders in the US and Denmark. *PLoS Biol.* **2019**, *17*, doi:10.1371/journal.pbio.3000353.
9. Abrahamyan Empson, L.; Baumann, P.S.; Söderström, O.; Codeluppi, Z.; Söderström, D.; Conus, P. Urbanicity: The need for new avenues to explore the link between urban living and psychosis. *Early Interv. Psychiatry* 2020, *14*, 398–409.
10. Bernardini, F.; Attademo, L.; Trezzi, R.; Gobbicchi, C.; Balducci, P.M.; Del Bello, V.; Menculini, G.; Pauselli, L.; Piselli, M.; Sciarma, T.; et al. Air pollutants and daily number of admissions to psychiatric emergency services: evidence for detrimental mental health effects of ozone. *Epidemiol. Psychiatr. Sci.* **2019**, *29*, e66, doi:10.1017/S2045796019000623.
11. Basner, M.; Babisch, W.; Davis, A.; Brink, M.; Clark, C.; Janssen, S.; Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 2014, *383*, 1325–1332.
12. Clark, C.; Crumpler, C.; Notley, H. Evidence for environmental noise effects on health for the United Kingdom policy context: A systematic review of the effects of environmental noise on mental health, wellbeing, quality of life, cancer, dementia, birth, reproductive outcomes, and cognition. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, doi:10.3390/ijerph17020393.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

13. Hunter, J.C.; Hayden, K.M. The association of sleep with neighborhood physical and social environment. *Public Health* 2018, *162*, 126–134.
14. Tregellas, J.R.; Ellis, J.; Shatti, S.; Du, Y.P.; Rojas, D.C. Increased Hippocampal, Thalamic, and prefrontal hemodynamic response to an urban noise Stimulus in Schizophrenia. *Am. J. Psychiatry* **2009**, *166*, 354–360, doi:10.1176/appi.ajp.2008.08030411.
15. Guski, R.; Schreckenberg, D.; Schuemer, R. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, *14*.
16. Hahad, O.; Prochaska, J.H.; Daiber, A.; Muenzel, T. Environmental Noise-Induced Effects on Stress Hormones, Oxidative Stress, and Vascular Dysfunction: Key Factors in the Relationship between Cerebrocardiovascular and Psychological Disorders. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2019, *2019*.
17. Hegewald, J.; Schubert, M.; Freiberg, A.; Starke, K.R.; Augustin, F.; Riedel-Heller, S.G.; Zeeb, H.; Seidler, A. Traffic noise and mental health: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, *17*, 1–26.
18. Dzhambov, A.M.; Lercher, P. Road traffic noise exposure and depression/anxiety: An updated systematic review and meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, *16*.
19. Generaal, E.; Timmermans, E.J.; Dekkers, J.E.C.; Smit, J.H.; Penninx, B.W.J.H. Not urbanization level but socioeconomic, physical and social neighbourhood characteristics are associated with presence and severity of depressive and anxiety disorders. *Psychol. Med.* **2019**, *49*, 149–161, doi:10.1017/s0033291718000612.
20. Eze, I.C.; Foraster, M.; Schaffner, E.; Vienneau, D.; Pieren, R.; Imboden, M.; Wunderli, J.M.; Cajochen, C.; Brink, M.; Röösli, M.; et al. Incidence of depression in relation to transportation noise exposure and noise annoyance in the SAPALDIA study. *Environ. Int.* **2020**, *144*, doi:10.1016/j.envint.2020.106014.
21. Seidler, A.; Hegewald, J.; Seidler, A.L.; Schubert, M.; Wagner, M.; Dröge, P.; Haufe, E.; Schmitt, J.; Swart, E.; Zeeb, H. Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. *Environ. Res.* **2017**, *152*, 263–271, doi:10.1016/j.envres.2016.10.017.
22. Díaz, J.; López-Bueno, J.A.; López-Ossorio, J.J.; González, J.L.; Sánchez, F.; Linares, C. Short-term effects of traffic noise on suicides and emergency hospital admissions due to anxiety and depression in Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* **2020**, *710*, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136315.
23. Alimohammadi, I.; Kanrash, F.A.; Abolaghasemi, J.; Afrazandeh, H.; Rahmani, K. Effect of chronic noise exposure on aggressive behavior of automotive industry workers. *Int. J. Occup. Environ. Med.* **2018**, *9*, 170–175, doi:10.15171/ijoem.2018.1375.
24. Evandt, J.; Oftedal, B.; Krog, N.H.; Nafstad, P.; Schwarze, P.E.; Aasvang, G.M. A population-based study on nighttime road traffic noise and insomnia. *Sleep* **2017**, *40*, doi:10.1093/sleep/zsw055.
25. Sygna, K.; Aasvang, G.M.; Aamodt, G.; Oftedal, B.; Krog, N.H. Road traffic noise, sleep and mental health. *Environ. Res.* **2014**, *131*, 17–24, doi:10.1016/j.envres.2014.02.010.
26. Klompmaker, J.O.; Hoek, G.; Bloemsma, L.D.; Wijga, A.H.; van den Brink, C.; Brunekreef, B.; Lebret,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

E.; Gehring, U.; Janssen, N.A.H. Associations of combined exposures to surrounding green, air pollution and traffic noise on mental health. *Environ. Int.* **2019**, *129*, 525–537, doi:10.1016/j.envint.2019.05.040.

27. Okokon, E.O.; Yli-Tuomi, T.; Turunen, A.W.; Tiittanen, P.; Juutilainen, J.; Lanki, T. Traffic noise, noise annoyance and psychotropic medication use. *Environ. Int.* **2018**, *119*, 287–294, doi:10.1016/j.envint.2018.06.034.
28. Poulsen, A.H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.; Hahmann, A.N.; Nordsborg, R.B.; Ketzel, M.; Brandt, J.; Sørensen, M. Impact of long-term exposure to wind turbine noise on redemption of sleep medication and antidepressants: A nationwide cohort study. *Environ. Health Perspect.* **2019**, *127*, doi:10.1289/EHP3909.
29. Zock, J.P.; Verheij, R.; Helbich, M.; Volker, B.; Spreeuwenberg, P.; Strak, M.; Janssen, N.A.H.; Dijst, M.; Groenewegen, P. The impact of social capital, land use, air pollution and noise on individual morbidity in Dutch neighbourhoods. *Environ. Int.* **2018**, *121*, 453–460, doi:10.1016/j.envint.2018.09.008.
30. Tao, Y.; Kou, L.; Chai, Y.; Kwan, M.P. Associations of co-exposures to air pollution and noise with psychological stress in space and time: A case study in Beijing, China. *Environ. Res.* **2020**, doi:10.1016/j.envres.2020.110399.
31. Jensen, H.A.R.; Rasmussen, B.; Ekholm, O. Neighbour and traffic noise annoyance: A nationwide study of associated mental health and perceived stress. *Eur. J. Public Health* **2018**, *28*, 1050–1055, doi:10.1093/eurpub/cky091.
32. Oiamo, T.H.; Luginaah, I.N.; Baxter, J. Cumulative effects of noise and odour annoyances on environmental and health related quality of life. *Soc. Sci. Med.* **2015**, *146*, 191–203, doi:10.1016/j.socscimed.2015.10.043.
33. Cerletti, P.; Eze, I.C.; Schaffner, E.; Foraster, M.; Viennau, D.; Cajochen, C.; Wunderli, J.M.; Röösli, M.; Stolz, D.; Pons, M.; et al. The independent association of source-specific transportation noise exposure, noise annoyance and noise sensitivity with health-related quality of life. *Environ. Int.* **2020**, *143*, doi:10.1016/j.envint.2020.105960.
34. Dzhambov, A.; Tilov, B.; Markevych, I.; Dimitrova, D. Residential road traffic noise and general mental health in youth: The role of noise annoyance, neighborhood restorative quality, physical activity, and social cohesion as potential mediators. *Environ. Int.* **2017**, *109*, 1–9, doi:10.1016/j.envint.2017.09.009.
35. Hammersen, F.; Niemann, H.; Hoebel, J. Environmental noise annoyance and mental health in adults: Findings from the cross-sectional German health update (GEDA) study 2012. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2016**, *13*, doi:10.3390/ijerph13100954.
36. Nazneen, S.; Raza, A.; Khan, S. Assessment of noise pollution and associated subjective health complaints and psychological symptoms: analysis through structure equation model. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, *27*, 21570–21580, doi:10.1007/s11356-020-08655-x.
37. Baudin, C.; Lefèvre, M.; Champelovier, P.; Lambert, J.; Laumon, B.; Evrard, A.S. Aircraft noise and psychological Ill-health: The results of a cross-sectional study in France. *Int. J. Environ. Res. Public*

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Health **2018**, *15*, doi:10.3390/ijerph15081642.
38. Stansfeld, S.; Clark, C.; Smuk, M.; Gallacher, J.; Babisch, W. Road traffic noise, noise sensitivity, noise annoyance, psychological and physical health and mortality. *Environ. Heal.* **2021**, *20*, 32, doi:10.1186/s12940-021-00720-3.
39. Shiue, I. Neighborhood epidemiological monitoring and adult mental health: European Quality of Life Survey, 2007–2012. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2015**, *22*, 6095–6103, doi:10.1007/s11356-014-3818-3.
40. Ma, J.; Li, C.; Kwan, M.P.; Chai, Y. A multilevel analysis of perceived noise pollution, geographic contexts and mental health in Beijing. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, doi:10.3390/ijerph15071479.
41. Guo, Q.; Zheng, Y.; Shi, J.; Wang, J.; Li, G.; Li, C.; Fromson, J.A.; Xu, Y.; Liu, X.; Xu, H.; et al. Immediate psychological distress in quarantined patients with COVID-19 and its association with peripheral inflammation: A mixed-method study. *Brain. Behav. Immun.* **2020**, *88*, 17–27, doi:10.1016/j.bbi.2020.05.038.
42. Kou, L.; Tao, Y.; Kwan, M.P.; Chai, Y. Understanding the relationships among individual-based momentary measured noise, perceived noise, and psychological stress: A geographic ecological momentary assessment (GEMA) approach. *Heal. Place* **2020**, *64*, doi:10.1016/j.healthplace.2020.102285.
43. Weyde, K.V.; Krog, N.H.; Oftedal, B.; Evandt, J.; Magnus, P.; Øverland, S.; Clark, C.; Stansfeld, S.; Aasvang, G.M. Nocturnal road traffic noise exposure and children's sleep duration and sleep problems. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2017**, *14*, doi:10.3390/ijerph14050491.
44. Hjortebjerg, D.; Andersen, A.M.N.; Christensen, J.S.; Ketzel, M.; Raaschou-Nielsen, O.; Sunyer, J.; Julvez, J.; Forns, J.; Sørensen, M. Exposure to road traffic noise and behavioral problems in 7-year-old children: A cohort study. *Environ. Health Perspect.* **2016**, *124*, 228–234, doi:10.1289/ehp.1409430.
45. Dreger, S.; Meyer, N.; Fromme, H.; Bolte, G.; Hendrowarsito, L.; Frieß-Hesse, T.; Lang, F.; Schmid, R.; Winter, G.; Gampenrieder, C.; et al. Environmental noise and incident mental health problems: A prospective cohort study among school children in Germany. *Environ. Res.* **2015**, *143*, 49–54, doi:10.1016/j.envres.2015.08.003.
46. Zijlema, W.L.; de Kluizenaar, Y.; van Kamp, I.; Hartman, C.A. Associations between road traffic noise exposure at home and school and ADHD in school-aged children: the TRAILS study. *Eur. Child Adolesc. Psychiatry* **2021**, *30*, 155–167, doi:10.1007/s00787-020-01521-8.
47. He, S.; Smargiassi, A.; Low, N.; Bilodeau-Bertrand, M.; Ayoub, A.; Auger, N. Residential noise exposure and the longitudinal risk of hospitalization for depression after pregnancy: Postpartum and beyond. *Environ. Res.* **2019**, *170*, 26–32, doi:10.1016/j.envres.2018.12.001.
48. Tsai, W.L.; McHale, M.R.; Jennings, V.; Marquet, O.; Hipp, J.A.; Leung, Y.F.; Floyd, M.F. Relationships between characteristics of urban green land cover and mental health in U.S. metropolitan areas. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, doi:10.3390/ijerph15020340.
49. Hoisington, A.J.; Stearns-Yoder, K.A.; Schuldt, S.J.; Beemer, C.J.; Maestre, J.P.; Kinney, K.A.;

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Postolache, T.T.; Lowry, C.A.; Brenner, L.A. Ten questions concerning the built environment and mental health. *Build. Environ.* **2019**, *155*, 58–69, doi:10.1016/j.buildenv.2019.03.036.

50. Bernardini, F.; Attademo, L.; Rotter, M.; Compton, M.T. Social Determinants of Mental Health As Mediators and Moderators of the Mental Health Impacts of the COVID-19 Pandemic. *Psychiatr. Serv.* **2021**, appi.ps.2020003, doi:10.1176/appi.ps.202000393.
51. Alimohammadi, I.; Kanrash, F.A.; Abolaghasemi, J.; Afrazandeh, H.; Rahmani, K. Effect of chronic noise exposure on aggressive behavior of automotive industry workers. *Int. J. Occup. Environ. Med.* **2018**, *9*, 170–175, doi:10.15171/ijoem.2018.1375.
52. Chen, Y.; Jones, C.; Dunse, N. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) and psychological distress in China: Does neighbourhood matter? *Sci. Total Environ.* **2021**, *759*, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144203.
53. Dzhambov, A.M.; Markevych, I.; Tilov, B.; Arabadzhiev, Z.; Stoyanov, D.; Gatseva, P.; Dimitrova, D.D. Pathways linking residential noise and air pollution to mental ill-health in young adults. *Environ. Res.* **2018**, *166*, 458–465, doi:10.1016/j.envres.2018.06.031.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Rumore di fondo nelle aule scolastiche e apprendimento degli studenti della scuola primaria

Chiara Visentin*, Matteo Pellegatti e Nicola Prodi

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara, via Saragat 1, 44122 Ferrara (Italia)

* Autore di riferimento. E-Mail: chiara.visentin@unife.it

Abstract: Sentire correttamente, comprendere e memorizzare le spiegazioni dell'insegnante sono aspetti essenziali nei processi di apprendimento che si svolgono all'interno delle aule scolastiche. Spesso le aule scolastiche presentano un rumore di fondo troppo elevato (o con caratteristiche spettro-temporali sfavorevoli) che ostacola gli studenti nello svolgimento dei compiti scolastici. Gli effetti negativi di una cattiva acustica nelle aule scolastiche sono particolarmente evidenti per gli studenti della scuola primaria, ovvero per quella fascia di età in cui vengono sviluppate abilità-chiave dal punto di vista cognitivo, linguistico e accademico. In questo studio viene indagato l'effetto del rumore di fondo su un compito di ragionamento matematico. Il compito è stato proposto a studenti della scuola primaria e della scuola secondaria di primo grado, sia in condizioni di quiete che in presenza di un rumore di fondo (sovrapposizione di voci di più bambini che parlano contemporaneamente). La performance in ciascun compito viene quantificata considerando la percentuale di risposte corrette e il tempo impiegato a rispondere, indicativo della mobilizzazione di risorse cognitive necessarie per svolgere il compito. Agli studenti sono inoltre proposti questionari sviluppati ad hoc per indagare (a) percezione dell'ambiente sonoro scolastico (tipologia di sorgenti sonore, disturbo percepito, effetti del rumore durante l'apprendimento), (b) benessere all'interno dell'ambiente scolastico, (c) sensibilità al rumore. Le informazioni raccolte tramite i questionari potranno essere utilizzare da un lato per meglio caratterizzare il legame tra rumore di fondo e percezione dell'ambiente sonoro da parte dei bambini, dall'altro per ottimizzare le condizioni di apprendimento degli studenti all'interno delle loro aule.

Keywords: rumore; aule scolastiche; bambini; matematica; tempo di risposta; valutazione soggettiva

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

Le condizioni acustiche negli ambienti destinati all'apprendimento sono di fondamentale importanza per gli studenti che li occupano. All'interno di tali ambienti bambini e ragazzi ricevono istruzioni verbali, eseguono compiti ed interagiscono con compagni ed insegnanti. Diversi studi mostrano come un'acustica non adeguata abbia effetti negativi sulla percezione della parola [1,2], sull'attenzione e sulla motivazione degli studenti [3], ma anche sull'apprendimento, sia nelle competenze di letto-scrittura, come la comprensione di un testo scritto [4] che sull'esecuzione di un compito matematico [5,6].

I compiti matematici in particolare, si basano sulla mobilizzazione di una varietà di risorse cognitive. La risoluzione di un problema si basa su una sequenza di step che richiedono sia abilità generali (es: memoria di lavoro, attenzione) che specifiche del dominio matematico (fatti matematici, comprensione di principi procedurali) [7]. La presenza di rumore di fondo, anche ad un rapporto segnale-rumore favorevole, può interferire con i processi cognitivi necessari per l'esecuzione di un compito matematico (es: memorizzazione e recupero di risultati parziali nel calcolo a mente), portando ad una diminuzione della performance nel compito. Tali effetti sono stati studiati principalmente in riferimento ad una popolazione adulta [8], mentre solo alcuni studi si sono occupati degli studenti di scuola primaria e secondaria con risultati tra loro contrastanti [5,9,10].

Le normative tecniche regolamentano il livello di rumore di fondo all'interno delle aule (ad esempio [11]) specie per quanto riguarda i fattori esterni ed impiantistici, ma i livelli misurati durante le ore di lezione risultano spesso troppo elevati [6] principalmente per la presenza stessa degli studenti (es: chiacchierio). Infatti in [12] si osserva come studenti della scuola primaria e secondaria di primo grado trascorrano quasi il 90% del tempo in aula ascoltando l'insegnante in presenza di rumore di fondo. Gli effetti negativi del rumore sui compiti scolastici risultano maggiori per gli studenti della scuola primaria, le cui abilità cognitive, linguistiche e accademiche sono ancora in via di sviluppo [13] e permettono di raggiungere un livello "adulto" nella ricezione del parlato intorno ai 13-14 anni di età, a seconda delle caratteristiche spettro-temporali del rumore di fondo [14].

Gli studenti sono sensibili agli effetti del rumore di fondo sull'apprendimento, e sono in grado di discriminarli. Ad esempio, gli studenti della scuola primaria discriminano riconoscono ambienti acusticamente favorevoli o sfavorevoli in funzione dell'attività scolastica svolta al loro interno, sono in grado di dare un giudizio affidabile in relazione all'*annoyance* causata da rumore [15]. Allo stesso modo, studenti della scuola secondaria riportano in maniera consistente come un ambiente acusticamente sfavorevole porti ad un calo nella concentrazione [16] e la presenza di rumore aeroportuale durante le lezioni porti ad effetti negativi sull'attenzione [17].

La complessità della percezione soggettiva dell'ambiente sonoro può essere indagata tramite l'utilizzo di questionari [18,19] che permettono di (i) indentificare le caratteristiche individuali che concorrono alla valutazione dell'ambiente sonoro (es: abilità linguistiche, età), e (ii) mettere in relazione le valutazioni soggettive dell'ambiente sonoro con i parametri acustici oggettivi misurati nelle aule. La valutazione soggettiva della qualità acustica dipende peraltro dalle caratteristiche individuali, ad esempio di sensibilità al rumore. Entrambi gli aspetti infine modulano l'impatto del rumore

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

sull'esperienza di ascolto [20]. La considerazione delle valutazioni soggettive e delle caratteristiche individuali risulta quindi fondamentale per informare la progettazione acustica degli ambienti scolastici ma non solo, infatti simili informazioni possono essere preziose anche per la gestione della classe da un punto di vista pedagogico-educativo [21].

Lo scopo di questo lavoro è indagare (i) se e come la presenza di rumore in aula influenza la performance di studenti di 10 e 12 anni in un compito di ragionamento numerico, (ii) se il rumore ha un effetto differente sulla performance in funzione dell'età degli studenti, e (iii) impiegare un questionario elaborato ad hoc per raccogliere le valutazioni soggettive degli studenti, sia rispetto al compito che all'ambiente acustico dell'aula scolastica.

2. Materiali e metodi

2.1 Partecipanti

L'esperimento è stato presentato a 95 studenti, appartenenti a cinque diverse classi di due istituti comprensivi della città di Ferrara. In particolare, hanno partecipato due classi quinte della scuola primaria, e tre classi seconde della scuola secondaria di primo grado. Studenti con ipoacusia o disabilità certificata sono stati esclusi dalle analisi.

Le caratteristiche del campione finale di studenti incluso nelle analisi sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1. Caratteristiche degli studenti che hanno partecipato all'esperimento. In parentesi è riportata la deviazione standard riferita all'età.

Classe	# classi	# studenti	% femmine	Età
quinta (scuola primaria)	2	30	47	10.2 (0.5)
seconda (scuola secondaria di primo grado)	3	59	42	12.6 (0.7)

2.2 Compiti sperimentali

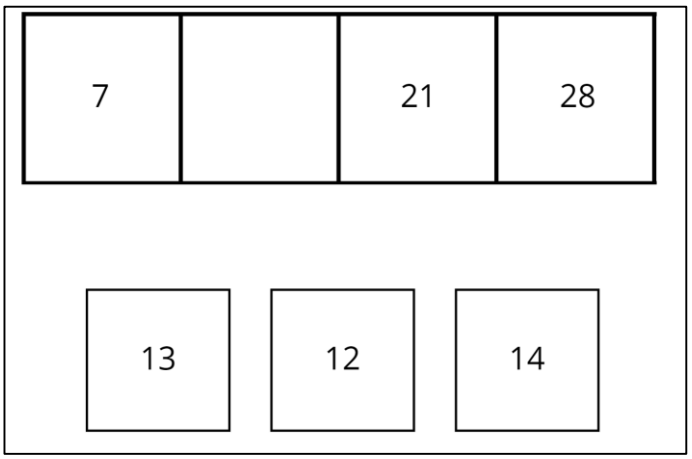
2.2.1 Ragionamento numerico

Nel compito di ragionamento numerico, agli studenti è stato richiesto di completare delle sequenze di quattro numeri, in cui mancava un elemento. Gli studenti dovevano individuare la regola alla base della sequenza e scegliere la risposta corretta tra tre possibili opzioni (Figura 1). Per l'esperimento sono stati creati tre set di 12 sequenze, controbilanciati per tipologia e complessità delle sequenze proposte. L'ordine di presentazione delle sequenze all'interno di ciascun set è stato randomizzato. Il tempo massimo per completare ciascuna sequenza è stato fissato in 15 secondi. Trascorso questo tempo, veniva automaticamente presentata la sequenza successiva.

Per ciascuna sequenza sono stati registrati la risposta (corretta/sbagliata) e il tempo di risposta (RT), definito come il tempo trascorso tra il momento della presentazione della sequenza e la selezione di una risposta sul tablet.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

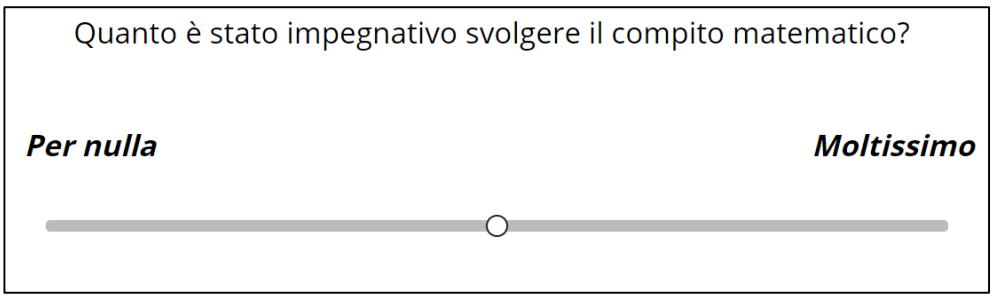
Figura 1. Esempio di una sequenza di ragionamento numerico, basata sulla tabellina del sette.



2.2.2 Valutazione soggettiva del compito svolto

Al fine di acquisire informazioni sulla percezione soggettiva degli studenti in riferimento al compito svolto e alle condizioni di ascolto, al termine di ciascun set di sequenze sono state presentate 10 domande relative ai seguenti aspetti: (i) mobilizzazione delle risorse cognitive (es: *"Quanto è stato impegnativo svolgere il compito?"*), (ii) motivazione (es: *"Quanto è stato interessante il compito?"*), (iii) meta-cognizione (es: *"Quanto sei sicuro delle risposte che hai dato?"*). In Figura 2 è riportato un esempio di domanda di valutazione soggettiva. La valutazione è stata fornita utilizzando una *visual analog scale* (VAS) a 100 punti. Ancore di valutazione semantiche sono state presentate alle due estremità della scala.

Figura 2. Valutazione soggettiva del compito di ragionamento numerico.



2.2.3 Valutazione dell'ambiente scolastico e della sensibilità soggettiva, del benessere e dell'ergonomia

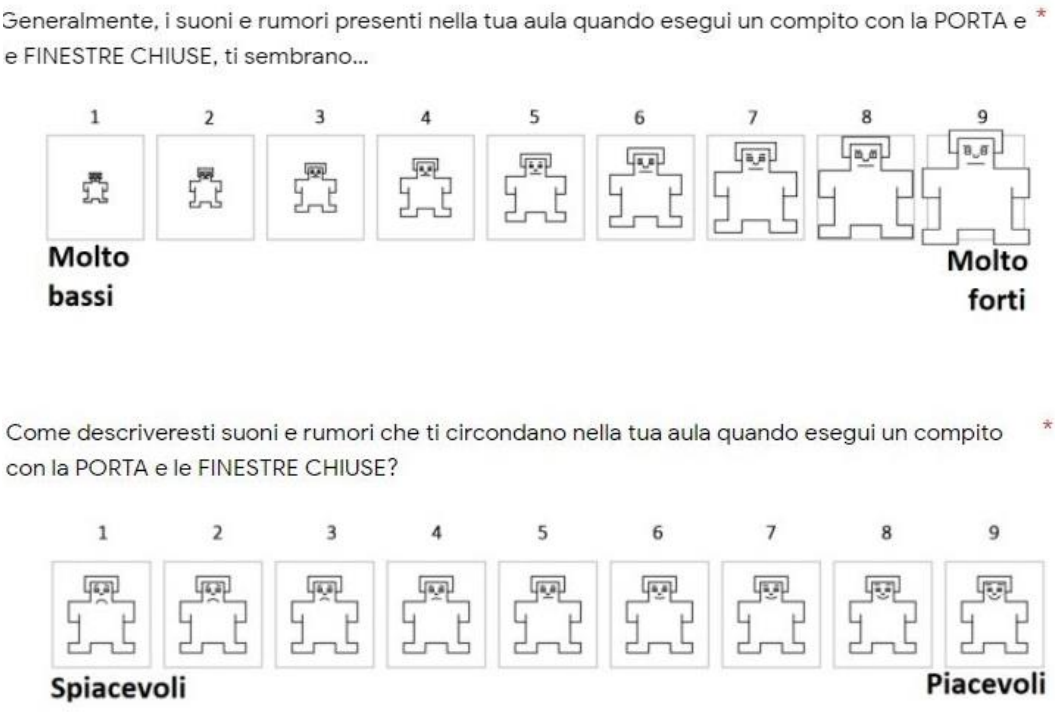
Il questionario è stato creato *ad hoc* per il presente studio, con lo scopo di creare uno strumento che permettesse la valutazione di aspetti soggettivi legati alla percezione dell'ambiente sonoro dell'aula scolastica. In particolare, il questionario comprende le seguenti sezioni:

1. Dati generali.
2. Valutazione dell'ambiente sonoro in aula durante le lezioni. Le risposte sono state fornite utilizzando la scala a nove punti Self-Assessment Manikin (SAM), riportata in Figura 3.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

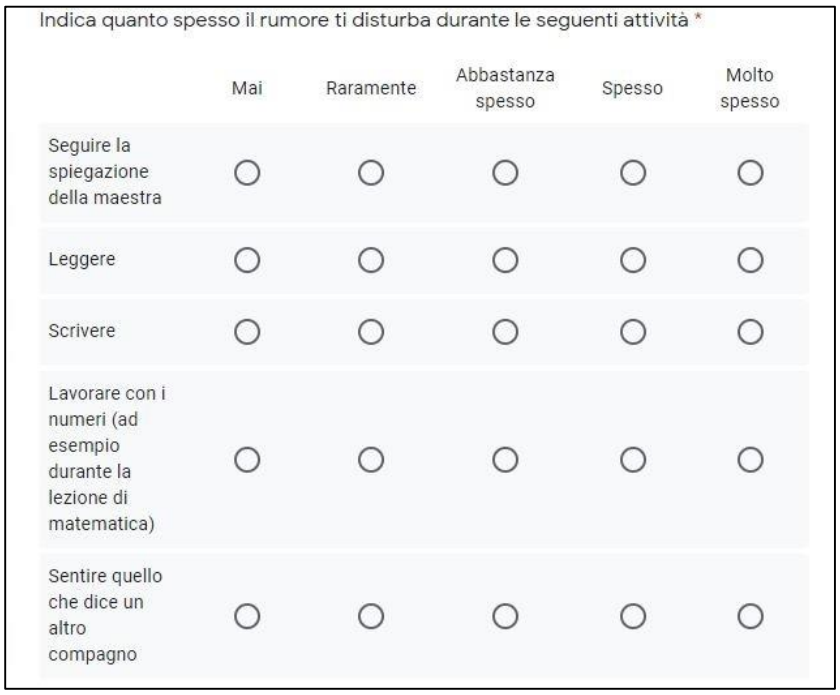
3. Effetti percepiti del rumore del rumore (Figura 4). Le domande sono state in parte riprese da [18,19].
4. Valutazione di suoni e rumori specifici. Sono state considerate tre diverse categorie: suoni e rumori esterni alla classe e alla scuola (es: autoveicoli), suoni e rumori esterni alla classe ma interni alla scuola (es: voci e passi nei corridoi), suoni e rumori interni alla classe (es: voci dei compagni).
5. Sensibilità al rumore (da [22])
6. Benessere (da [23])
7. Ergonomia. Le domande di questa sezione riguardano gli aspetti termo-igrometrici e illuminotecnici dell'ambiente aula (da [24]) e la valutazione dell'ergonomia in riferimento a zaino e dotazione di sedie a banchi.

Figura 3. Esempi di domande presenti nel questionario nella sezione di valutazione di suoni e rumori nell'aula durante la lezione.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 4. Esempio di domanda inclusa nel questionario nella sezione sugli effetti percepiti del rumore.


Indica quanto spesso il rumore ti disturba durante le seguenti attività *

	Mai	Raramente	Abbastanza spesso	Spesso	Molto spesso
Seguire la spiegazione della maestra	○	○	○	○	○
Leggere	○	○	○	○	○
Scrivere	○	○	○	○	○
Lavorare con i numeri (ad esempio durante la lezione di matematica)	○	○	○	○	○
Sentire quello che dice un altro compagno	○	○	○	○	○

2.3 Condizioni di ascolto

Il compito di ragionamento numerico è stato presentato agli studenti in tre condizioni di ascolto: quiete (Q), due parlatori concomitanti (2P) e quattro parlatori concomitanti (4P). Nella condizione di quiete non è stato riprodotto alcun rumore durante l'esecuzione del compito. Nelle due condizioni 2P e 4P il rumore di fondo è stato riprodotto in continuo per tutta la durata del set di sequenze di ragionamento numerico. Non è stato riprodotto durante la fase di valutazione soggettiva.

Per la creazione dei rumori di fondo 2P e 4P sono stati registrati quattro bambini (tre femmine) di età compresa tra i 7 e gli 11 anni, all'interno della Camera Anecoica dell'Università di Ferrara. Ciascun bambino è stato registrato separatamente mentre leggeva un capitolo di un libro. Le registrazioni sono state eseguite usando un registratore multitraccia (Zoom H4n) collegato ad un laptop. Successivamente, ciascuna registrazione è stata regolata in ampiezza al medesimo livello in dB(A).

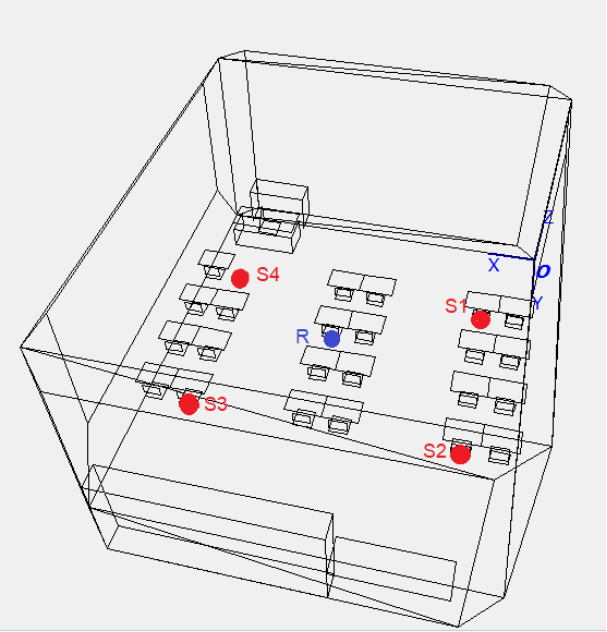
Sono state simulate le BRIRs con cui convolvere il materiale anecoico registrato, utilizzando il software di CAD acustico Odeon. In particolare, è stata realizzato il modello di un'aula scolastica di dimensioni 6.0 x 8.8 x 4.2 m (volume: 256 m^3), con un tempo di riverberazione alle frequenze medie pari a 0.73 s. Il tempo di riverberazione è stato scelto in accordo al tempo ottimale definito nella norma tecnica UNI 11532-2:2020 [11]. In Figura 5 è riportata la geometria dell'ambiente simulato e le posizioni del ricevitore e delle sorgenti. Il ricevitore (R) è stato posizionato un metro oltre la mezzeria della classe, mentre le sorgenti (S1, S2, S3, S4) sono state posizionate nei banchi di estremità a un metro di distanza dal muro, rivolte verso il ricevitore. Alle sorgenti S1–S4 è stata assegnata la direttività delle voce umana. Al termine della simulazione sono state ricavate le BRIRs per ciascuna delle quattro posizioni sorgente.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Le registrazioni anecoiche sono quindi state convolute per le BRIRs. Per la condizione 2P sono state utilizzate solo le sorgenti S2 ed S4; per la condizione 4P tutte le sorgenti S1–S4. I segnali convoluti sono quindi stati mixati, ottenendo i rumori di fondo per il compito sperimentale.

Poiché la riproduzione del rumore di fondo è avvenuta tramite cuffie (Sony MDR-ZX310) collegate al tablet, i segnali audio sono stati convoluti per il filtro di equalizzazione delle cuffie. Il sistema di riproduzione (tablet con volume fissato e cuffie) è stato calibrato posizionando le cuffie su un manichino B&K 4100. Il livello sonoro del rumore di fondo alle orecchie dell'ascoltatore è stato fissato a 55 dB(A).

Figura 5. Aula scolastica simulata: posizione del ricevitore (R) e delle quattro sorgenti sonore (S1–S4) corrispondenti ai parlatori concomitanti.



2.4 Procedura

Per il compito di ragionamento numerico è stato adottato un disegno sperimentale di tipo *within-subjects* in cui a tutti gli studenti è stato presentato il compito nelle tre condizioni di ascolto. L'ordine delle condizioni di ascolto (e il set di sequenze) è stato randomizzato tra i partecipanti di ciascuna classe.

L'esperimento è stato eseguito nel mese di marzo 2021. In una prima sessione (di circa 30 minuti) agli studenti è stato proposto il compito di ragionamento matematico. Gli studenti hanno svolto il compito collettivamente nella loro aula. Le istruzioni sono state fornite agli studenti dagli sperimentatori, collegati in videoconferenza con la classe. Prima del compito agli studenti sono state presentate due sequenze numeriche di prova, quindi hanno completato tre test, uno per ciascuna condizione di ascolto. Per garantire l'anonimità dei risultati a ciascuno studente è stato assegnato un codice alfanumerico da inserire sul tablet prima di eseguire ogni compito dell'esperimento. La corrispondenza tra codice alfanumerico e identità dello studente era nota ai soli insegnanti.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

A causa dell'emergenza pandemica la seconda sessione, in cui gli studenti hanno svolto in questionario, si è svolta da casa con il dispositivo personale di ciascuno studente.

Il compito di ragionamento matematico è stato implementato utilizzando la piattaforma on line Gorilla (www.gorilla.sc), che ha permesso di realizzare le diverse parti del compito, controllare la riproduzione audio, inviare il compito a ciascun partecipante tramite link, e quindi raccogliere i dati. Il questionario è stato implementato in una versione online utilizzando Google Moduli.

3. Risultati

I risultati presentati nelle sezioni seguenti si riferiscono ad un'analisi preliminare dei dati raccolti, basati sulla sola statistica descrittiva.

3.1 Ragionamento numerico

Per ciascuna condizione di ascolto sono stati considerati i seguenti output: (i) percentuale di risposte corrette, (ii) tempo di risposta, (iii) valutazione soggettiva riferita alla domanda "Quanto è stato impegnativo svolgere il compito matematico?". I risultati sono rappresentati nella Figura 6, suddivisi per età dei partecipanti (10 anni: quinta elementare; 12 anni: seconda media).

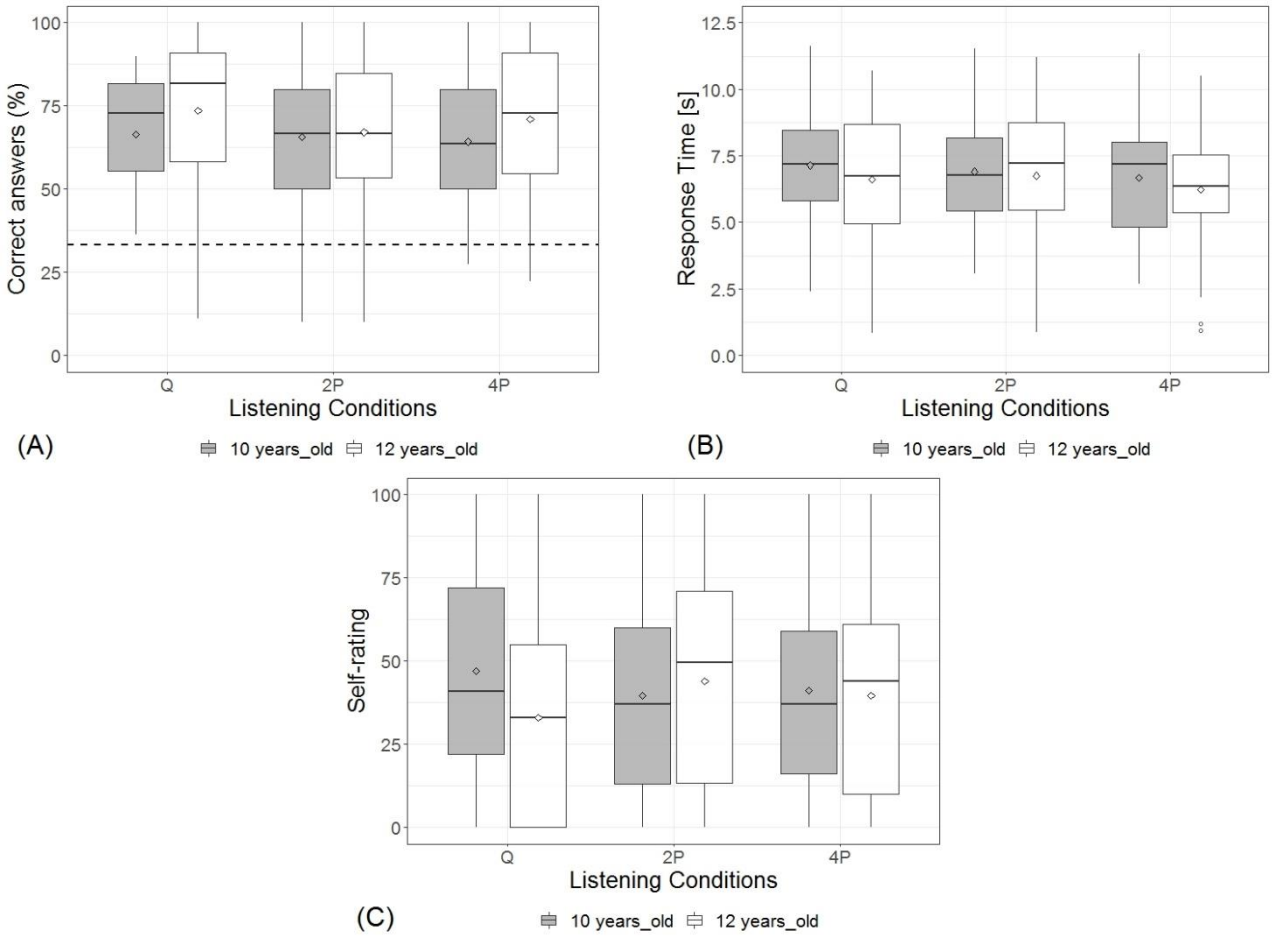
I risultati in Figura 6A indicano come la percentuale di risposte corrette sia in media tra il 60 e il 75%, per entrambi i gruppi di studenti. L'accuratezza nel compito è inferiore alla soglia di risposta casuale nel 6.7% dei casi. Si osserva una tendenza degli studenti di 12 anni ad una maggiore accuratezza nelle risposte rispetto agli studenti di 10 anni, nelle condizioni di ascolto Q e 4P (aumento di 7 punti percentuali). Nella condizione 2P, non si osservano differenze nella performance dei due gruppi. Per quanto riguarda l'effetto della condizione di ascolto, per gli studenti più giovani non si osservano differenze tra l'esecuzione del compito in quiete o in presenza di rumore o nelle diverse condizioni di rumore. Per gli studenti più grandi si osserva invece una lieve diminuzione della performance dalla condizione di quiete alla condizione 4P, e una più marcata riduzione nella condizione 2P.

I risultati dei tempi di risposta (Figura 6B) mostrano una tendenza verso tempi di risposta più lenti per gli studenti più giovani, più marcata nelle condizioni Q e 4P in cui la differenza risulta pari a 500 ms. Per entrambi i gruppi di studenti si osserva una riduzione del tempo di risposta nella condizione 4P, rispetto alle due condizioni Q e 2P (10 anni: 345 ms; 12 anni: 460 ms).

Figura 6C illustra i risultati della valutazione soggettiva. Mentre per gli studenti di 10 anni non si osservano differenze nella valutazione nelle tre condizioni di ascolto, gli studenti di 12 anni valutano come meno impegnativa l'esecuzione del compito in quiete rispetto alla presenza di rumore. In riferimento all'effetto dell'età si osservano una differenza nella valutazione solo nella condizione Q, che gli studenti più grandi valutano come meno impegnativa rispetto agli studenti di 10 anni (differenza: 14 punti).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 6. Risultati del compito di ragionamento numerico, per condizione di ascolto (Q: quiete, 2P: due parlatori concomitanti, 4P: quattro parlatori concomitanti) ed età: (A) percentuale di risposte corrette, (B) tempo di risposta, (C) valutazione soggettiva "Quanto è stato impegnativo svolgere il compito matematico?". Nei boxplot la linea continua rappresenta la mediana, il cerchio rappresenta il valore medio.



3.2 Questionari

Per i questionari sono state analizzate le risposte alle seguenti domande della sezione 2:

1. Generalmente, i suoni e rumori presenti nella tua aula quando esegui un compito con la PORTA e le FINESTRE CHIUSE, ti sembrano… (molto bassi – molto forti)
2. Come descriveresti suoni e rumori che ti circondano nella tua aula quando esegui un compito con la PORTA e le FINESTRE CHIUSE? (spiacevoli – piacevoli)

Per entrambe le domande la risposta è stata fornita su scala SAM a 9 punti. Nel seguito le due domande sono identificate come "dominanza" e "valenza". Sono state inoltre analizzate le risposte alle seguenti domande della sezione 3:

3. C'è rumore in aula. Quanto sono vere le seguenti affermazioni?
   - Perdo facilmente la concentrazione
   - Non imparo come se ci fosse silenzio
   - Non mi impegno come se ci fosse silenzio

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- Devo impegnarmi maggiormente per svolgere un compito
- Mi sento più stanco a fine lezione

4. Indica quanto spesso il rumore ti disturba durante le seguenti attività:
   - Seguire la spiegazione della maestra
   - Leggere
   - Scrivere
   - Lavorare con i numeri
   - Sentire quello che dice un altro compagno

Per entrambe le domande la risposta è stata fornita su scala categoriale a 5 livelli (per niente – molto, mai – spesso).

Tutte le risposte sono state convertite su scala numerica a 9 o 5 punti. Valori più bassi corrispondono rispettivamente a (1) suoni e rumori più bassi, (2) suoni e rumori percepiti come più spiacevoli, (3) affermazioni su cui lo studente non è molto d'accordo, (4) attività disturbate poco frequentemente da suoni e rumori. Nelle Figure 7–9 sono rappresentati i risultati in funzione dell'età degli studenti che hanno compilato il questionario.

Figura 7 illustra i risultati relativi alla dominanza (Figura 7A) e alla valenza (Figura 7B) dei suoni e dei rumori che gli studenti sentono in aula durante la lezione. Non si osservano differenze nelle valutazioni di studenti di età diversa. Entrambi i gruppi valutano l'ambiente sonoro come tendenzialmente poco rumoroso, e costituito da suoni e rumori senza una valenza specifica (né piacevoli né spiacevoli).

Figura 7. Risultati medi (e intervallo di confidenza al 95%) relativi alle domande 1 e 2: (A) dominanza dei suoni e rumori (scala da *molto piano* a *molto forte*), (B) valenza di suoni e rumori (scala da *spiacevole* a *piacevole*).

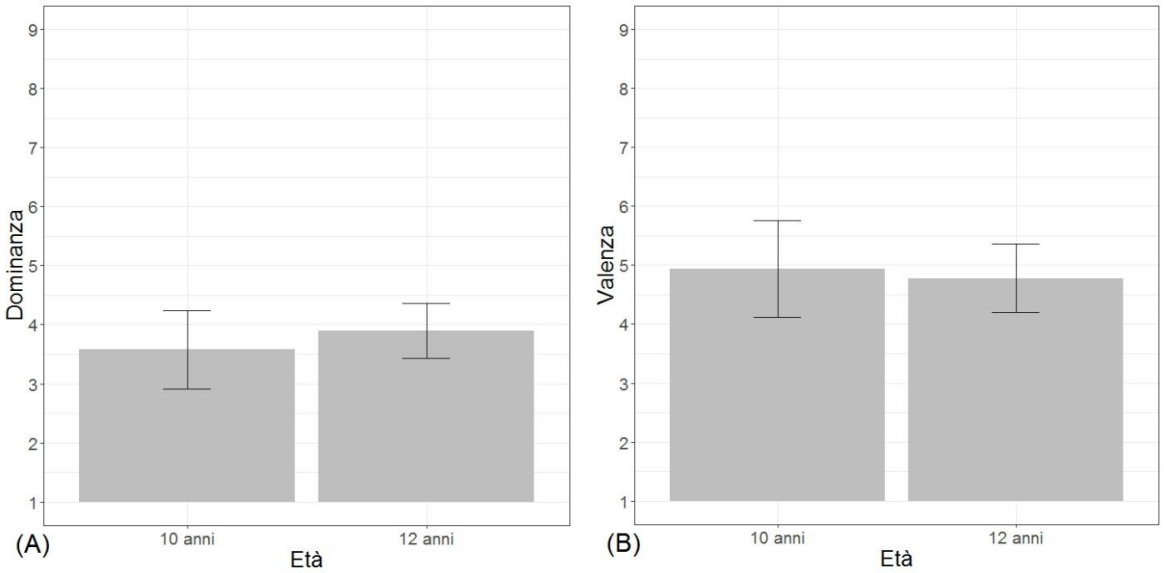


Figura 8 illustra i risultati relativi a come gli studenti percepiscono il disturbo generato dal rumore in aula. Gli studenti di 12 anni riportano una maggiore incidenza del rumore sul loro comportamento rispetto agli studenti di 10 anni. Per entrambi i gruppi l'aspetto su cui il rumore risulta avere maggior impatto è la perdita di concentrazione.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 8. Risultati medi (e intervallo di confidenza al 95%) relativi alla domanda 3: "C'è rumore in aula. Quanto sono vere le seguenti affermazioni?" (scala da *per niente* a *molto*).

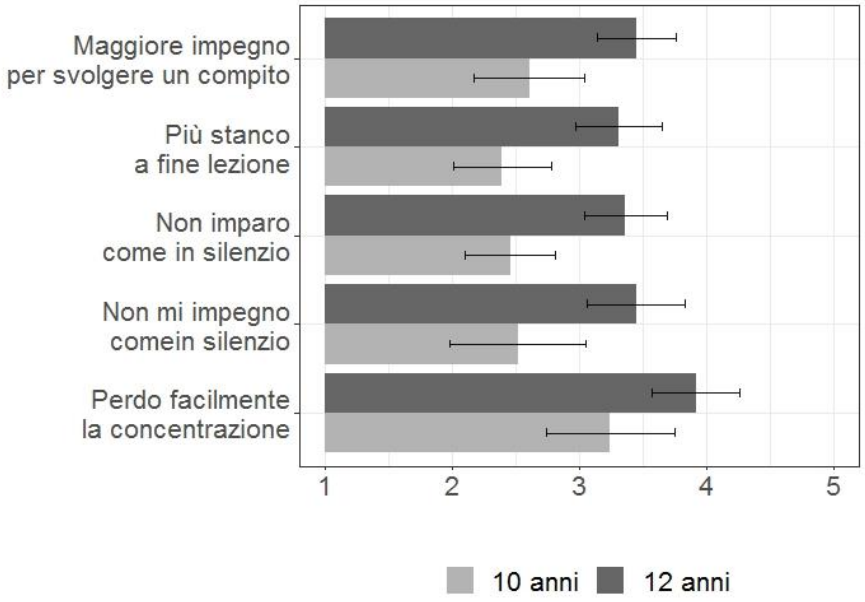
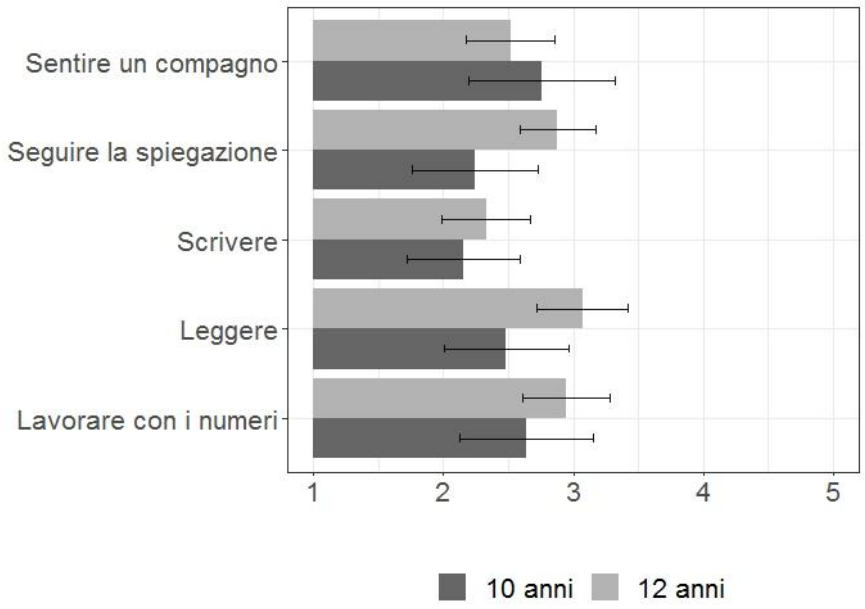


Figura 9 illustra i risultati relativi alla frequenza con cui il rumore in aula interrompe alcune attività svolte in classe (lavorare con i numeri, leggere, scrivere, seguire la spiegazione dell'insegnante, sentire un compagno che parla). Si osserva che i ragazzi di 12 anni tendono ad indicare che le attività scolastiche sono disturbate dal rumore con una maggiore frequenza rispetto agli studenti di 10 anni. Le attività maggiormente disturbate sono lavorare con i numeri (entrambe le età), sentire un compagno che parla (studenti di 10 anni) e la lettura (studenti di 12 anni).

Figura 9. Risultati medi (e intervallo di confidenza al 95%) relativi alla domanda 4: "Indica quanto spesso il rumore ti disturba durante le seguenti attività:" (scala da mai a spesso).



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Discussione

I primi due scopi di questo studio riguardavano l'effetto del rumore di fondo e dell'età sulla performance di studenti di 10 e 12 anni in un compito di ragionamento numerico. La statistica descrittiva dei risultati mostra come l'effetto dell'età risulti abbastanza debole, sia in riferimento alla percentuale di risposte corrette, che al tempo di risposta (considerato come misura della velocità di processamento, ovvero della mobilizzazione di risorse cognitive per l'esecuzione del compito). Si osserva tuttavia una tendenza verso una maggiore accuratezza e tempi di risposta più brevi per studenti di 12 anni rispetto agli studenti di 10. Il risultato sarebbe in accordo con gli studi di letteratura che indicano come gli studenti più giovani siano più vulnerabili agli effetti negativi del rumore, per effetto di una minore capacità nell'allocare le risorse cognitive e dirigere le risorse attenzionali [25]. La tendenza osservata si limita comunque alle due condizioni Q e 4P. Nella condizione 2P, la performance degli studenti di 12 anni risulta analoga a quella degli studenti di 10 anni. L'andamento osservato può essere spiegato in riferimento alle caratteristiche specifiche del rumore di fondo, che essendo costituito da due soli parlatori concomitanti risulta essere più intelligibile di quello presentato nella condizione 4P. Si può ipotizzare che il contenuto semantico del rumore di fondo interferisca con i processi cognitivi necessari per la risoluzione del compito, in accordo con un *irrelevant sound effect* (ISE; [8,25]), risultando quindi più dannoso per lo svolgimento del compito anche per gli studenti di 12 anni, nonostante le loro maggiori abilità cognitive. Si osserva infine un effetto debole della condizione di ascolto sul compito matematico. L'andamento potrebbe essere legato alla difficoltà del compito presentato agli studenti, dato che anche in condizione di quiete la percentuale di risposte corrette risulta inferiore al 75%. Si può ipotizzare che la difficoltà del compito, e il conseguente aumento nella concentrazione richiesta agli studenti per svolgerlo, "schermi" gli studenti rispetto alla presenza di rumore (*shield against distraction*; [26]). Analisi statistiche che tengano in considerazione gli effetti legati al singolo partecipante e alla sensibilità individuale al rumore, sono necessarie per verificare le tendenze osservate basandosi sulla sola statistica descrittiva.

Il terzo scopo di questo studio riguardava la valutazione delle percezione soggettiva dell'ambiente sonoro dell'aula scolastica, attraverso la somministrazione di un questionario. I primi risultati mostrano come gli studenti di 12 anni riportino un maggiore disturbo legato alla presenza del rumore, rispetto agli studenti di 10 anni. Si può ipotizzare che studenti di età maggiore siano più consci degli effetti negativi del rumore all'interno dell'aula [27], o meno portati ad un *social desirability response bias* (tendenza a presentarsi in una maniera socialmente desiderabile dando le risposte che si pensa siano attese dagli sperimentatori; [28]). Si sottolinea infine come la risposte date dagli studenti al questionario (e in particolare alla domanda 4 sulle attività scolastiche maggiormente disturbate dalla presenza di rumore di fondo) possano costituire un riferimento per studi futuri volti ad indagare l'effetto dell'ambiente acustico su compiti scolastici "complessi", rappresentativi di quelli svolti abitualmente in classe.

Risulta interessante notare come gli studenti di entrambe le età abbiano indicato il lavoro con i numeri come una delle attività maggiormente disturbate dalla presenza di rumore. Diversamente, questo tipo di attività è una delle meno indagate nella letteratura sperimentale, soprattutto in riferimento ai bambini di età scolare.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

5. Conclusioni

In questo studio sono stati indagati (i) gli effetti del rumore di fondo su un compito di ragionamento numerico svolto da studenti di 10 e 12 anni, e (ii) la valutazione soggettiva dell'ambiente sonoro dell'aula attraverso l'uso di un questionario.

I risultati preliminari, basati sulla statistica descrittiva, mostrano un effetto debole della condizione di ascolto sulla performance degli studenti, che si ipotizza essere legata alla difficoltà del compito stesso. Effetti dell'età degli studenti si osservano sia sulla percentuale di risposte corrette che sui tempi di risposta, mostrando come gli studenti di 12 anni risultino meno ostacolati dal rumore di fondo nello svolgimento del compito.

I primi risultati dei questionari permettono di individuare quali siano i compiti scolastici che gli studenti ritengono con più frequenza influenzati dalla presenza di rumore di fondo. Questa informazione risulta utile nella definizione di studi ed esperimenti futuri volti ad esplorare in maniera ecologica gli effetti dell'acustica delle aule scolastiche sui compiti scolastici svolti dagli studenti.

Le tendenze osservate e discusse in questo lavoro dovranno essere verificate mediante l'impiego di tecniche di analisi statistica.

Riferimenti

1. Shield, B. M., Dockrell, J. E. The effects of noise on children at school: A review. *Building Acoustics* **2003**, *10*(2), 97–116.
2. Gheller, F., Lovo, E., Arsie, A., Bovo, R. Classroom acoustics: listening problems in children. Building Acoustics **2020**, 27, 47–59.
3. Anderson, K. The problem of classroom acoustics: the typical classroom soundscape is a barrier to learning. *Seminars in Hearing* **2014**, *25*, 117–129.
4. Connolly, D., Dockrell, J., Shield, B., Conetta, R., Mydlarz, C., Cox, T. The effects of classroom noise on the reading comprehension of adolescents. *Journal of the Acoustical Society of America* **2019**, *145*(1), 372–381.
5. Dockrell, J. E., Shield, B. M. Acoustical barriers in classrooms: The impact of noise on performance in the classroom. *British Educational Research Journal* **2006***, 32*(3), 509–525.
6. Shield, B. M., Dockrell, J. E. The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *Journal of the Acoustical Society of America* **2008**, *123*, 133–144.
7. Caviola, S., Visentin, C., Borella, E., Mammarella, I., Prodi, N. Out of the noise: Effects of sound environment on maths performance in middle-school students. *Journal of Environmental Psychology* **2021**, *73*, 101552.
8. Perham, N., Hodgetts, H., Banbury, S. Mental arithmetic and non-speech office noise: An exploration of interference-by-content. *Noise and Health* **2013***, 15*(62), 73.
9. Ljung, R., Sorqvist, P., Hygge, S. Effects of road traffic noise and irrelevant speech on children's reading and mathematical performance. *Noise and Health* **2009**, *11*(45), 194–198.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

10. Connolly, D., Dockrell, J. E., Mydlarz, C., Shield, B., Conetta, R., Cox, T. A quasi-experimental field study of the impact of classroom noise on adolescents' mathematical performance. Proceedings of the ICA2016 Congress.
11. Ente Italiano di Normazione. (2020). Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: Settore scolastico (UNI 11532-2:2020). Ente Italiano di Normazione.
12. Crukley, J., Scollie, S., Parsa, V. An exploration of non-quiet listening at school. *Journal of Educational Audiology* **2011***, 17*(1), 23–35.
13. Neuman, A. C., Wroblewski, M., Hajicek, J., Rubinstein, A. Combined effects of noise and reverberation on speech recognition performance of normal-hearing children and adults. *Ear and Hearing* **2010**, *31*, 336–344.
14. Leibold, L. J. Speech perception in complex acoustic environments: Developmental effects. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* **2017**, *60*(10), 3001–3008.
15. Dockrell, J. E., Shield, B. Children's perceptions of their acoustic environment at school and at home. *Journal of the Acoustical Society of America* **2004**, *115*, 2964–2973.
16. Astolfi, A., Pellerey, F. Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. *Journal of the Acoustical Society of America* **2008**, *123*(1), 163-173.
17. Stansfeld, S. A., Haines, M. M., Brentall, S., Head, J., Roberts, R. …. West London Schools Study: Aircraft noise at school and child performance and health. Final report for Department of Health and DETR; **2000**.
18. Connolly, D. M., Dockrell, J. E., Shield, B. M., Conetta, R., Cox, T. J. Adolescents' perceptions of their school's acoustic environment: The development of an evidence based questionnaire. *Noise and Health* **2013**, *15*(65), 269–280.
19. Brännström, K. J., Johansson, E., Vigertsson, D., Morris, D. J., Sahlén, B., Lyberg-Åhlander, V. How children perceive the acoustic environment of their school. *Noise and Health* **2017**, *19*(87), 84-94.
20. Strand, J. F., Brown, V. A., Merchant, M. B., Brown, H. E., Smith, J. Measuring listening effort: Convergent validity, sensitivity, and links with cognitive and personality measures. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* **2018**, *61*(6), 1463–1486.
21. McKellin, W. H., Shahin, K., Hodgson, M., Jamieson, J., Pichora-Fuller, K. Pragmatics of conversation and communication in noisy settings. *Journal of Pragmatics* **2007**, *39*(12), 2159–2184.
22. Senese, V. P., Ruotolo, F., Ruggiero, G., Iachini, T. The Italian version of the Weinstein Noise Sensitivity Scale: Measurement Invariance Across Age, Gender, and Context. *European Journal of Psychological Assessment* **2012**, *28*(2), 118-124.
23. Astolfi, A., Puglisi, G. E., Murgia, S., Minelli, G., Pellerey, F., Prato, A., Sacco, T. Influence of Classroom Acoustics on Noise Disturbance and Well-Being for First Graders. *Frontiers in psychology* **2019**, *10*, 2736.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

24. Ricciardi, P., Buratti, C. Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment* **2018**, *127*, 23–36.
25. Klatte, M., Bergstrom, K., Lachmann, T. Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Frontiers in Psychology* **2013***, 4*, 578.
26. Banbury, S., Berry, D. C. Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology* **1998***, 89*(3), 499–517.
27. Halin, N., Marsh, J. E., Hellman, A., Hellström, I., Sörqvist, P. A shield against distraction. *JARMAC* **2014**, *3*, 31-36.
28. Klatte, M., Lachmann, T., Meis, M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise and Health* **2010**, *12*(49), 270–282.
29. King, M. F., Bruner, G. C. Social desirability bias: A neglected aspect of validity testing. *Psychological Marketing* **2000**, *17*(2), 79-103.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

A comparative study on opto-thermal properties of natural clay bricks incorporating dredged sediments

Mattia Manni [1,*], Alessandro Petrozzi [2], Andrea Nicolini [3], Marco Barbanera [4], Leandro Lunghi [3], Valentina Coccia [3],and Giuseppino Vento [5]

[1] University for Foreigners of Perugia, Perugia (PG), Italy
[2] CIRIAF - Interuniversity Research Center on Pollution and Environment "Mauro Felli", Department of Engineering, University of Perugia, Perugia (PG), Italy
[3] Department of Engineering, University of Perugia, Perugia (PG), Italy
[4] Tuscia University, Viterbo (VT), Italy
[5] Fornaci Briziarelli Marsciano, Bevagna (PG), Italy

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: mattia.manni@unistrapg.it

Abstract: Brick industry is currently facing shortage of natural resources. Despite of this, the demand for construction bricks is continuously increasing. Alternative materials such as dredged sediments and solid organic waste have been recently proposed to replace natural clay in brick manufacturing. The potentials of dredged sediments to be incorporated into clay bricks are evaluated in this study by investigating the chemical composition of the mixtures and the opto-thermal properties of brick samples that differ for the dredged sediments' content (10% in DS-10, 30% in DS-30, and 50% in DS-50). Chemical analysis highlighted that lower concentrations of heavy metals were proper of bricks incorporating dredged sediments. Negligible variations in thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat were observed by increasing the amount of DS in the mixture. In particular, the thermal conductivity values ranged between 0.446 ± 0.027 W m^{-1} K^{-1} (DS-50) and 0.501 ± 0.028 W m^{-1} K^{-1} (DS-30). Conversely, the color shift value was found directly proportional to the concentration of DS as well as the spectral reflectivity to infra-red radiation. The reuse of dredged sediments as building material was demonstrated to be a solution to the problem of their disposal as well as of the scarcity of natural clay for brick production.

Keywords: clay brick; waste management; sustainability.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

Bricks have represented one of the principal building materials for centuries. Nowadays, the brick industry is producing worldwide up to 1,500 billion bricks per year, and the production is expected to rise considering that almost 90% of these (around 1,300 billion bricks) are required from developing Countries, which are experiencing an acceleration in urbanization at an average rate of 6% per year [1]. Such a large use of clay bricks in the construction industries is causing the scarcity of natural clay reserves. Furthermore, brick production processes are energy intensive (2.0 kWh per brick) and produce large volumes of waste and greenhouse gases (0.41 $kgCO_{2\text{-}eq}$ per brick) [2].

Within this framework, many Countries have started limiting the production of bricks and have been looking for different building blocks [3]. A wide variety of alternative and by-product materials have been proposed to replace natural clay (NC) in manufacturing bricks with lesser environmental impacts than conventional bricks. Numerous research studies investigated the potential for using various recycled materials such as construction and demolition waste (i.e. brick dust, wood chips, lime, cement) [4,5], organic and inorganic solid wastes (i.e. spent shea waste, waste tea, cigarette butts, gangue) [6–8], agricultural solid wastes (i.e. rice husk, sugarcane bagasse, olive mill waste) [9,10], plastic waste (i.e. plastic bottles, straw, polypropylene fibers, crumb rubber) [11–13], and industrial wastes (i.e. gold mill tailing, paper production residues) [14,15] to limit the utilization of NC. This approach is aligned with sustainable development and is efficient in protecting the environment [16,17].

Raw materials, manufacturing processes, and firing temperature are the main parameters that control the properties of clay bricks. Thus, implementing brick mixtures that are enhanced with unconventional materials can alter the characteristics of the manufactured bricks. In particular, partially substituting NC with organic substances generally allows of reducing bricks' thermal conductivity [18]. In fact, the added organic matter is combusted during the firing, leaving voids that contribute to lower bulk density and thermal conductivity, while increasing porosity [19]. Also, greater water absorption capacity is usually observed in low-weight bricks such as the one in which degraded municipal solid waste [20] or cigarette butts [8] were incorporated. However, higher porosity and lower density might result into deeper cracks and worsened mechanical properties as observed in brick specimens enhanced with glass waste powder [21], fly ashes [22], and olive mill waste [23].

In this paper, different dosages of dredged sediments (DS) in brick mixtures were investigated with the aim of partially substituting NC in the brick productive process. Effects of the percentage of DS incorporated in the brick mixtures on mineral composition, mass variation, and moisture content were analyzed. Furthermore, the optical and thermal properties of the final bricks were assessed in order to determine the impact of recovered DS on final brick thermal conductivity, thermal diffusivity, volumetric specific heat, color pattern, and spectral reflectance.

The main research domain covered by this work concerns:

i. The suitability of DS to replace NC in brick manufacturing;
ii. Assessing the opto-thermal properties of brick specimens enhanced with DS against conventional clay bricks;
iii. The effectiveness of DS' addition in reducing the environmental footprint of clay bricks.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The paper is structured as follows. The Background section outlines the state-of-the-art about clay bricks enhanced with dredged sediments (section 2). The Materials and methods section (section 3) is articulated around five sub-sections describing the raw materials (sub-section 3.1), the bricks manufacturing (sub-section 3.2), and the performed analyses (sub-sections 3.3, 3.4, and 3.5). The Results and Discussion section (section 4), where the outcomes referring to characterization of raw materials (sub-section 4.1) and brick mixtures (sub-section 4.2) are presented and discussed, before opto-thermal properties of brick specimens are evaluated (sub-section 4.3). Finally, the Conclusions and future developments section summarizes the results and the implications of this work (section 5).

2. Background

In the recent years, a considerable worsening in the conditions of natural areas was observed. Increasing touristic flows and the drastic reduction of National and local organizations (i.e. National Forest Guard Corps, Mountain Communities) that were responsible of the maintenance of forests and riverbeds contributed to this scenario. Alongside these, the raising frequency of extreme events due to on-going climate changes such as floods and landslides negatively affected the economy and the society of such vulnerable areas. Within this framework, the GEST-RIVER (Eco-Sustainable Management of Territories at Risk of Flooding and Economic Valorization of Resources) project aims at assessing standards and regulations about floods, hydrogeological maintenance, and land management. The core of the project consists of the evaluation of socio-economic and environmental impacts of hydrogeological instability on the territory to identify best practices and guidelines for policy-makers. In particular, a work package specifically focuses on the recovery of biomass residues from maintenance activities such as DS.

These consist of a natural deposit at the bottom of seas, rivers and lakes. Such a fine soil is collected from the deepening, broadening and maintaining of public waterways. A significant amount of DS is generated yearly which is usually polluted by heavy metals, organic contaminants, and organic matter [24,25]. Due to that, the DS need to be adequately handled and disposed by causing land waste and environmental pollution. Thus, the reuse of DS represents a priority and their exploitation as building material, particularly in brick production, may be an ideal solution to the problem.

The feasibility of using DS in brick manufacturing has been already discussed in numerous researcher studies. Mesrar *et al.* [26] investigated the potential use of untreated DS from land deposit of the Seine estuary for the production of fired bricks. The raw material was found to be environmentally sustainable with low levels of metal traces and an adequate mechanical resistance. Haurine *et al.* [27] demonstrated that mixtures incorporating DS were characterized by drying and firing linear shrinkage, water absorption and tensile rupture properties that matched the usual values of the heavy clay industry. Permeable bricks of wrap-shell aggregates from DS were prepared in [28]. Effects of process parameters on the compressive strength and water permeability coefficient were studied. Slimanou *et al.* [29] considered using harbor DS in designing new type of bricks to stabilize the behavior of heavy metals by its solidification in the glassy matrix of the bricks (during the firing) and to recycle waste from the dredged activities (with reduced disposal issues).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. Materials and methods

3.1. Raw materials

NC and DS were utilized in this work for soft-paste bricks production. The NC was extracted from the quarries located in Bevagna (Italy), and currently exploited by the Fornaci Briziarelli Marsciano in their productive chain. On the other hand, the DS were collected from the terrains surrounding the water stream in Graffignano (Italy) which flows towards the Tiber River. These consist of waste from the cleaning activities of the riverbed, which are generally needed during periods characterized by intense precipitation events, when the stream floods. The DS were filtered with a sieve in order to reduce the content of gravels, plastic waste elements, and organic particles.

3.2. Brick production and heating procedure

The weight compositions of NC, DS, and water used in the production of soft-paste bricks are reported in Table 1. Water content was varied with DS due to the higher moisture content observed in DS, if compared to the NC. Components were mixed for around 15 minutes and wet paste was deposited in parallelepipedic molds of 25.0 cm length, 12.5 cm width, and 6.0 cm height. The brick size was defined in compliance to the specific National UNI standard. Then, molding pressure was executed at 5 MPa for 3 minutes until the mixed components completely filled the mold volume. After that, samples were cured at 288 K for 48 h, then dried for six weeks. In particular, the first step of the drying process consisted of a couple of weeks during which the bricks are slowly heated from the ambient temperature till the temperature value of the drying room (314 K). Then, the bricks were dried at 314 K for up to four weeks.

A 100 m long furnace was exploited for the firing of the bricks. These were transported by carriages with a velocity of $5.6 \cdot 10^{-4}$ m s^{-1}, for 48 h. Moving throughout the furnace, the bricks passed through the three main stages of the heating process: the (i) pre-heating is conducted at 335 K for 16 h, the (ii) sintering stage at 1,120 K for 16 h, and the (iii) gradual cooling until ambient temperature value (288 K) for 16 h. In particular, the last step is fundamental to avoid the generation of cracks in the produced bricks.

Table 1. Composition of the soft-paste bricks (quantities are reported in percentage by weight).

	NC	DS	H_2O		NC	DS	H_2O
DS-0	80	-	20	DS-30	65	30	5
DS-10	70	20	10	DS-50	50	50	-

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 1. Main steps of brick manufacturing, from the left, preparation of DS and NC mixture, molding, and curing phase.

3.3. Chemical characterization

Static thermo-gravimetric analysis was performed with the Leco TGA701 apparatus in triplicate, in compliance to the ASTM D 5142 protocol [30]. The moisture content, the volatile matter, the amount of ashes, and the quantity of fixed carbon were determined for each sample and expressed as percentage. In particular, the amounts referring to volatile matter, ashes, and fixed carbon were also reported for dry specimens. Actually, only the fixed carbon was not directly measured but calculated as the difference between the total weight of the sample and the weight of the other components (moisture content, volatile matter, and ashes).

Mass change with the temperature of the tested specimens were determined by thermo-gravimetric analysis. Tests were performed using the same Leco TGA701 apparatus with a heating rate of 20 K min^{-1} in air atmosphere, from the ambient temperature to 1,273 K. Analysis was executed in triplicate and the standard deviation among the results was used to define the error associated to the mean value.

The qualitative and quantitative analysis of metals contained in the samples was conducted through PerkinElmer OES Optima 800 instrument. From a heavy metal point of view, there is still no European legislation or recommendation that impose a test and limits on the content as well as on the leaching of heavy metals in building materials. However, there are several National legislations, although they use different tests with different solid-to-liquid ratios, pH, type of sample (granular or monolith), or exposure times. In this study, the limit values defined by the Italian DL 155/06 (Col. A) were considered when it came to the analysis of raw materials.

3.4. Opto-thermal characterization

The thermal characterization of bricks samples was performed through a Hot Disk TPS 2500S apparatus and an ATT DM 340SR climatic chamber [31]. In particular, the climatic chamber permitted to conduct the thermal characterization within a controlled environment whose ambient temperature and relative humidity were kept constant at 293 K and 50%, respectively.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 2. From the left, the climatic chamber apparatus, a detailed view of the hot disk measuring sensor, and an overview of the four brick specimens that were assessed.

Thermal conductivity, thermal diffusivity, and volumetric specific heat were determined for the bricks specimens by applying the Transient Plane Source (TPS) method which is described in the ISO 22007-2:2008 standard. The TPS double spiral behaves as both a heat source and a dynamic temperature sensor. It was placed between two brick samples of the same type (same content of DS), and then electrically heated due to the Joule's effect. The heater supplies a specific heating power P_0 for a time step t. Following this, thermal conductivity and thermal diffusivity of the bulk material are identified through the resistance of the sensor, while the volumetric specific heat was calculated through the Eq. 1:

$$\lambda = \alpha \cdot \rho \cdot c_p \quad \text{Eq. 1}$$

where λ is the thermal conductivity (W m^{-1} K^{-1}), α is the thermal diffusivity (m^2 s^{-1}), ρ is the density (kg m^{-3}), and c_p is the specific heat of the sample (J K^{-1} kg^{-1}). Analyses were reiterated for five times and executed in triplicate in order to define the error associated to the measured quantities for each brick typology. The standard deviation (σ) among the five reiterated measurements (N=5) was calculated for the j-esimo brick sample as:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(x_{ij} - \bar{x}_j\right) + e^2} \text{ with } \bar{x}_j = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} x_{ij} \quad \text{Eq. 2}$$

Following this, the error associated to the mean value of the five reiterations' outcomes (E_j) was calculated by also considering the nominal error (e) due to the measuring apparatus.

$$E_j = \sqrt{e^2 + \sum_{i=1}^{N} {\sigma_j}^2} \quad \text{Eq. 3}$$

The nominal error was considered as high as 3% for the thermal conductivity, 5% for the thermal diffusivity, and 7% for the specific heat. Finally, the error (E) referred to the mean value of the outcomes of the three brick samples (M=3) was calculated as it follows for each of the DS-0, DS-10, DS-30, and DS-50 specimens:

$$E = \sqrt{\sum_{j=1}^{M} \sigma_j^2} \quad \text{Eq. 4}$$

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The optical characterization of the clay bricks enhanced with DS was carried out by investigating the spectral reflectance and color shift parameters.

Firstly, the color patterns of the four brick samples were measured using a CR-200 Chroma Meter, setting illuminant D_{65}. The estimated device-independent CIE xyY coordinates were initially converted into XYZ coordinates according to the following system of linear equations (Eq. 5):

$$\begin{cases} X = x \cdot \left({}^{Y}/_{y}\right) \\ Y = Y \\ Z = (1 - x - y) \cdot {}^{Y}/_{y} \end{cases} \quad \text{Eq. 5}$$

The XYZ coordinates were then converted into RGB (device-dependent) and CIE Lab (device-independent) color coordinates to generate a virtual color patch and to define the color shift due to the increment of the DS percentage in brick mixtures. The two conversion process were executed according to equation Eq. 6 and equation Eq. 7[1], respectively.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{100} \cdot \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\begin{cases} L = 116 \cdot \left({}^{Y}/_{Y_{ref}}\right) - 16 \\ a = 500 \cdot \left({}^{X}/_{X_{ref}} - {}^{Y}/_{Y_{ref}}\right) \\ b = 200 \cdot \left({}^{Y}/_{Y_{ref}} - {}^{Z}/_{Z_{ref}}\right) \end{cases} \quad \text{Eq. 7}$$

where X_{ref} is equal to 94.8, Y_{ref} to 100.0, and Z_{ref} to 107.3 (corresponding to daylight condition).

Finally, the color shift (ΔC) was calculated as in [32]:

$$\Delta C = \sqrt{(L_{DS-x} - L_{DS-0})^2 + (a_{DS-x} - a_{DS-0})^2 + (b_{DS-x} - b_{DS-0})^2} \quad \text{Eq. 8}$$

where L_{DS-x}, a_{DS-x}, and b_{DS-x} are the CIE Lab coordinates for the brick sample with the *x* standing for the percentage of DS in the mixture (i.e. DS-10, DS-30, and DS-50); and L_{DS-0}, a_{DS-0}, and b_{DS-0} are the CIE Lab coordinates for the reference brick (DS-0).

The ΔC consists of the geometric distance between the point corresponding to the color of the reference case and the point from the other brick color, within the CIE Lab color space. As far as the CIE Lab color space is concerned, it is defined by the L-axis (relative to the lightness), the a-axis (relative to the green–red opponent colors), and the b-axis (relative to the blue-yellow opponent colors). The first varies between zero (black) and 100 (white), while both the second and the third are unbounded.

[1] easyrgb.com

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Secondly, the spectral reflectance was assessed through the Solid Spec-3700 spectrophotometer which was equipped with a 60 mm diameter integrated sphere having a wavelength accuracy of 0.1 nm. According to the ASTM Standard E903-96, the measurement of the spectral near-normal reflectance focused on wavelength interval ranging between 250 nm and 2,500 nm (with a step of 5 nm), while neglecting mostly of the ultraviolet C spectrum (negligible thermal effects). The spectral reflectance was finally estimated according to the ASTM Standard G173-03. Discontinuities in the outcomes (drops) were observed due to the detectors' changing at around 750 nm and 1,750 nm wavelengths. Analyses were reiterated for two times and executed in triplicate. Finally, the mean spectral reflectance value was calculated for the ultraviolet (from 250 nm to 400 nm), the visible (from 400 nm to 750 nm), and the infrared spectrum (from 750 nm to 2,500 nm), respectively. It is worth to report that the integrated sphere was characterized by a size which may not permit to fully detect the radiation reflected diffusively by the sample. However, such a bias remained constant throughout the characterization campaign, thus results can be reliable as long as a comparative approach is followed.

2. Results and discussion

Results from the static thermo-gravimetric analysis (see Table 2) highlighted that almost 43.6% of the DS samples' weight was due to moisture content, while it only accounted for 18.0% in NC. When samples' drying process was concluded, the greatest percentage of ashes was observed in NC (86.2%). On the contrary, DS specimens showed a higher content of both dry volatile matter (16.6%) and dry fixed carbon (0.2%), if compared to NC.

Table 2. Results from the static thermo-gravimetric analysis for the raw material samples.

	Moisture	Volatile matter	Ashes	Fixed carbon	Dry volatile matter	Dry ashes	Dry fixed carbon
NC	18.03%	11.28%	70.66%	0.02%	13.76%	86.21%	0.03%
DS	43.65%	9.37%	46.86%	0.11%	16.64%	83.16%	0.20%

Results from the analysis of the mass change are reported in Figure 3. Between ambient temperature and 623 K, a mass loss due to moisture evaporation was observed. It was equal to 44% in DS. Weight loss of around 4% took place between 623 K and 1,043 K due to the elimination of crystalline water. Further weight loss of around 5% was observed in the range 1,043-1,253 K probably due to the combustion of some organic compounds. Above the 1,253 K, fraction weight is almost constant. A total mass loss as high as 51% was noted during the thermal analysis.

When NC is heated from the ambient temperature to 590 K, the evaporation of physically-adsorbed and moisture water is produced (20% of mass loss). Within this temperature range, the dehydration of nontronite must be considered, since it generally happens between 333 K and 473 K. In the range 590-850 K, the weight remains essentially constant. From 850 K to 1,190 K, a rate of 7% mass loss occurred, probably due to the de-hydroxylation of muscovite and nontronite as well as the combustion of some organic compounds found in the NC. Above the 1,190 K, there are no significant weight losses.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 3. Mass changes of the raw materials when heated with a heat rate of 20 K min-1 from ambient temperature till 1,273 K, in air atmosphere.

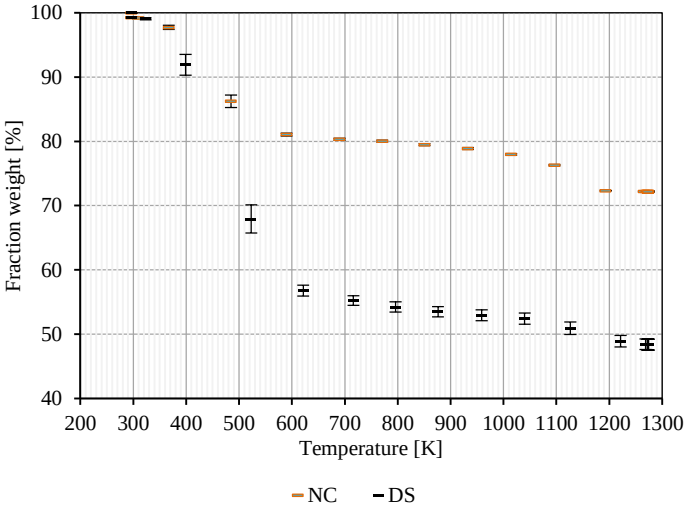


Table 3 shows the minor components of NC and DS. The DS present a considerable concentration of some heavy metals such as Co, Se, and V, if compared to the limit values defined by the DL 155/06 (Col. A). In particular, both Co (16.3 ppm) and V (79.3 ppm) turned out to be close to the respective thresholds (20 ppm for Co and 90 ppm for V), while the concentration of Se (10.3 ppm) was almost the triple of the limit (3 ppm). When compared to NC, DS showed higher concentrations of Cr, Ni and Zn. Conversely, NC was presenting greater concentrations of Cd, Pb, and Cu (Table 3).

Table 3. Minor chemical components (in ppm) in row materials, and limit values for the concentration of heavy metals in the soil of both public and private green areas.

	As	Be	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Cu	Se	V	Zn	Sb	Hg	Sn
NC	u.d.l.	u.d.l.	0.9	13.6	u.d.l.	30.9	29.8	25.1	u.d.l.	75.7	52.4	u.d.l.	u.d.l.	u.d.l.
DS	u.d.l.	u.d.l.	0.5	16.3	26.5	51.4	16.5	12.8	10.3	79.3	62.8	u.d.l.	u.d.l.	u.d.l.
DL 156/06 (Col. A)	20.0	2.0	2.0	20.0	150.0	120.0	100.0	120.0	3.0	90.0	150.0	10.0	1.0	-

under detection limit (u.d.l.)

4.2. Chemical characterization of the bricks

Samples of the four mixtures utilized for the production of bricks were assessed with both static and non-static thermos-gravimetric analysis. In general, the content of moisture was found to increase according to the percentage of dredged sediments in the mixture: it ranges from 24.1% (DS-10) to 29.5% (DS-50). In the dry specimens, almost the same amount of ashes was estimated (between 85.9% and 87.8%). Almost the same was observed for the volatile matter (ranging from 12.1% to 14.3%).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 4. Results from the static thermo-gravimetric analysis for the different brick mixtures.

	Moisture	Volatile matter	Ashes	Fixed carbon	Dry volatile matter	Dry ashes	Dry fixed carbon
DS-0	25.63%	9.65%	64.68%	0.04%	12.98%	86.96%	0.05%
DS-10	24.07%	9.21%	66.68%	0.04%	12.13%	87.82%	0.06%
DS-30	28.46%	9.59%	62.14%	null	13.41%	86.86%	null
DS-50	29.46%	10.07%	60.59%	null	14.27%	85.90%	null

Outcomes from the mass change assessment are reported in Figure 3. Between ambient temperature and 673 K, a mass loss due to moisture was observed. It was equal to 25% in DS-10, to 30% in DS-30, and to 32% in DS-50. Weight loss of around 2% took place between 673 K and 1,073 K due to the elimination of crystalline water. Further weight loss of around 5% was observed in the range 1,073-1,253 K probably due to the combustion of some organic compounds. Above the 1,253 K, fraction weight is almost constant in all the specimens. A total mass loss as high as 34%, 37%, and 40% was noted, respectively, in the DS-10, DS-30, and DS-50 mixtures during the thermal analysis.

When it came to DS-0, it is worth to underline that such a brick mixture resulted from the combination of NC raw material and water. Thus, the mass changes observed in this sample were close to the ones proper of NC. When DS-0 is heated from the ambient temperature to 600 K, the evaporation of physically-adsorbed and moisture water caused a 25% of mass loss, mainly due the dehydration of nontronite. In the range 600-1,027 K, a weight loss as high as 3% is observed. From 1,027 K to 1, 207 K, a rate of 6% mass loss occurred. As it has been already pointed out for NC raw material, this variation can be addressed to the de-hydroxylation of muscovite and nontronite as well as the combustion of organic compounds. Above the 1,207 K, there are no significant weight losses.

Figure 4. Mass changes of the brick mixtures when heated with a heat rate of 20 K min-1 from ambient temperature till 1,273 K, in air atmosphere.

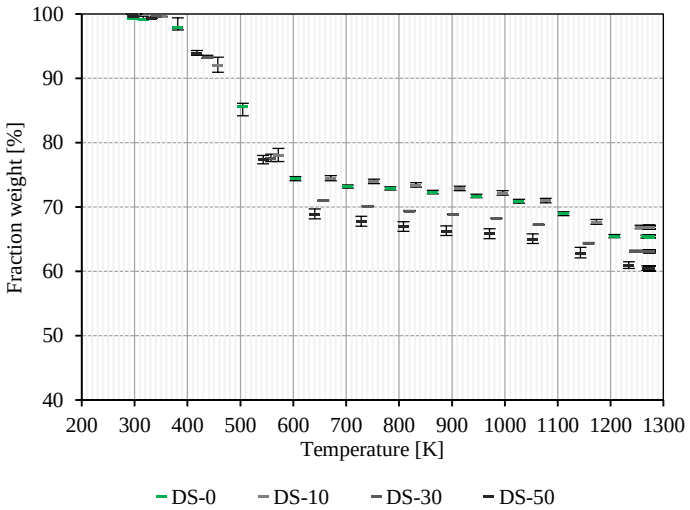


Table 4 shows the minor components that were detected on the different mixtures of clay and dredged sediments. The DS-0 sample revealed a high concentration of heavy metal such as As, Cr, Pb, and Se, if compared to the other specimens. In particular, the concentration of Cr (161.2 ppm) was ten

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

times the second-highest value (18.5 ppm), that was found in DS-30. It must be highlighted that both As and Se reached concentration levels which are significantly greater than the rest samples. These were as high as 24.1 ppm (As) and 30.0 ppm (Se) in DS-0, while being under the detection limit in all the other cases, except the Se in DS-10. In general, the lowest concentration value for each assessed heavy metal can be observed in the DS-10 sample, while the highest referred to the DS-0 mixture.

Table 5. Minor chemical components (in ppm) in brick mixtures.

	As	Be	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Cu	Se	V	Zn	Sb	Hg	Sn
DS-0	24.1	u.d.l.	3.5	18.6	161.2	59.1	69.3	25.9	30.0	80.6	61.19	u.d.l.	u.d.l.	u.d.l.
DS-10	u.d.l.	u.d.l.	0.3	11.6	2.4	31.4	23.0	7.7	1.1	61.4	54.1	u.d.l.	u.d.l.	u.d.l.
DS-30	u.d.l.	u.d.l.	1.1	14.5	18.5	45.3	26.6	17.9	u.d.l.	78.9	59.1	u.d.l.	u.d.l.	u.d.l.
DS-50	u.d.l.	u.d.l.	1.1	16.8	9.1	38.8	28.5	19.6	u.d.l.	77.5	56.1	u.d.l.	u.d.l.	u.d.l.

4.3. Opto-thermal properties

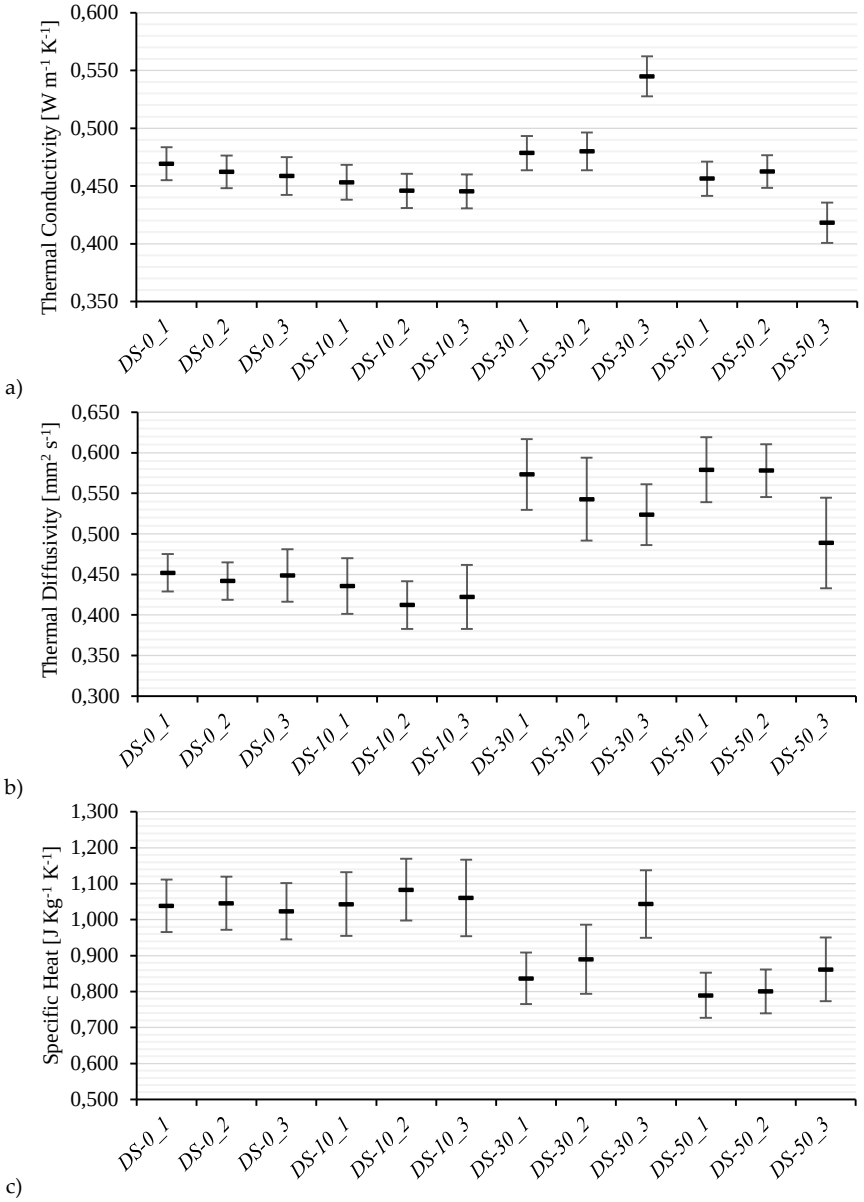
Figure 5 and Table 6 show the results about the thermal properties which were estimated through the Hot Disk apparatus.

Performing the test in triplicate permitted to observe the variations existing among the estimated thermal properties for different samples of the same typology. Such variations, that are not significant, were more evident in those specimens characterized by higher exploitation of DS in their mixtures (DS-30 and DS-50). The reason might be found on the higher level of heterogeneity of DS row material, if compared to the NC.

The estimated thermal conductivity was as high as 0.463 ± 0.026 W m^{-1} K^{-1} for DS-0, 0.448 ± 0.026 W m^{-1} K^{-1} for DS-10, 0.501 ± 0.028 W m^{-1} K^{-1} for DS-30, and 0.446 ± 0.027 W m^{-1} K^{-1} for DS-50. In general, the exploitation of DS seems to have negligible effects on the resulting thermal conductivity value. The same can be observed for both thermal diffusivity and specific heat. In particular, the estimated thermal diffusivity was as high as 0.448 ± 0.046 mm^2 s^{-1} for DS-0, 0.423 ± 0.060 mm^2 s^{-1} for DS-10, 0.547 ± 0.077 mm^2 s^{-1} for DS-30, and 0.549 ± 0.076 mm^2 s^{-1} for DS-50. As far as the specific heat is concerned, it was quantified equal to 1.036 ± 0.130 J Kg^{-1} K^{-1} for DS-0, to 1.062 ± 0.163 J Kg^{-1} K^{-1} for DS-10, to 0.923 ± 0.152 J Kg^{-1} K^{-1} for DS-30, and to 0.817 ± 0.124 J Kg^{-1} K^{-1} for DS-50.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 5. Thermal conductivity (a), thermal diffusivity (b), and specific heat (c) estimated for brick specimens (three samples for each brick specimen) through the hot disk apparatus.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 6. Overview of the thermal properties (with the corresponding errors) estimated for brick specimens (three samples for each brick specimen) through the hot disk apparatus.

Brick IDs	Thermal conductivity [W m^{-1} K^{-1}]		Thermal diffusivity [mm^2 s^{-1}]		Specific heat [J Kg^{-1} K^{-1}]	
	Nominal value	*Error*	*Nominal value*	*Error*	*Nominal value*	*Error*
DS-0_1	0.469	0.014	0.452	0.023	1.038	0.073
DS-0_2	0.462	0.014	0.442	0.023	1.046	0.074
DS-0_3	0.459	0.016	0.449	0.032	1.024	0.078
DS-0	**0.463**	**0.026**	**0.448**	**0.046**	**1.036**	**0.130**
DS-10_1	0.453	0.015	0.436	0.034	1.043	0.089
DS-10_2	0.446	0.015	0.412	0.029	1.083	0.041
DS-10_3	0.445	0.015	0.422	0.040	1.060	0.107
DS-10	**0.448**	**0.026**	**0.423**	**0.060**	**1.062**	**0.163**
DS-30_1	0.478	0.015	0.573	0.044	0.837	0.071
DS-30_2	0.480	0.016	0.543	0.051	0.890	0.096
DS-30_3	0.545	0.017	0.524	0.038	1.043	0.094
DS-30	**0.501**	**0.028**	**0.547**	**0.077**	**0.923**	**0.152**
DS-50_1	0.456	0.015	0.579	0.040	0.789	0.063
DS-50_2	0.462	0.014	0.578	0.033	0.801	0.061
DS-50_3	0.418	0.012	0.489	0.056	0.863	0.088
DS-50	**0.446**	**0.027**	**0.549**	**0.076**	**0.817**	**0.124**

Outcomes from the color assessment are reported in Table 7. Adding DS to the NC mixture barely caused a variation in the color pattern of the bricks. The color shifting from the reference case (DS-0) was estimated as high as 1.12, 3.09, and 5.88 for DS-10, DS-30, and DS-50, respectively. To better understand the magnitude of these color changes, it must be reported that a ΔC value lower than 1.50 is generally considered by most of the industries as the criterion for color approval when testing different samples of the products.

Table 7. RGB and CIE Lab color space coordinates associated to the bricks' color patterns, and color shift values from the reference case (DS-0).

Brick ID **Patch**	**DS-0**	**DS-10**	**DS-30**	**DS-50**
R	175	174	176	167
G	129	130	125	115
B	103	105	96	88
L	57.80	58.09	56.73	53.14
a	14.64	14.05	16.55	17.54
b	21.19	20.28	23.38	23.31
ΔC	**-**	**1.12**	**3.09**	**5.88**

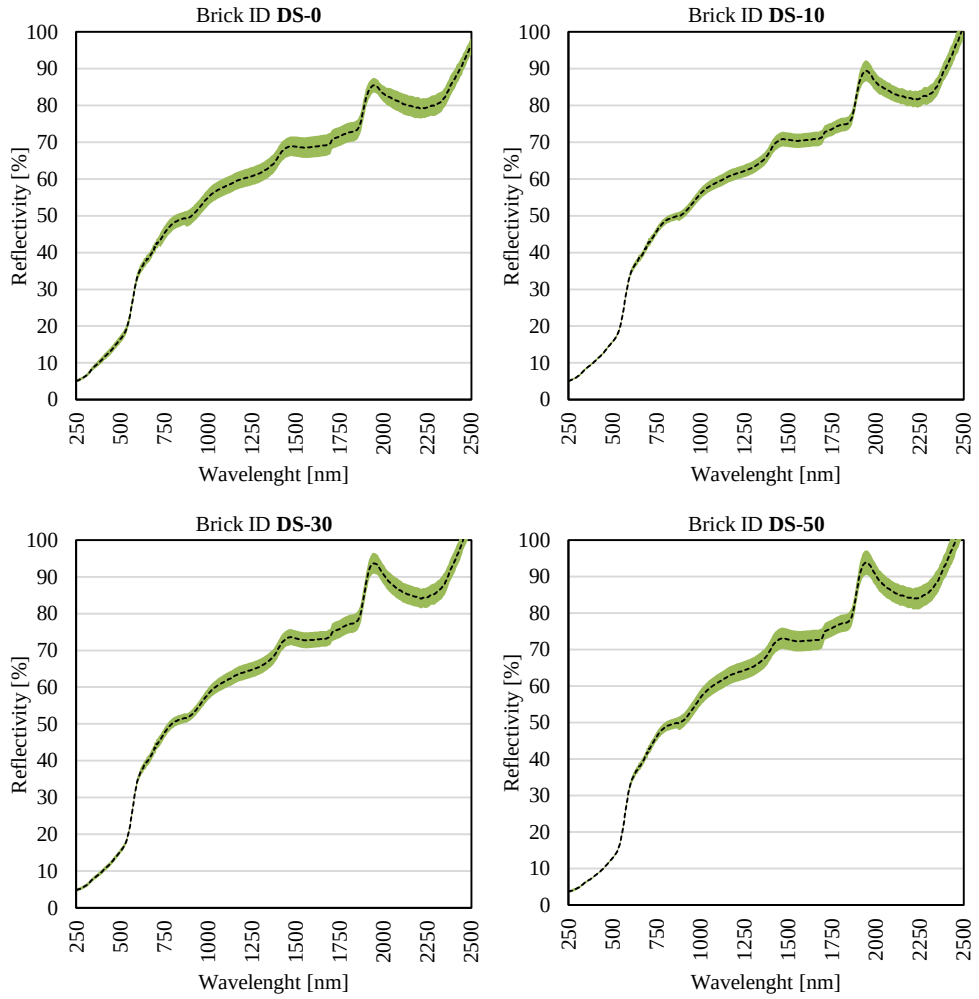
Measured spectral reflectance values of the brick specimens were represented in Figure 6 together with the error associated to the nominal value. Table 8 shows instead the mean values calculated for each wavelength interval (ultraviolet, visible, infra-red). In general, samples were capable of reflecting most of the infra-red radiation, while absorbing a considerable amount of radiation within the visible

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

range as well as almost the totality of the ultraviolet radiation. In particular, the average spectral reflection values estimated in the ultraviolet spectrum ranged between 7.8% ± 0.6% (DS-0) and 5.6% ± 0.3% (DS-50). In the visible wavelength interval, the highest average spectral reflectance was observed in DS-30 (28.2% ± 1.0%), while the lowest value corresponds to DS-50 (26.1% ± 0.7%). Finally, the spectral reflectance amounts in the infra-red range varied from 69.6% ± 2.5% (DS-0) to 74.3% ± 2.3% (DS-30).

The comparison of the nominal values of the reflectance which were estimated for the brick samples are visualized in Figure 6. The trends of the bricks' reflectance are similar so that the four lines appear to be almost parallel. DS-0 and DS-10 bricks exhibited the highest reflectivity in the ultraviolet. Nonetheless, an inversion in this ranking was observed in the visible field when the four amounts were closer. When it came to wavelengths longer than 750 nm, the DS-30 and DS-50 showed the highest solar reflectivity.

Figure 6. Spectral reflectivity of the four brick specimens (expressed as percentage) measured between 250 nm and 2,500 nm. The dotted line describes the trend of the nominal value, while the green area represents the standard deviation values among the different measured quantities.

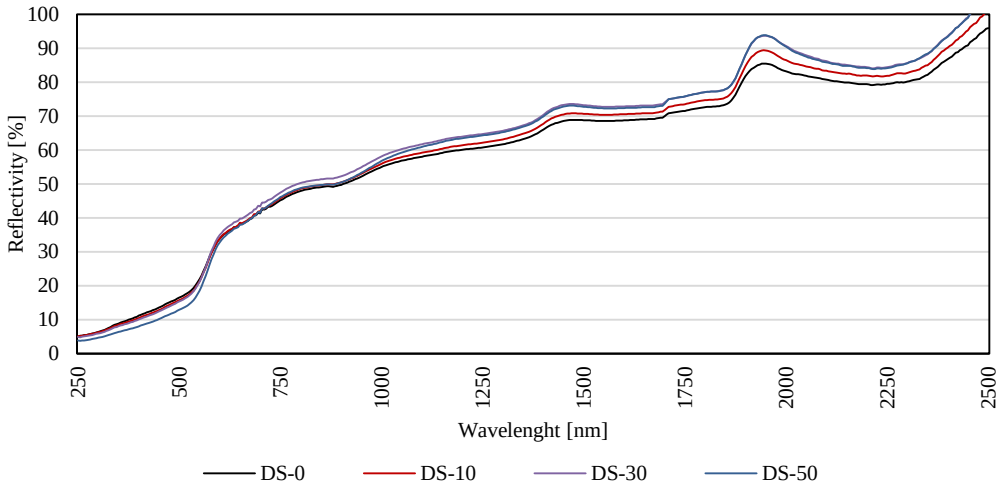


ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 8. Average spectral reflectivity of the four brick specimens calculated within the ultraviolet (from 250 nm to 400 nm), visible (from 400 nm to 750 nm), and infra-red spectra (from 750 nm to 2,500 nm).

	DS-0		DS-10		DS-30		DS-50	
	Nominal value	*Error*	*Nominal value*	*Error*	*Nominal value*	*Error*	*Nominal value*	*Error*
UV	7.8%	0.6%	7.5%	0.3%	7.1%	0.5%	5.6%	0.3%
Visible	27.9%	1.2%	27.7%	0.7%	28.2%	1.0%	26.1%	0.7%
IR	69.6%	2.5%	71.6%	2.0%	74.3%	2.3%	73.8%	2.7%

Figure 7. Visual comparison of the estimated spectral reflectance of the four brick specimens.



5. Conclusions and future developments

The present study deals with natural clay replacement in brick manufacturing through the use of dredged sediments. Three different brick specimens were produced by varying the dredged sediments content in the mixture from 10% to 30%, and to 50%. A comparative analysis of their opto-thermal properties was performed against a conventional clay brick (reference case).

The chemical characterization highlighted that lower levels of concentration of heavy metals can be achieved by partially substituting DS to NC in the brick mixture. Conversely, thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat barely varied from the reference case when DS were incorporated. As far as the optical analysis is concerned, a color shift parameter lower than six was calculated for each specimen. Thus, negligible variations in the color pattern were detected by the chromo meter apparatus. Similarly, the reflectivity in the visible wavelength interval was almost unaltered, while it turned out to be enhanced in the infra-red range.

The main findings were that:

- DS-10 was the sample with the lowest concentration of heavy metals, the highest corresponded to the DS-0;
- Thermal conductivity of the four specimens varied between 0.446 ± 0.027 W m^{-1} K^{-1} (DS-50) and 0.501 ± 0.028 W m^{-1} K^{-1} (DS-30);

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- Color shift value is directly proportional to DS' content, the highest value (5.88) was calculated for DS-50;
- Around 5% increment in spectral reflectivity can be achieved in the infra-red range by substituting half of the NC in bricks with DS.

In conclusion, the present study demonstrated the suitability of dredged sediments to replace natural clay in brick manufacturing. Moreover, it highlighted that opto-thermal properties are slightly affected by the DS-to-NC ratio of the brick mixtures.

When it comes to the future developments, the mechanical and acoustic properties of the clay bricks enhanced with dredged sediments can be investigated, and both their porosity and permeability to water might be assessed. Furthermore, other alternative materials or by-products could be added to the mixtures together to the sediments to further improve the bricks thermal insulation.

Special thanks go to Fornaci Briziarelli di Marsciano for making available to the researchers: raw materials, machinery and other equipments, essential for carrying out this task of the Gest River project.

References

1. Aneke, F.I.; Shabangu, C. Green-efficient masonry bricks produced from scrap plastic waste and foundry sand. *Case Stud. Constr. Mater.* **2021**, *14*, e00515, doi:https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00515.
2. Zhang, L. Production of bricks from waste materials – A review. *Constr. Build. Mater.* **2013**, *47*, 643–655, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043.
3. Chen, Y.; Zhang, Y.; Chen, T.; Zhao, Y.; Bao, S. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings. *Constr. Build. Mater.* **2011**, *25*, 2107–2111, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.025.
4. Oti, J.E.; Kinuthia, J.M.; Robinson, R.B. The development of unfired clay building material using Brick Dust Waste and Mercia mudstone clay. *Appl. Clay Sci.* **2014**, *102*, 148–154, doi:https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.09.031.
5. Madrid, M.; Orbe, A.; Rojí, E.; Cuadrado, J. The effects of by-products incorporated in low-strength concrete for concrete masonry units. *Constr. Build. Mater.* **2017**, *153*, 117–128, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.086.
6. Adazabra, A.N.; Viruthagiri, G.; Kannan, P. Influence of spent shea waste addition on the technological properties of fired clay bricks. *J. Build. Eng.* **2017**, *11*, 166–177, doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.04.006.
7. Zhu, M.; Wang, H.; Liu, L.; Ji, R.; Wang, X. Preparation and characterization of permeable bricks from gangue and tailings. *Constr. Build. Mater.* **2017**, *148*, 484–491, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.096.
8. Mohajerani, A.; Kadir, A.A.; Larobina, L. A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Manag.* **2016**, *52*, 228–244, doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.012.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

9. Kazmi, S.M.S.; Munir, M.J.; Patnaikuni, I.; Wu, Y.-F.; Fawad, U. Thermal performance enhancement of eco-friendly bricks incorporating agro-wastes. *Energy Build.* **2018**, *158*, 1117–1129, doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.056.
10. Vatani Oskouei, A.; Afzali, M.; Madadipour, M. Experimental investigation on mud bricks reinforced with natural additives under compressive and tensile tests. *Constr. Build. Mater.* **2017**, *142*, 137–147, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.065.
11. Donkor, P.; Obonyo, E. Compressed soil blocks: Influence of fibers on flexural properties and failure mechanism. *Constr. Build. Mater.* **2016**, *121*, 25–33, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.151.
12. Safinia, S.; Alkalbani, A. Use of Recycled Plastic Water Bottles in Concrete Blocks. *Procedia Eng.* **2016**, *164*, 214–221, doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.612.
13. Mohammed, B.S.; Awang, A.B.; Wong, S.S.; Nhavene, C.P. Properties of nano silica modified rubbercrete. *J. Clean. Prod.* **2016**, *119*, 66–75, doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.007.
14. Sutcu, M.; Akkurt, S. The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceram. Int.* **2009**, *35*, 2625–2631, doi:https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.02.027.
15. Roy, S.; Adhikari, G.R.; Gupta, R.N. Use of gold mill tailings in making bricks: a feasibility study. *Waste Manag. Res.* **2007**, *25*, 475–482, doi:10.1177/0734242X07076944.
16. Ghorbani, M.; Sabour, M.R. Global trends and characteristics of vermicompost research over the past 24 years. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28*, 94–102, doi:10.1007/s11356-020-11119-x.
17. Al-Fakih, A.; Mohammed, B.S.; Liew, M.S.; Nikbakht, E. Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review. *J. Build. Eng.* **2019**, *21*, 37–54, doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.023.
18. Contreras, M.; Gázquez, M.J.; Romero, M.; Bolívar, J.P. Recycling of industrial wastes for value-added applications in clay-based ceramic products: a global review (2015–19). In; Samui, P., Kim, D., Iyer, N.R., Chaudhary, S.B.T.-N.M. in C.E., Eds.; Butterworth-Heinemann, 2020; pp. 155–219 ISBN 978-0-12-818961-0.
19. Aouba, L.; Coutand, M.; Perrin, B.; Lemercier, H. Predicting thermal performance of fired clay bricks lightened by adding organic matter: Improvement of brick geometry. *J. Build. Phys.* **2015**, *38*, 531–547, doi:10.1177/1744259115571078.
20. Goel, G.; Kalamdhad, A.S. Degraded municipal solid waste as partial substitute for manufacturing fired bricks. *Constr. Build. Mater.* **2017**, *155*, 259–266, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.067.
21. Lingling, X.; Wei, G.; Tao, W.; Nanru, Y. Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. *Constr. Build. Mater.* **2005**, *19*, 243–247, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.017.
22. Abbas, S.; Saleem, M.A.; Kazmi, S.M.S.; Munir, M.J. Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: Mechanical and durability properties. *J. Build. Eng.* **2017**, *14*, 7–14, doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.008.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

23. Sutcu, M.; Ozturk, S.; Yalamac, E.; Gencel, O. Effect of olive mill waste addition on the properties of porous fired clay bricks using Taguchi method. *J. Environ. Manage.* **2016**, *181*, 185–192, doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.023.
24. Yozzo, D.J.; Wilber, P.; Will, R.J. Beneficial use of dredged material for habitat creation, enhancement, and restoration in New York–New Jersey Harbor. *J. Environ. Manage.* **2004**, *73*, 39–52, doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.05.008.
25. Jia, Y.; Yang, Q.; Huang, Y.; Wang, D.; Liu, X. Introduction to the thematic set of papers on: marine engineering geology. *Bull. Eng. Geol. Environ.* **2018**, *77*, 893–895, doi:10.1007/s10064-018-1275-9.
26. Mesrar, L.; Benamar, A.; Duchemin, B.; Brasselet, S.; Bourdin, F.; Jabrane, R. Engineering properties of dredged sediments as a raw resource for fired bricks. *Bull. Eng. Geol. Environ.* **2021**, *80*, 2643–2658, doi:10.1007/s10064-020-02068-3.
27. Haurine, F.; Cojan, I.; Bruneaux, M.-A. Development of an industrial mineralogical framework to evaluate mixtures from reservoir sediments for recovery by the heavy clay industry: Application of the Durance system (France). *Appl. Clay Sci.* **2016**, *132–133*, 508–517, doi:https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.022.
28. Yang, M.; Ju, C.; Xue, K.; Peng, Y.; Han, H.; Wan, Q.; Peng, X.; Wu, Y. Environmental-friendly non-sintered permeable bricks: Preparation from wrap-shell lightweight aggregates of dredged sediments and its performance. *Constr. Build. Mater.* **2021**, *273*, 121751, doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121751.
29. Slimanou, H.; Eliche-Quesada, D.; Kherbache, S.; Bouzidi, N.; Tahakourt, A. /K. Harbor Dredged Sediment as raw material in fired clay brick production: Characterization and properties. *J. Build. Eng.* **2020**, *28*, 101085, doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101085.
30. Cotana, F.; Cavalaglio, G.; Nicolini, A.; Gelosia, M.; Coccia, V.; Petrozzi, A.; Brinchi, L. Lignin as Co-product of Second Generation Bioethanol Production from Ligno-cellulosic Biomass. *Energy Procedia* **2014**, *45*, 52–60, doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.007.
31. Kousis, I.; Fabiani, C.; Ercolanoni, L.; Pisello, A.L. Using bio-oils for improving environmental performance of an advanced resinous binder for pavement applications with heat and noise island mitigation potential. *Sustain. Energy Technol. Assessments* **2020**, *39*, 100706, doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100706.
32. Buratti, C.; Belloni, E.; Merli, F.; Bianconi, F. Experimental characterization of the color rendering properties of transparent monolithic aerogel. *Sol. Energy* **2020**, *205*, 183–191, doi:https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.046.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Influenza delle scelte degli operatori sulla certificazione di sostenibilità ambientale di un edificio: un'esperienza di Round Robin Test

Francesco Asdrubali [1]*, Claudia Guattari [1], Marta Roncone [1], Giorgio Baldinelli[5], Eid Gul[5], Cristina Piselli[2], Anna Laura Pisello[2], Andrea Presciutti[3], Fabio Bisegna[4], Laura Pompei[4]

1 Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria, Via Vito Volterra 62, 00146 Roma, Italia
2 Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria, Via G. Duranti, 93, 06125 Perugia, Italia
3 Università Telematica Mercatorum, Piazza Mattei, 10 - 00186 - Roma, Italia
4 Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria, Via Eudossiana 18 - 00184 Roma, Italia
5 CIRIAF, Centro Interuniversitario sull'Inquinamento e sull'Ambiente "Mauro Felli", via G. Duranti 67, 06125 Perugia, Italia

* Autore di riferimento. E-Mail: francesco.asdrubali@uniroma3.it

Abstract: La bioedilizia ricopre un ruolo fondamentale nella riduzione dell'uso delle risorse, nonché nella diminuzione degli impatti sulla salute umana e sull'ambiente durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Molti paesi hanno definito procedure di certificazione per valutare le prestazioni energetiche degli edifici. In particolare, alcuni di questi strumenti sono stati sviluppati negli ultimi 20 anni con la finalità di quantificare la riduzione dei consumi energetici e degli impatti ambientali legati alle fasi di progettazione, costruzione, esercizio e gestione degli edifici. Il concetto di sostenibilità coinvolge molteplici campi e può essere applicato a scale molto diverse.

In questo ambito, i protocolli di certificazione possono rivelarsi estremamente utili per quantificare il livello di sostenibilità degli edifici e confrontare alternative legate all'utilizzo di materiali, alle risorse energetiche e ai processi produttivi. Tuttavia, gli operatori coinvolti nell'applicazione di questi sistemi potrebbero ricorrere alla formulazione di ipotesi differenti. Quindi, con lo scopo di verificare l'influenza delle scelte di ciascun operatore sul livello di certificazione finale, è stato condotto un Round Robin Test (RRT) tra vari partner

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_014_pp_164

italiani sull'applicazione della versione italiana del protocollo di certificazione di sostenibilità ambientale LEED (GBC Home) ad un medesimo caso di studio. In questo articolo vengono, quindi, descritti, confrontati e discussi i risultati forniti dai diversi partecipanti al RRT con l'obiettivo di comprendere ed individuare quali siano gli elementi che maggiormente influenzano il punteggio finale e di fornire agli utenti una conoscenza più approfondita degli aspetti inclusi in queste procedure.

Keywords: Round Robin Test, LEED, protocolli di certificazione ambientale in edilizia, simulazione energetica dinamica, edifici sostenibili.

1. Introduzione

Per affrontare una delle sfide più importanti per la nostra società, quella dei cambiamenti climatici, è necessaria una trasformazione radicale del settore edilizio. È ben noto come in Europa gli edifici siano responsabili di oltre il 40% del consumo di energia primaria, perlopiù non rinnovabile e del 40% circa della produzione di rifiuti. Tale stima risulta valida anche per la realtà italiana, a cui si aggiunge un elevato consumo attribuibile al raffrescamento degli edifici [1,2].

Pertanto, il concetto di bioedilizia ha un ruolo cruciale nella progettazione, costruzione e gestione di un edificio, in particolare quando lo scopo è la diminuzione del consumo di risorse, l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e quindi la riduzione degli impatti negativi sulla salute umana e sull'ambiente.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi strumenti di valutazione che hanno lo scopo di quantificare il livello di sostenibilità degli edifici durante l'intero ciclo di vita. Tali strumenti di rating sono chiamati protocolli di certificazione di sostenibilità ambientale e permettono di confrontare l'impatto ambientale di edifici diversi. È possibile, inoltre, utilizzare questi strumenti come linea guida nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione degli stessi.

Storicamente, il primo tipo di etichettatura applicata agli edifici riguardava l'efficienza energetica, uno degli aspetti più importanti [3] anche nell'ambito delle certificazioni di sostenibilità ambientale. Tuttavia, nei protocolli di sostenibilità ambientale, oltre alla grande attenzione rivolta alla parte energetica, vengono affrontate anche ulteriori tematiche ambientali connesse agli edifici, anche se con indicatori differenti per rilevanza e numero. Queste tematiche aggiuntive si rivolgono principalmente alla localizzazione dell'edificio, alla gestione delle risorse idriche e dei materiali, alla qualità e al comfort degli ambienti interni, nonché alla sicurezza da garantire agli occupanti [4].

I protocolli di certificazione di sostenibilità sono stati sviluppati in diversi paesi nel mondo con l'obiettivo di identificare correttamente la sostenibilità degli edifici [5], tra tutti il più diffuso a livello internazionale è il protocollo Statunitense LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Questo è nato nel 1993 ad opera dello USGBC (United States Green Building Council) [6] e approdato in Italia nel 2009 grazie all'impegno di GBC Italia (Green Building Council Italia) [7], associazione italiana cui aderiscono imprese e associazioni operanti nel settore dell'edilizia sostenibile.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Negli ultimi anni sono stati condotti diversi studi che avevano lo scopo di analizzare e confrontare gli approcci metodologici che caratterizzano i diversi sistemi di certificazione di sostenibilità ambientale degli edifici [8–10].

La novità di questo lavoro riguarda l'utilizzo della procedura di Round Robin Test sull'applicazione dei protocolli di sostenibilità ambientale degli edifici. Il Round Robin Testing (RRT) è una nota tecnica in grado di valutare l'efficacia e la riproducibilità di procedure metodologiche o test di laboratorio, può essere applicato per indagare su casi di studio reali oppure per confrontare differenti procedure.

In particolare, in questo studio verranno illustrati e commentati i risultati derivanti dall'applicazione del protocollo GBC Home, specifico per la tipologia edilizia residenziale, da parte di diversi gruppi di ricerca italiani al medesimo edificio. La finalità della ricerca è quella di fornire ai tecnici informazioni esaustive circa i vantaggi e le eventuali problematiche connesse all'utilizzo di tali strumenti di certificazione.

2. Il Protocollo di certificazione di sostenibilità ambientale LEED

Il protocollo LEED [6,11], risulta tra i più diffusi sistemi di rating per la bioedilizia.

In particolare, in questo studio è stata utilizzata la declinazione italiana del protocollo LEED, ossia il GBC Home [12], sviluppato dal Green Building Council Italia (GBC Italia) [7], allineando gli standard internazionali presenti nel protocollo LEED originale al sistema normativo e alle caratteristiche costruttive proprie della realtà edilizia italiana. Questo sistema di rating promuove la salubrità, la durabilità, l'economicità e le migliori pratiche ambientali nella progettazione e nella costruzione degli edifici. Analogamente alla versione statunitense, è organizzato nelle seguenti sette categorie:

(a); Sostenibilità del Sito (SS): in cui si affrontano gli aspetti ambientali legati al sito nell'ambito del quale verrà costruito l'edificio e al rapporto di questo con l'ambiente circostante. L'obiettivo è quello di limitare l'impatto generato dalle attività di costruzione, controllare il deflusso delle acque meteoriche, stimolare modalità e tecniche costruttive rispettose degli equilibri dell'ecosistema. Vengono prese in considerazione anche la densità edilizia, l'utilizzo del trasporto pubblico, la vicinanza ad attività commerciali ed infine l'attenzione prestata alla scelta dei materiali per le superfici esterne e le coperture dell'edificio.

(b); Gestione delle Acque (GA): questa sezione tratta questioni legate all'uso, alla gestione e allo smaltimento delle acque monitorando l'efficienza dei flussi d'acqua e promuovendo la riduzione dei consumi idrici ed il riutilizzo delle acque meteoriche.

(c); Energia ed Atmosfera (EA): in questa macroarea viene promosso il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, l'impiego di energia proveniente da fonti rinnovabili o alternative e il controllo delle prestazioni energetiche dell'edificio. Tale sezione, che costituisce la più onerosa in termini di punteggio massimo perseguibile, propone due approcci per il raggiungimento dei prerequisiti e dei crediti disponibili: il cosiddetto "Prestazionale" e quello "Prescrittivo". In questo studio è stato adottato l'approccio "Prestazionale" in quanto, differentemente da quello "Prescrittivo", richiedeva lo svolgimento di una simulazione energetica in regime dinamico dell'edificio analizzato per la stima dei consumi energetici (come richiesto dalle linee guida del Round Robin Test).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

(d); Materiali e Risorse (MR): in quest'area vengono prese in considerazione le tematiche ambientali correlate alla selezione dei materiali, alla riduzione dell'utilizzo di materiali vergini, allo smaltimento dei rifiuti e alla riduzione dell'impatto ambientale dovuto ai trasporti.

(e); Qualità ambientale Interna (QI): questa categoria affronta gli aspetti correlati alla salubrità e al comfort degli ambienti interni. In particolare, i crediti si riferiscono al miglioramento della ventilazione, del comfort termoigrometrico, dell'illuminazione naturale, nonché al controllo delle sostanze inquinanti presenti nell'aria

(f); Innovazione nella Progettazione (IP): tale sezione è rivolta all'individuazione degli elementi progettuali che si distinguono per le caratteristiche di innovazione e per l'applicazione di pratiche di edilizia sostenibile.

(g); Priorità Regionale (PR): questa macroarea vuole rivolgere l'attenzione dei gruppi di progettazione alle caratteristiche ambientali della località in cui è situato l'edificio.

Ciascuna macroarea è strutturata in prerequisiti e crediti; tutti i crediti valgono almeno 1 punto mentre i prerequisiti sono obbligatori per poter acquisire punti ma non contribuiscono al punteggio.

Le versioni LEEDv4 e GBC Home, pur presentando i medesimi aspetti ambientali, differiscono per la tipologia ed il numero di crediti ottenibili in ciascuna macro-area mentre il punteggio massimo raggiungibile è il medesimo, pari a 100 punti. Inoltre, si possono ottenere ulteriori 10 punti grazie alle categorie "Innovazione" e "Priorità regionale".

In punteggio complessivo totalizzato dall'edificio ne determina il livello di certificazione finale. Esistono quattro diversi livelli di certificazione: *Base*, ottenibile con un punteggio compreso tra i 40 e 49 punti; *Argento*, tra i 50 e i 59 punti; *Oro*, tra i 60 e i 79 punti ed infine *Platino*, che costituisce il livello di certificazione più elevato, raggiungibile con punteggi superiori agli 80 punti (Tab.1).

Tabella 1. Livelli di certificazione dei protocolli GBC Home e LEED.

Protocolli GBC Home e LEED	
Livello di certificazione	**Punteggi**
Base	40-49
Argento	50-59
Oro	60-79
Platino	≥ 80

3. Descrizione del caso di studio

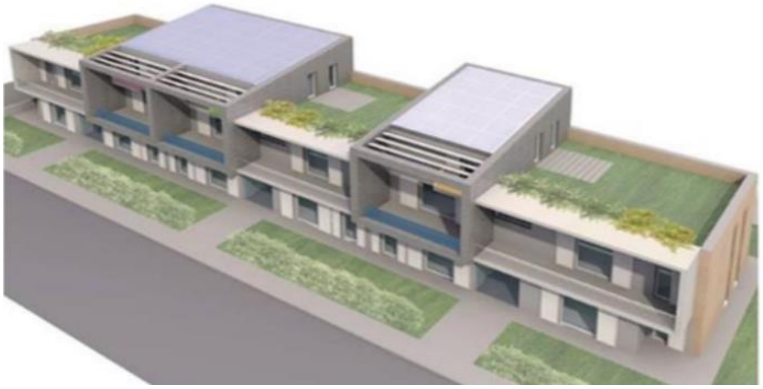
Oggetto del Round Robin Test è stato il complesso residenziale "Le Violette" (Fig. 1), sito nel comune di Foligno (PG) (zona climatica D, secondo il quadro normativo urbanistico italiano [13]), nella regione Umbria (centro Italia).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 1. L'ubicazione dell'edificio studiato.

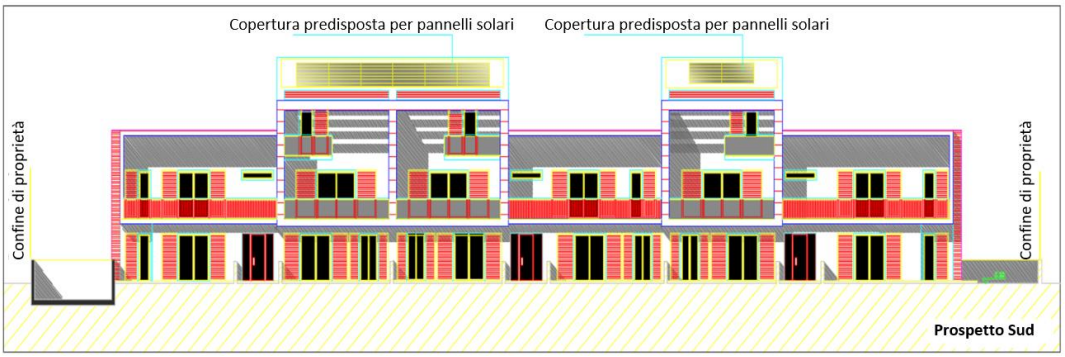
L'edificio oggetto dello studio è costituito da un totale di dodici appartamenti ed è caratterizzato da un livello completamente interrato e tre livelli fuori terra (Fig. 2).

Figura 2. Vista digitale dell'edificio studiato.



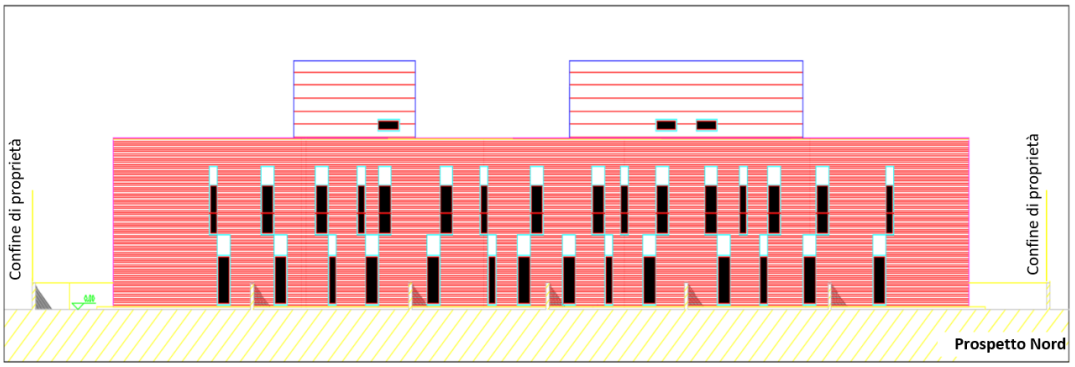
L'edificio risulta compatto con balconi allineati lungo la facciata Sud e la presenza di una copertura piana, ad eccezione dell'area occupata dagli appartamenti bifamiliari. Il piano terra è adibito a garage privati e locali tecnici, mentre gli altri livelli sono esclusivamente ad uso residenziale. Nel complesso sono presenti sei appartamenti al piano terra e sei al primo piano, con superfici comprese tra i 71 m^2 e i 95 m^2. Nelle seguenti figure (Fig.3 e Fig.4) vengono riportati i prospetti Sud e Nord dell'edificio studio, forniti anche come dati di input ai partecipanti del RRT.

Figura 3. Prospetto Sud dell'edificio studio.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 4. Prospetto Nord dell'edificio studio.



Al fine di perseguire gli obiettivi di risparmio energetico e di valorizzazione delle energie rinnovabili, sono state implementate specifiche soluzioni architettoniche e impiantistiche (par. 4.1 e 4.2).

3.1 Soluzioni architettoniche

L'edificio è caratterizzato da diversi accorgimenti progettuali volti a garantire una elevata efficienza energetica e una buona sostenibilità ambientale, tra cui un elevato isolamento termico e una significativa inerzia termica, l'impiego di sistemi passivi per il controllo della luce solare (schermi solari), l'istallazione di coperture verdi sulle porzioni di copertura; l'utilizzo di materiali isolanti biocompatibili certificati (pannello in fibre di abete mineralizzato rivestite con un legante minerale). La Tabella 2 riassume le caratteristiche termiche delle diverse tipologie di pareti presenti nell'edificio di studio.

Tabella 2. Caratteristiche termiche delle diverse tipologie di pareti presenti nell'edificio di studio;

	Caratteristiche termiche				
Tipologia di parete	**Spessore [m]**	**Massa [kg/m^2]**	**Trasmittanza termica [W/m^{2}K]**	**Capacità Termica [kJ/m^{2}K]**	**Resistenza termica [m^{2}K/W]**
Muro perimetrale con mattoni esterni	0.425	420.0	0.335	390.6	2.984
Muro perimetrale con intonaco esterno	0.425	344.0	0.279	326.8	3.589
Parete divisoria interna	0.330	462.0	0.644	455.3	1.533
Pavimento abitazioni	0.405	529.5	0.677	476.3	1.476
Pavimento garage	0.410	469.5	0.317	401.8	3.158
Soffitto abitazioni	0.395	393.0	0.293	334.0	3.411
Tetto verde	0.674	840.3	0.312	714.7	3.204

3.2 Soluzioni impiantistiche

Per quanto riguarda le soluzioni impiantistiche, l'edificio è caratterizzato da:

- un sistema centralizzato con sistemi di coibentazione separati, il quale permette di avere un più alto rendimento del generatore di calore grazie all'effetto scala e quindi di ridurre sensibilmente il consumo di combustibile durante la stagione invernale;

- l'impiego di sistemi di riscaldamento a bassa temperatura. All'interno delle singole unità abitative sono stati previsti pannelli radianti a pavimento con alimentazione ad acqua calda a bassa temperatura.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

L'impianto di riscaldamento ha un funzionamento a condensazione modulante con combustibile costituito da metano ed una potenza massima installata pari a 56 kW;

- l'installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS); quest'ultima avviene mediante l'utilizzo di una caldaia a condensazione a gas metano, con rendimento di generazione η_{gen} pari a 0,96. Inoltre, l'impianto solare termico è stato dimensionato in modo da coprire il 60% del fabbisogno di ACS;

- l'installazione di pannelli fotovoltaici (PV) per l'autoproduzione di energia elettrica mediante radiazione solare;

- un sistema di recupero delle acque piovane per usi irrigui e wc costituito da due serbatoi da 7500 litri ciascuno.

4. Metodologia

Di seguito vengono illustrate le metodologie seguite dai gruppi di ricerca italiani coinvolti nel Round Robin Test, appartenenti alle seguenti università e centri di ricerca: Università degli Studi Roma Tre, CIRIAF, Università degli studi di Perugia, Universitas Mercatorum e Sapienza Università di Roma. Quindi, vengono riportate le versioni del protocollo LEED utilizzate, i software utilizzati per la simulazione energetica dinamica dell'edificio e le ipotesi formulate per l'applicazione del Protocollo.

4.1 Università degli Studi Roma Tre

Il gruppo di ricerca dell'Università Roma TRE ha utilizzato la versione italiana "GBC Home v. 2011" del protocollo LEED per l'edilizia residenziale (Tab. 3) [14]. Pertanto, sono state compilate le medesime aree tematiche illustrate nel paragrafo 3.

La macroarea (c); Energia ed Atmosfera (EA) ha richiesto la simulazione energetica dinamica dell'edificio di studio, tale modello è stato realizzato mediante il software di simulazione Trnsys [15].

Per simulare le condizioni climatiche esterne sono stati considerati i valori medi mensili dell'anno di analisi relativi alla velocità del vento, all'irraggiamento solare, al rapporto di umidità e alla temperatura di una stazione metereologica vicina, ossia quella "Pale di Foligno".

L'impianto di riscaldamento, nel caso dell'edificio reale è stato modellato con pannelli radianti a pavimento mentre nel caso dell'edificio di riferimento mediante dei classici radiatori. Per tener conto nei due modelli delle diverse tipologie impiantistiche, caratterizzate da prestazioni e quindi rendimenti differenti, sono stati calcolati due differenti rendimenti globali termici, pari al prodotto dei rispettivi rendimenti di generazione, emissione, distribuzione e regolazione. Per l'edificio di riferimento è stato considerato un rendimento pari a 0,8 mentre per quello reale pari a 0,9. Successivamente, l'energia primaria è stata calcolata dividendo l'energia termica per riscaldamento per il rendimento globale di ciascun modello. Dalla somma dell'energia primaria fatta su basa oraria per tutti i giorni dell'anno si è ottenuto il consumo di energia primaria in kWh annui per il riscaldamento.

Per quanto riguarda la modellazione dell'edificio, sono state definite 15 zone termiche, soggette alle medesime condizioni di temperatura e umidità relativa, ipotizzando comportamenti termici analoghi per ogni ambiente dei diversi appartamenti. L'edificio è stato modellato nel rispetto delle sue

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

caratteristiche impiantistiche e geometriche e delle proprietà termofisiche dei pacchetti murari e degli infissi, fornite nell'ambito del RRT. La definizione delle pareti ha richiesto l'inserimento dell'area in m^2 delle diverse facce murarie, la loro categoria, il loro orientamento e fattore di vista. Nel caso di pareti verticali quest'ultimo è stato posto pari a 0,5 mentre per le pareti orizzontali superiore pari a 1, in quanto esposte totalmente verso la volta celeste. Invece, il fattore di assorbimento solare del muro frontale e del muro posteriore, legato alla gamma cromatica del muro corrente, è stato assunto per entrambi pari a 0,6. Per le finestre, oltre ai dati forniti, è stato specificato anche il rapporto di area telaio/finestra pari a 0,15, il coefficiente di assorbimento solare pari a 0,6 e il coefficiente di riflessione del dispositivo interno di 0,5. In aggiunta, per ciascuna zona termica, è stato necessario specificare: l'infiltrazione, considerata attiva durante tutto il giorno con un valore costante di 0,3 [1/h]; i setpoint di raffrescamento e riscaldamento, con temperature interne operative minime richieste impostate rispettivamente a 26 ° C e a 20 ° C; l'occupazione, ipotizzata variabile nel corso della giornata (tipo di pianificazione: frazionaria). Infatti, è stato scelto un tipo di occupazione residenziale, in cui il picco si verifica la mattina presto quando le persone sono ancora nei loro appartamenti, diminuisce nell'orario lavorativo (dalle 08.00 alle 17.00) e ricresce dopo le 18.00, in corrispondenza del rientro delle persone nelle loro abitazioni. Come tipo di attività sono state selezionate quelle tipiche che la maggior parte delle persone svolge durante il giorno come cucinare, fare le pulizie, dormire, rilassarsi, etc.

Per determinare i consumi di energia primaria elettrica ci si è riferiti ai consumi medi di letteratura legati all'utilizzo dell'illuminazione e degli elettrodomestici più comuni, rispetto ai tempi di utilizzo degli stessi. Pertanto, è stata considerata un'abitazione di 3-4 persone con una superficie calpestabile massima di 100 m^2, congruamente con la tipologia edilizia del complesso edilizio "le Violette". Per i consumi elettrici dell'edificio "reale" di Foligno si è tenuto conto anche dell'apporto energetico solare. Infatti, l'impianto fotovoltaico (FV) adottato produce 1510 kWh/annui ad appartamento, riuscendo a coprire parte dei consumi elettrici annuali e determinando perciò risparmi significativi. Infine, è stato determinato anche il consumo di energia primaria legato alla produzione di ACS (Acqua Calda Sanitaria). Nell'edificio di "riferimento" è stata considerata la produzione di ACS mediante l'utilizzo di una caldaia a condensazione a metano, con rendimento di generazione pari a 0,96. Pertanto, è stata calcolata la potenza termica trasferita attraverso il fluido termovettore. A tal fine è stato necessario considerare:

- un fabbisogno medio di ACS pari a 150 l/g per la tipologia di appartamento di 3 persone e 200 l/g per appartamenti da 4 persone. Pertanto, il fabbisogno complessivo di ACS risulta pari a 1950 l/g;
- il calore specifico del fluido termovettore, ovvero dell'acqua, pari a 4186 J/kg K;
- la differenza di temperatura tra l'acqua che arriva dalla rete (Tin = 12°C) rispetto a quella che viene prelevata (Tout = 65°C). La potenza termica trasferita è stata quindi calcolata come prodotto di questi tre fattori. Inoltre, moltiplicandolo per 365 giorni, è stata ottenuta la rispettiva energia. Infine, la stima del consumo di energia primaria per la produzione di ACS è stata calcolata attraverso il rapporto tra l'energia suddetta e l'efficienza di generazione della caldaia a condensazione.

Invece, nel modello dell'edificio "reale" è stato considerato il contributo dell'impianto solare termico per il riscaldamento dell'acqua sanitaria. Questo è stato infatti progettato per coprire il 60%

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

del fabbisogno di ACS. Il consumo di energia primaria dovuto alla produzione di ACS nell'edificio "reale" è stato quindi calcolato come il 40% di quello stimato per il "riferimento".

Nella Tabella 3 sono riepilogati i punteggi massimi ottenibili per ciascuna Sezione.

Tabella 3. Sezioni del protocollo GBC Home v 2011 e punteggio massimo ottenibile.

GBC Home 2011	
Sezioni	**Punteggio massimo**
Sostenibilità del Sito (SS)	25
Gestione delle Acque (GA)	10
Energia e Atmosfera (EA)	30
Materiali e Risorse (MR)	15
Qualità ambientale Interna (QI)	20
Innovazione nella Progettazione (IP)	10
Totale	**110**

4.2 CIRIAF

Il gruppo di ricerca del CIRIAF ha applicato il protocollo di certificazione “LEED 2009 Italia NC” [16], versione italiana del protocollo LEED 2009 realizzata dal Green Building Council Italia [7]. Questo strumento di certificazione presenta le medesime macroaree descritte nel paragrafo 3, ma con una differente distribuzione dei crediti e dei punteggi (Tab. 4).

Per la compilazione della prima sezione (SS), oltre alla valutazione degli aspetti legati all'organizzazione e alla gestione delle attività costruttive, al fenomeno isola di calore urbana e all'impatto sulle aree circostanti, sono state valutate anche la posizione e il trasporto pubblico utilizzando supporti di georeferenziazione, mappe di Google o altre app GPS. Per quanto riguarda la sezione Gestione delle Acque (GA), questa ha richiesto la consultazione della scheda tecnica dell'edificio, la quale fornisce informazioni sulle tecnologie innovative per la gestione dell'acqua, sul recupero dell'acqua piovana e sulla presenza di un sistema di recupero delle acque piovane per usi irrigui, costituito da 2 serbatoi di 7500 litri ciascuno. Tali caratteristiche hanno permesso il pieno soddisfacimento della macroarea GA.

Nella sezione energetica (EA) i dati forniti ai partecipanti sono stati utilizzati per sviluppare un modello dell'edificio mediante il software di simulazione energetica dinamica Trnsys [15]. Per analizzare il comfort termico, l'intero edificio è stato suddiviso in 12 zone termiche, con impianto di riscaldamento funzionante dal 15 ottobre al 15 aprile. Durante la stagione invernale la temperatura di set-point è fissata a 20 ° C, mentre in quella estiva a 26 ° C. Per limitare gli effetti economici e ambientali legati all'uso dell'energia convenzionale, è stato considerato anche l'utilizzo di energia rinnovabile in loco. Nella sezione Materiali e Risorse (MR) si è tenuto conto della presenza dei materiali biocompatibili certificati di cui è fornito il complesso residenziale “Le Violette”, delle aree designate per lo stoccaggio e la raccolta riciclabile, visibili dalle mappe fornite, e del riutilizzo dei materiali esistenti. Inoltre, la verifica termoigrometrica eseguita con il metodo *Glaser* sui componenti edilizi ha permesso di aumentare il punteggio di questa sezione [17].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 4. Sezioni del protocollo LEED Italia 2009 e punteggio massimo ottenibile.

LEED Italia 2009 "Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni"	
Sezioni	**Punteggio Massimo**
Sostenibilità del Sito (SS)	26
Gestione delle Acque (GA)	10
Energia e Atmosfera (EA)	35
Materiali e Risorse (MR)	14
Qualità ambientale Interna (QI)	15
Innovazione (IP)	6
Priorità Regionali (PR)	4
Totale	**110**

4.3 Università degli Studi di Perugia

L'Università degli Studi di Perugia ha applicato lo stesso protocollo utilizzato dall'Università degli Studi Roma Tre, ovvero il GBC Home 2011 per edifici residenziali [14]. Pertanto, la valutazione è stata organizzata seguendo le stesse Sezioni e principi illustrati nel precedente paragrafo 3, considerando i livelli di certificazione elencati in Tabella 1 ed i punteggi massimi perseguibili per ciascuna Sezione riportati nella Tabella 3.

Seguendo l'approccio "Prestazionale", per l'attribuzione del punteggio nella categoria energetica (EA) del Protocollo è stato necessario quantificare il consumo annuo di energia primaria per riscaldamento, raffrescamento, produzione di ACS e componenti elettriche mediante due simulazioni energetiche, relative all'edificio di studio e a quello di "riferimento", utilizzando l'ambiente di simulazione EnergyPlus [18] e l'interfaccia grafica DesignBuilder v6 [19]. Il file meteo utilizzato per la simulazione è stato sviluppato specificatamente per l'ubicazione dell'edificio di Foligno con il software Meteonorm [20]. Durante la modellazione degli edifici, sono state formulate diverse ipotesi. Sulla base delle conoscenze sulla progettazione dell'edificio, al fine di soddisfare elevate prestazioni di efficienza energetica, si è ipotizzato un coefficiente di assorbimento solare pari a 0,8 per le persiane e pari a 0,6 per il rivestimento esterno del tetto inclinato. Inoltre, in base alla normativa vigente, è stata considerata una tenuta all'aria pari a 0,3 1/h. Per quanto riguarda il sistema di riscaldamento e sanitario, è stata considerata un'efficienza totale pari a 0,88 (tenendo conto di emissione, generazione, distribuzione e regolazione). Invece, per i sistemi di condizionamento autonomo (split) installati in ciascun appartamento è stato considerato un rapporto di efficienza energetica EER (Energy Efficiency Ratio) pari a 3. Per quanto riguarda la ventilazione, data l'indicazione sui corretti ricambi d'aria interni dei singoli appartamenti grazie al doppio affaccio, è stata selezionata l'impostazione "minima aria fresca per persona". Questa impostazione definisce il tasso di ventilazione in base al fabbisogno minimo di aria fresca per l'attività specifica svolta nella zona, calcolato come aria fresca (l/s persona) per densità di occupazione (persone/m^2) per zona di superficie del pavimento (m^2). L'occupazione e le attività, compreso l'uso di apparecchiature ed elettrodomestici, sono state modellate in modo analogo per i due modelli edilizi, utilizzando la tipologia di occupazione standard disponibile nel database di DesignBuilder [21]. Infine, la densità di occupazione è stata calcolata in base al numero previsto di occupanti per unità, ovvero 3 o 4.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.4 Universitas Mercatorum

Anche il gruppo di ricerca dell'Universitas Mercatoum ha utilizzato la versione italiana locale GBC Home 2011 [14] del protocollo LEED. La Tabella 3 (par. 5.1) mostra i punteggi massimi ottenibili per ciascuna sezione del Protocollo. A livello metodologico, per la compilazione della sezione Sostenibilità del Sito (SS) è stato necessario valutare l'impatto dell'edificio sul territorio circostante, la vicinanza ai servizi e la disponibilità del trasporto pubblico mediante supporti di georeferenziazione come Google Earth e mappe delle città italiane. I dati relativi allo sviluppo del fenomeno isola di calore urbana e alla gestione dell'acqua piovana sono stati forniti dalle schede tecniche dell'edificio mentre le informazioni sulla disponibilità del trasporto pubblico sono state individuate mediante applicazioni per la mobilità urbana come Google e Moovit. Per l'attribuzione del punteggio nella sezione Gestione delle Acque (GA) sono state consultate le schede tecniche dell'edificio, le quali forniscono informazioni sui tetti verdi e lo spessore dello strato di terra, l'utilizzo della tecnologia di pianificazione intelligente dell'acqua, la presenza del sistema di recupero dell'acqua piovana (7500 litri) ed il suo riutilizzo per le acque reflue domestiche. Inoltre, il quantitativo di acqua piovana disponibile è stato stimato consultando i dati meteo relativi alle precipitazioni registrate a Foligno. Invece, il consumo standard di acqua non potabile per apparecchiatura (WC, rubinetti, docce) è stato ipotizzato in base ai volari forniti dal Protocollo. Tali informazioni hanno permesso di determinare la percentuale di consumo idrico coperto con acqua piovana e la relativa riduzione percentuale di consumo idrico potabile.

Le prestazioni energetiche dell'edificio sono state definite attraverso lo svolgimento di simulazioni dinamiche mediante il software Trnsys (approccio "Prestazionale"). I dati edilizi relativi ai pacchetti murari, alle piante, ai prospetti e quelli riferiti all'impianto di riscaldamento e raffrescamento (modello e potenza delle macchine) hanno permesso di realizzare il modello edilizio e di determinare la riduzione dei consumi energetici rispetto all'edificio di "riferimento" (ASHRAE Standard 90.1-2007). Sono state realizzate 12 zone termiche, ipotizzando il funzionamento dell'impianto di riscaldamento dal 15 ottobre al 15 aprile, con temperatura di setpoint di 20°C. Invece, per il sistema di raffrescamento è stato ipotizzato come periodo di funzionamento quello compreso tra aprile e settembre, quando la temperatura interna risulta superiore a 26°C. L'impianto solare termico è stato dimensionato in modo da coprire il 60% del fabbisogno di ACS e l'impianto fotovoltaico copre il 50% del tetto.

Nella compilazione della sezione Materiali e Risorse (MR) si è tenuto conto che il progetto dell'edificio di studio è risultato vincitore di un bando di bioedilizia per la sua attenzione all'ambiente e all'utilizzo di materiali biocompatibili e certificati (come Celenit).

Nella macroarea Qualità ambientale Interna (QI) è stata considerata la presenza di un sistema di ventilazione secondo lo standard ASHRAE, di apparecchiature di misurazione del flusso d'aria, della programmazione del sistema di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (HVAC) e del sistema di automazione degli edifici (BAS). Inoltre, il raffrescamento estivo con pavimento radiante prevede un sistema di controllo dell'umidità. La percentuale di superficie illuminata dai raggi solari è stata valutata in base alla pianta e all'orientamento dell'edificio. Infine, le prestazioni acustiche sono state stimate conoscendo la geometria e i materiali delle superfici verticali e orizzontali.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.5 Sapienza Università di Roma

A differenza degli altri partner del progetto, il gruppo di ricerca della Sapienza Università di Roma ha applicato il protocollo GBC Home v2 (Tab. 5) per edifici residenziali del 2018 [22], una versione rivista del GBC Home pubblicato nel 2011. Differentemente dalle altre versioni del Protocollo GBC Home, la sezione energetica presenta unicamente l'approccio prestazionale ed è caratterizzata da 3 crediti: "Ottimizzazione della prestazione energetica degli edifici" (che comprende la produzione di acqua calda sanitaria), "Elettrodomestici" e "Produzione in sito di energia da fonti rinnovabili", testimoniando, rispetto alla precedente versione, il conferimento di maggior importanza verso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili. In questo studio la modellazione degli edifici è stata condotta con il software di simulazione energetica dinamica Grasshopper/Archsim (uno strumento della società Rhinoceros) [23], utilizzando meticolosamente i dati di input forniti nell'ambito del RRT.

Infine, nella nuova versione della GBC Home sono stati considerati aspetti notevolmente innovativi come la "Certificazione Multicriteria" e l'"Ottimizzazione ambientale dei prodotti". In particolare, quest'ultimo valuta le Dichiarazioni Ambientale di Prodotto (EPD) e il loro Life Cycle Assessment.

Tabella 5. Sezioni del protocollo GBC Home v2 e punteggio massimo ottenibile.

GBC Home v2	
Sezione	**Punteggio massimo**
Sostenibilità del Sito (SS)	22
Gestione delle Acque (GA)	12
Energia e Atmosfera (EA)	32
Materiali e Risorse (MR)	14
Qualità ambientale Interna (QI)	20
Innovazione nella Progettazione (IP)	10
Totale	**110**

5. Risultati

5.1 Università Roma Tre

Attraverso l'applicazione del protocollo GBC Home v. 2011, il gruppo di ricerca dell'Università degli Studi Roma Tre ha attribuito all'edificio di studio un punteggio complessivo pari a 89/110 (Tab. 6), perseguendo il massimo livello di certificazione, ossia Platino (Tab. 1). Vengono presentati di seguito i risultati per ciascuna categoria:

(a); Sostenibilità del Sito (SS): in questa sezione è stato ottenuto un punteggio complessivo di 21 punti su 25. Non è stato possibile raggiungere il punteggio massimo per quanto riguarda il Credito 5 e il Credito 11, "Vicinanza ai trasporti pubblici" e " Aree comuni: spazi di relazione e spazi comuni ". Nel primo caso a causa di una distanza per il raggiungimento delle fermate pubbliche superiore al valore minimo imposto dal protocollo; nel secondo, in quanto il complesso edilizio "Le Violette" non soddisfaceva il requisito "Spazi per le relazioni interne", focalizzato sulla realizzazione di spazi comuni per attività ludiche, di incontro e di comunicazione.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

(b); Gestione delle Acque (GA): questa categoria ha raggiunto il punteggio massimo (10 punti). In particolare, ipotizzando l'utilizzo di dispositivi a bassa portata, l'edificio analizzato ha ottenuto un risparmio idrico superiore al 36% rispetto all' edificio di "riferimento", caratterizzato da caratteristiche e consumi idrici fissati dal protocollo. Inoltre, è risultata soddisfatta anche l'opzione che richiedeva l'installazione di un sistema di recupero delle acque meteoriche per usi interni non potabili, come quelli destinati ad uso wc. Infine, si è ipotizzato l'assolvimento anche del credito "Riduzione dei consumi idrici a fini irrigui", tenendo conto di entrambe le sue fasi, ovvero "Caratteristiche dei suoli, specie utilizzate e sistemi di irrigazione" e "Presenza di un sistema di raccolta e accumulo di acqua piovana ".

c); Energia e Atmosfera (EA): per questa macroarea è stato adottato l'approccio prestazionale, che considera 2 crediti: "Ottimizzazione della prestazione energetica" (1EA) e "Produzione e distribuzione efficiente di acqua calda sanitaria" (6 EA). La simulazione energetica dinamica dell'edificio studiato ha evidenziato un miglioramento dell'indice di prestazione energetica pari al 56,2% rispetto all'edificio di "riferimento", determinando un punteggio pari a 23 punti su 27 (1EA). La modellazione energetica del complesso residenziale "Le Violette", eseguita dal software dinamico Trnsys, ha permesso di valutare il consumo annuo di energia primaria dovuto al fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento, alla componente elettrica e alla produzione di acqua calda sanitaria. Il risultato ottenuto sottolinea l'efficacia delle soluzioni impiantistiche impiegate nell'edificio studiato.

Al credito 6EA sono stati attribuiti 3 punti su 6, assumendo soddisfatti i requisiti di "Isolamento tubazioni" e "Dispositivi per la produzione di acqua calda sanitaria ad alta efficienza". Questa scelta è stata fatta in virtù della grande attenzione rivolta all'efficienza e al risparmio energetico. Pertanto, questa sezione ha ottenuto un punteggio complessivo di 26 su 30 punti.

(d); Materiali e Risorse (MR): questa sezione ha ottenuto 10 punti su un totale di 15. Nonostante l'utilizzo di materiali certificati e a basse emissioni, 3 crediti non sono stati pienamente soddisfatti, ovvero: 1 MR "Riutilizzo di elementi strutturali e non strutturali di edifici" (0 punti), 2 MR "Gestione rifiuti da costruzione" e 4 MR "Contenuto riciclato" che ha ottenuto 1 su 2 punti.

(e); Qualità ambientale Interna (QI): qui sono stati raggiunti 17 punti su 20. L'edificio è caratterizzato da caratteristiche progettuali volte alla protezione dagli inquinanti e al controllo dei contaminanti interni. Inoltre, sono stati impiegati materiali da costruzione certificati, biocompatibili e fonoassorbenti ed è stato scelto un buon orientamento dell'edificio (Nord-Sud), garantendo anche una soddisfacente illuminazione interna. Inoltre, la sua forma compatta è in grado di minimizzare la superficie disperdente esterna e l'utilizzo dei frangisole permette di proteggere ulteriormente l'ambiente interno dall'irraggiamento solare diretto, soprattutto durante il periodo estivo. Il Credito 1 QI "Ventilazione con aria esterna" non ha ottenuto il punteggio massimo, ipotizzando l'opzione "Ventilazione a doppio flusso" non verificata mentre per il Credito 5 QI "Distribuzione ambienti riscaldati e raffrescati" è stata ipotizzata soddisfatta solo una opzione su tre.

(f); Innovazione nella Progettazione (IP): infine, nell'ultima sezione è stato attribuito un punteggio pari a 5 punti su 10, con il soddisfacimento sia dell'opzione 2 "Prestazione Esemplare" che dell'opzione 3 "Priorità Regionale" del credito 4 "Innovazione nella progettazione e priorità regionale".

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 6. Punteggio massimo e punteggio ottenuto dall'applicazione dell'Università degli Studi Roma Tre per ciascuna sezione dei protocolli GBC Home.

Università degli Studi Roma Tre, GBC Home 2011		
Sezione	**Punteggio massimo**	**Punteggio ottenuto**
Sostenibilità del Sito (SS)	25	21
Gestione delle Acque (GA)	10	10
Energia e Atmosfera (EA)	30	26
Materiali e Risorse (MR)	15	10
Qualità ambientale Interna (QI)	20	17
Innovazione (IP)	10	5
Totale	**110**	**89**

5.2 CIRIAF

Il gruppo di ricerca CIRIAF dell'Università di Perugia ha ottenuto dall'applicazione del protocollo LEED Italia 2009 (Tab. 7) un punteggio finale pari a 85 punti su 110 ed il livello di certificazione Platino.

a); Sostenibilità del Sito (SS): questa sezione ha totalizzato 18 punti su 26. Infatti, l'edificio selezionato non ha raggiunto il punteggio massimo a causa dei Crediti 2, 3, 4.1, 4.3, 4.4 e 6.2. Infatti, la vicinanza ai servizi, l'accesso ai trasporti pubblici e a basse emissioni, gli spazi di relazione interni ed esterni non hanno soddisfatto pienamente le condizioni imposte dal protocollo.

b); Gestione delle Acque (GA): questa categoria ha raggiunto un punteggio pari a 8 punti su 10. Per il credito "Riduzione del consumo di acqua potabile e ad uso domestico" sono stati attribuiti 4 punti in quanto l'edificio di studio comprende strategie come la programmazione intelligente, in grado di determinare un risparmio idrico complessivo superiore al 30%. Anche il credito 2 "Gestione efficiente dell'acqua per usi irrigui" ha ottenuto 4 punti poiché l'edificio presta attenzione al riutilizzo dell'acqua piovana per usi irrigui grazie anche alla presenza di appositi serbatoi di accumulo.

c); Energia ed Atmosfera (EA): per questa sezione l'edificio ha perseguito un punteggio complessivo di 27 punti su 35. Per il credito 1EA, "Ottimizzazione delle prestazioni energetiche", è stato implementato un approccio prestazionale che ha ottenuto 19 punti. Nel modello energetico dell'edificio residenziale la domanda di energia è stata ridotta del 52%, un valore superiore al benchmark del protocollo. Per il Credito 2, "Produzione di energia rinnovabile in loco", è stato raggiunto un valore superiore rispetto a quello definito dal protocollo (13%), quindi sono stati assegnati ulteriori 7 punti massimi in virtù dell'installazione di pannelli solari integrati e collettori di acqua calda. Per i Crediti 3, 4 e 5, attenendosi ai dati forniti dalle linee guida del RRT, l'edificio progettato non ha soddisfatto i valori fissati del protocollo LEED 2009, quindi sono stati assegnati punteggi nulli.

Le tubazioni dell'impianto di distribuzione dell'acqua calda dell'edificio, essendo adeguatamente rivestite da un materiale isolante, rendono efficiente la distribuzione dell'acqua calda, permettono il conseguimento del punteggio massimo specifico, pari a 3 punti.

d); Materiali e Risorse (MR): questa macroarea ha raggiunto un punteggio totale di 7 punti su 14.

I quattro crediti che non hanno soddisfatto pienamente i requisiti risultano: 1.1 "Riuso dell'edificio" (1 punto su 3), 2 "Gestione dei rifiuti di costruzione" (1 punto su 2), 4 "Contenuto di riciclato" (1 punto

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

su 2) ed il credito 5 "Materiali regionali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata" che ha ottenuto 1 punto su 2 a causa delle limitate informazioni fornite dalla scheda tecnica dell'edificio.

e); Qualità ambientale Interna (QI): questa categoria ha conseguito il punteggio massimo, pari a 15 punti su 15. Infatti, i due prerequisiti ed i crediti presenti sono stati soddisfatti, dalle topografie progettuali dell'edificio, alla prevenzione dagli inquinanti, al controllo della contaminazione interna sino all'utilizzo di materiali certificati e biocompatibili ed al sistema di controllo della qualità dell'aria interna e della ventilazione.

f); Innovazione nella Progettazione (IP): valutando la progettazione dell'edificio, le sue prestazioni esemplari, le strategie utilizzate per il miglioramento della qualità ambientale interna e l'integrazione delle fonti rinnovabili, l'edificio ha ottenuto il punteggio massimo di 6 punti su 6. Anche il credito 2 "Professionista accreditato LEED" ha ottenuto il punteggio poiché uno dei partecipanti principali è un Professionista accreditato LEED.

g); Priorità Regionale (PR): anche in questa categoria è stato ottenuto il punteggio massimo (4 punti su 4). L'edificio si trova nella parte ben sviluppata della città, verificando quindi ogni credito specifico, ovvero: ambiente geograficamente specifico, salute pubblica, sicurezza sociale e uguaglianza sociale.

Tabella 7. Punteggio massimo e punteggio ottenuto dall'applicazione dell'Università CIRIAF di Perugia per ciascuna sezione dei protocolli GBC Home.

CIRIAF, LEED Italia 2009		
Sezione	**Punteggio massimo**	**Punteggio ottenuto**
Sostenibilità del Sito (SS)	26	18
Gestione delle Acque (GA)	10	8
Energia e Atmosfera (EA)	35	27
Materiali e Risorse (MR)	14	7
Qualità ambientale Interna (QI)	15	15
Innovazione nella Progettazione (IP)	6	6
Priorità Regionali (PR)	4	4
Totale	**110**	**85**

5.3 Università degli Studi di Perugia

L'applicazione del protocollo GBC Home all'edificio di studio condotta dal gruppo di ricerca dell'Università degli Studi di Perugia ha totalizzato il punteggio di 82/110 (Tab. 8), conseguendo dunque il massimo livello di certificazione Platino.

(a); Sostenibilità del Sito (SS): questa categoria ha raggiunto un punteggio di 15 punti su 25. L'edificio di studio è situato in un'area rurale destinata all'edificazione secondo il piano di zonizzazione locale. Non è stato possibile attribuire alcun punto al Credito 2 "Modalità di regolamento", al Credito 4 "Prossimità ai servizi", al Credito 5 "Vicinanza ai trasporti pubblici" e al Credito 11 "Aree comuni: spazi di relazione e spazi comuni". Nel primo non vengono rispettate né l'opzione 1 né l'opzione 2, ovvero "Riempimento degli spazi vuoti" e "Riqualificazione di siti contaminati". Infatti, nel primo caso è risultato che il perimetro del lotto confina per meno del 75% con terreni già edificati, non rispettando

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

le prescrizioni del Protocollo mentre nel secondo caso non vi è alcuna indicazione sul fatto che il sito fosse in precedenza un sito brownfield, ossia inquinato. Per quanto riguarda il secondo credito in elenco, secondo la ricerca condotta con Google Maps e Google Earth, sono stati calcolati meno di dieci servizi di base all'interno dei 500 m circostanti l'edificio, non soddisfacendo così il credito. Relativamente al Credito 5, la distanza minima tra l'edificio e la stazione ferroviaria più vicina risulta superiore al valore minimo imposto dal protocollo; non c'è la metropolitana e sembra che ci sia solo una linea di autobus che attraversa l'area. Inoltre, il complesso "Le Violette" non è dotato di spazi comuni interni né esterni (Credito 11). Infine, si è ipotizzato che il parcheggio per le biciclette fosse assente.

(b); Gestione delle Acque (GA): per questa categoria si ottiene un punteggio di 7 punti su 10. Infatti, solo il Credito 2 “Riduzione dei consumi idrici per scopi irrigui” è pienamente soddisfatto, poiché la superficie delle aree verdi è superiore al 20% delle aree esterne, compreso il tetto verde, ed è conforme ai requisiti del protocollo. Per quanto riguarda il Credito 1 “Riduzione consumi di acqua per uso domestico”, si ottengono solo 3 punti su 6 poiché l'edificio è dotato di un sistema di recupero dell'acqua piovana per uso lavatrice e wc, anche grazie alla presenza del giardino pensile. Tuttavia, non disponendo di informazioni relative all'adozione di strategie specifiche per il risparmio idrico nelle attrezzature degli edifici, non sono stati attribuiti punti aggiuntivi.

(c); Energia e Atmosfera (EA): i risultati della simulazione dinamica hanno evidenziato un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio analizzato rispetto all'edificio di “riferimento” pari al 50,3%, determinando un punteggio di 20 punti su 27 per il Credito 1 e sottolineando l'efficacia delle soluzioni di efficienza energetica implementate nel complesso “Le Violette”.

Inoltre, il Credito 6 sull'efficienza del sistema ACS è stato assunto pienamente soddisfatto grazie alla presenza adeguato isolamento termico delle tubazioni e al fatto che l'edificio dispone di un impianto solare termico in grado di coprire il 60% del fabbisogno di ACS. In conclusione, il punteggio totale raggiunto in questa categoria è pari a 23 punti su 30.

(d); Materiali e risorse (MR): in questa sezione è stato raggiunto un punteggio elevato, pari a 13 punti su 15. Infatti, nella progettazione e realizzazione dell’edificio è stata prestata particolare attenzione all'utilizzo di materiali certificati, sostenibili e durevoli e alla raccolta e riciclo dei rifiuti. Solo due crediti sono stati parzialmente soddisfatti, ovvero il Credito 2 “Gestione dei rifiuti da costruzione”, poiché si presume che durante la fase di costruzione il 75% dei rifiuti sia stato riciclato o recuperato, e il Credito 4 “Contenuto riciclato”, dove si considera il 10% di contenuto riciclato.

(e); Qualità ambientale Interna (QI): questa categoria ha ottenuto 18 punti su 20. L’edificio vanta dell’utilizzo di materiali da costruzione certificati, di sistemi di isolamento acustico e della soluzione passiva del tetto verde. Inoltre, i frangisole, la forma e l'orientamento dell’edificio sono stati adeguatamente progettati per garantire l'uso ottimale della radiazione solare, della luce naturale e della ventilazione naturale. Infine, i pannelli radianti a pavimento per riscaldamento presenti risultano un’ottima soluzione in termini di comfort termico poiché riducono al minimo il gradiente di temperatura verticale operando principalmente per irraggiamento. Invece, al Credito 4 “Sistemi di

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

estrazione" non è stato attribuito alcun punteggio poiché non è stata fornita alcuna indicazione sui sistemi avanzati di estrazione dell'aria.

(f); Innovazione nel Design (IP): in questa sezione sono stati raggiunti 6 punti su 10, considerando anche il fatto che l'edificio è risultato vincitore di un bando di bioedilizia.

Tabella 8. Punteggio massimo vs. punteggio ottenuto per ciascuna sezione del protocollo GBC Home dall'applicativo dell'Università degli Studi di Perugia.

Università degli Studi di Perugia, GBC Home 2011		
Sezione	**Punteggio massimo**	**Punteggio ottenuto**
Sostenibilità del Sito (SS)	25	15
Gestione delle Acque (GA)	10	7
Energia ed Atmosfera (EA)	30	23
Materiali e Risorse (MR)	15	13
Qualità ambientale Interna (QI)	20	18
Innovazione nella Progettazione (IP)	10	6
Totale	**110**	**82**

5.4 Universitas Mercatorum

A seguito dell'applicazione del Protocollo GBC Home 2011 all'edificio di studio, anche il gruppo di ricerca dell'Universitas Mercatorum ha raggiunto il livello di certificazione Platino, con un punteggio complessivo di 82 punti su 110 (Tab.9).

(a); Sostenibilità del Sito (SS): questa prima sezione ha ottenuto un punteggio pari a 20 punti su 25. Infatti, non sono risultati soddisfatti i crediti relativi alla vicinanza a trasporti pubblici e sulla disponibilità di spazi comuni. Invece, è stato attribuito 1 punto ipotizzando la disponibilità del parcheggio per le biciclette in un'area comune dell'edificio.

(b); Gestione delle Acque (GA): quest'area ha ottenuto 9 punti su 10. Tuttavia, il basso spessore del terreno sul tetto (0,3 m) ha determinato l'impossibilità di piantare alberi ad alto fusto.

Pertanto, secondo i criteri del protocollo GBC, il Credito 2 GA "Riduzione del consumo di acqua per scopi irrigui" può raggiungere solamente 3 punti su 4.

(c); Energia e atmosfera (EA): seguendo l'approccio prestazionale e realizzando con il software Trnsys la simulazione dinamica energetica dell'edificio, il credito 1EA: "Ottimizzazione della prestazione energetica" ha raggiunto 20 punti su 27 in virtù di un miglioramento dell'indice di prestazione energetica pari al 52%. Questo è stato possibile in virtù degli accorgimenti progettuali presenti, come l'utilizzo di energia rinnovabile prodotta dal solare termico e dell'impianto fotovoltaico o la presenza schermatura solare nell'edificio. Il credito "Produzione e distribuzione efficiente di acqua calda sanitaria" (6 EA) ha ottenuto il punteggio massimo (3 punti) grazie all'utilizzo di spessori di isolamento delle tubazioni di riscaldamento e raffrescamento superiori a quelli consigliati.

(d); Materiali e risorse (MR): per quest'area sono stati assegnati 9 punti su 15. L'edificio analizzato è di nuova costruzione e non sono note informazioni sugli elementi strutturali.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Pertanto, non è stato dato nessun punteggio ai crediti 1 MR "Riutilizzo di elementi strutturali e non di edifici" e 2 MR "Gestione dei rifiuti da costruzione".

e); Qualità Ambientale Interna (QI): questa sezione ha raggiunto 16 punti su 29. Nel Credito 1 “Ventilazione con aria esterna” è stata attribuito un solo punto per l'assenza di un sistema di doppia ventilazione. L'impiego della pompa di calore permette di evitare la produzione di fumi aggiungendo 1 punto al punteggio finale. Il controllo dell'inquinamento atmosferico e dell'umidità è garantito dalla presenza di un sistema di raffrescamento con pavimento radiante. La scelta del pavimento radiante per il riscaldamento e raffrescamento permette di guadagnare ulteriori 3 punti per il Credito 5 QI "Distribuzione del riscaldamento e ambienti rinfrescati ". Grazie all'ingresso indipendente dei garage, al basso rischio di contaminazione da radon nel territorio di Foligno, all’utilizzo della luce solare e al buon livello di insolazione acustica, gli altri crediti QI ha ottenuto il punteggio massimo.

(f); Innovazione nella Progettazione (IP): in questa sezione è stato possibile ottenere solo 5 punti su 10.

Tabella 9. Punteggio massimo e punteggio ottenuto dall'applicazione di Universitas Mercatorum per ogni sezione dei protocolli GBC Home.

Universitas Mercatorum, GBC Home 2011		
Sezione	**Punteggio massimo**	**Punteggio ottenuto**
Sostenibilità del Sito (SS)	25	20
Gestione delle Acque (GA)	10	9
Energia ed Atmosfera (EA)	30	23
Materiali e Risorse (MR)	15	9
Qualità ambientale Interna (QI)	20	16
Innovazione nella Progettazione (IP)	10	5
Totale	**110**	**82**

5.5 Sapienza Università di Roma

Anche il gruppo di ricerca della Sapienza Università di Roma ha conseguito, applicando il protocollo GBC Home per edifici residenziali v2 2018 [29], il livello di certificazione massimo (Platino) ottenendo un punteggio complessivo di 83 punti su 110 (Tab. 10).

(a); Sostenibilità del Sito (SS): la prima categoria ha totalizzato un punteggio di 21 punti a 22. Tutti i crediti hanno raggiunto il punteggio massimo, ad eccezione del credito 6 “Spazio comune: spazi di relazione e comune spazi” a causa dell'assenza di uno spazio condiviso all'interno dell'edificio.

(b); Gestione delle Acque (GA): entrambi i crediti della sezione hanno ottenuto risultati performanti, determinando un punteggio complessivo pari a 11 punti su 12. Nel primo credito, “Riduzione dei consumi idrici”, è stata considerata l'installazione di due sistemi di recupero dell'acqua piovana per usi interni non potabili ciascuno di 7500 litri di capacità, determinando una consistente riduzione del consumo di acqua (circa il 50%). Invece, il secondo credito “Gestione efficiente dell'acqua ai fini irrigui”

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

ha raggiunto il punteggio massimo (7) grazie anche alla presenza di diverse tipologie di vegetazione nelle aree verdi.

(c); Energia ed Atmosfera (EA): la sezione energetica ha raggiunto un punteggio complessivo di 21 punti su 32. Le simulazioni dinamiche sono state eseguite utilizzando Grasshopper/Archsim, un plug-in gratuito di Rhinoceros. Confrontando i risultati del modello dell'edificio "reale" con quello "di riferimento", è stato quantificato un notevole miglioramento in termini di prestazione energetica, fino al 30%, fornendo un punteggio di 12 punti. Il secondo credito, la "Disponibilità di fonti energetiche rinnovabili", è stato completamente soddisfatto grazie alla presenza di pannelli fotovoltaici sul tetto, che garantiscono una produzione di energia elettrica in grado di coprire il 55% del fabbisogno energetico dell'edificio. Infine, l'adozione di elettrodomestici ad alta efficienza ha permesso di ottenere 1 punto su 2 per il terzo credito (3 EA, "Elettrodomestici"). In generale, tali risultati sono in linea con le prestazioni dei sistemi energetici installati nell'edificio analizzato, i quali garantiscono di per sé consistenti riduzioni dei consumi energetici.

(d); Materiali e risorse (MR): in questa categoria l'edificio ha ottenuto un punteggio di 9 punti su 14. Questa sezione è suddivisa in 5 crediti: il "Riutilizzo di elementi strutturali e non degli edifici" (MR 1), la "Gestione dei rifiuti da demolizione e costruzione" (MR 2), la "Certificazione Multicriteria" (MR 3), l '"Ottimizzazione ambientale dei prodotti" (MR 4) e i "Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza" (MR 5). Il primo credito (MR 1) non è risultato soddisfatto poiché l'edificio si colloca come una nuova costruzione. Nei crediti MR 2 e MR 5 è stato attribuito un punteggio pari ad 1 su 2 mentre per altri crediti (MR 3 e MR 4) l'edificio ha raggiunto il punteggio massimo grazie all'utilizzo di materiali biocompatibili in grado di soddisfare i requisiti della certificazione Multicriteria definita nel protocollo.

e); Qualità ambientale Interna (QI): i sei crediti di questa sezione hanno permesso di ottenere 13 punti su 20. In dettaglio, solo tre crediti hanno raggiunto il punteggio totale, ovvero: la "Qualità dell'aria indoor in costruzione" (QI 2), "I materiali a bassa emissione" (QI 3) e il "Bilanciamento delle reti di distribuzione" (QI 5), raggiungendo rispettivamente 2, 3 e 5 punti.

(f); Innovazione nella Progettazione (IP): quest'ultima sezione ha permesso di conseguire ulteriori 8 punti.

Tabella 10. Punteggio massimo e punteggio ottenuto dall'applicazione della Sapienza-Università di Roma per ciascuna sezione del protocollo GBC Home per edifici residenziali v2.

Sapienza Università di Roma, GBC Home v2		
Sezione	**Punteggio massimo**	**Punteggio ottenuto**
Sostenibilità del Sito (SS)	22	21
Gestione delle Acque (GA)	12	11
Energia ed Atmosfera (EA)	32	21
Materiali e Risorse (MR)	14	9
Qualità ambientale Interna (QI)	20	13
Innovazione nella Progettazione (IP)	10	8
Totale	**110**	**83**

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

6. Discussione

In questa sezione vengono confrontati e discussi i risultati ottenuti dai diversi gruppi di ricerca coinvolti nel Round Robin Test.

A tutti i partecipanti sono state fornite gli stessi dati di input, senza tuttavia specificare né la versione del protocollo LEED da adottare né il software dinamico con il quale simulare il comportamento dell'edificio. Lo scopo è stato quello di valutare se tali scelte potessero influenzare la valutazione finale e, quindi, il livello di certificazione raggiunto. I partecipanti hanno deciso di adottare tre differenti declinazioni italiane del protocollo LEED, in particolare la versione GBC Home 2011, LEED Italia 2009 e GBC Home v2 e 3 diversi software di simulazione energetica dinamica, ovvero Trnsys, Grasshopper/Archsim e DesignBuilder (su motore di calcolo EnergyPlus).

Tabella 11. Confronto tra le sezioni tematiche delle versioni del protocollo LEED utilizzate nell'RRT.

Sezioni del Protocollo GBC Home	GBC Home v2011	LEED Italia 2009	GBC Home v2
Sostenibilità del Sito (SS)	25	26	22
Gestione delle Acque (GA)	10	10	12
Energia ed Atmosfera (EA)	30	35	32
Materiali e Risorse (MR)	15	14	14
Qualità ambientale Interna (QI)	20	15	20
Innovazione nella Progettazione (IP)	10	10	10
Totale	110	110	110

Confrontando tutte le versioni del protocollo LEED considerate in questo studio, è possibile osservare che la sezione con il punteggio complessivo più alto è sempre quella "Energia e Atmosfera" (EA), caratterizzata da punteggi massimi ottenibili compresi tra i 30 e i 35 punti.

Inoltre, volendo effettuare un confronto tra macroaree è possibile osservare che i punteggi massimi e, quindi, il peso che il protocollo LEED attribuisce a ciascuna categoria, rispettano il seguente ordine: Energia e Atmosfera (EA), Sostenibilità del Sito (SS), Qualità ambientale Interna (QI), Materiali e Risorse (MR), Gestione delle Acque (GA) ed Innovazione nelle Progettazione (IP). Per esaminare le varie sezioni nelle differenti versioni del Protocollo in maniera omogenea, la sezione Priorità Regionali (PR) è stata unita alla categoria Innovazione nella Progettazione (IP).

Dallo studio è emerso che, sebbene le versioni del protocollo LEED utilizzate abbiano una diversa distribuzione dei crediti e dei punteggi massimi ottenibili tra le varie macroaree, l'insieme delle sezioni e dei crediti presenti affrontano le stesse tematiche, conferendo inoltre pesi molto vicini tra loro. Di conseguenza, la scelta della versione del protocollo LEED utilizzata nella RRT non ha influenzato in modo significativo il livello di certificazione raggiunto dai vari gruppi di ricerca.

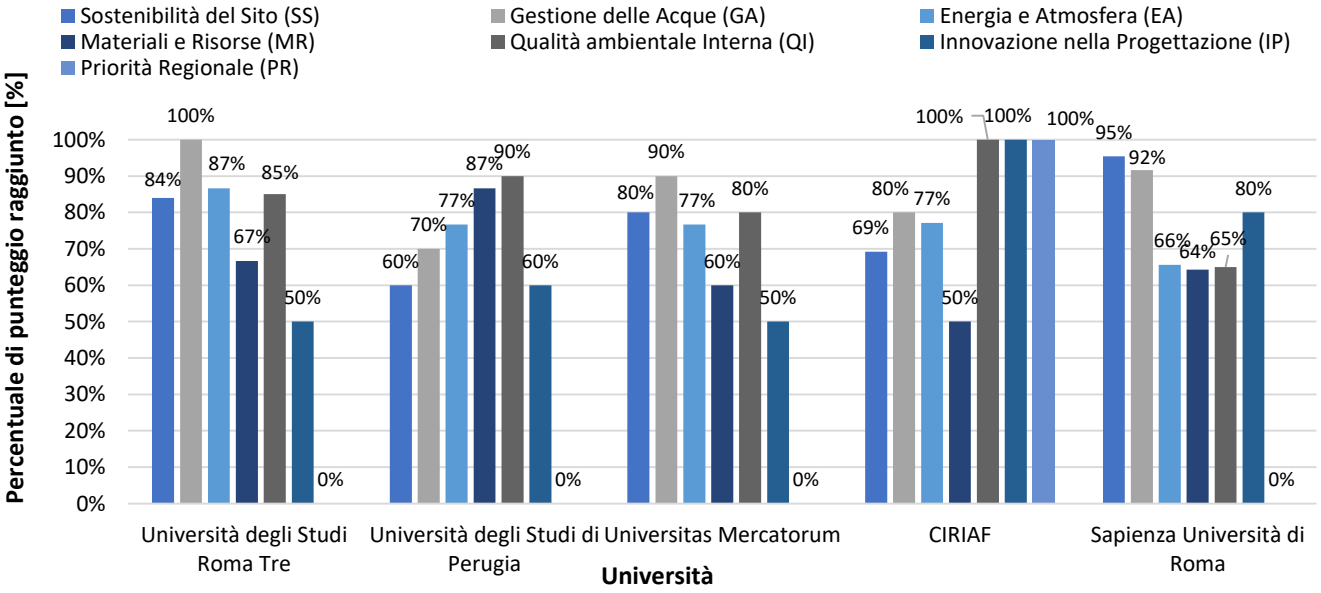
La Tabella 12 illustra i risultati delle applicazioni, la versione del protocollo LEED utilizzata ed il software di simulazione energetica utilizzato.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 12. Risultati delle applicazioni dei diversi gruppi di ricerca.

Università	Università degli Studi Roma Tre		Università di Perugia		Universitas Mercatorum		CIRIAF		Sapienza Università di Roma	
Software di simulazione energetica	Trnsys		Design Builder		Trnsys		Trnsys		Grasshopper/ Archsim	
Versioni italiane del protocollo LEED	GBC Home 2011		GBC Home 2011		GBC Home 2011		LEED Italia 2009		GBC Home v2	
Sostenibilità del Sito (SS)	21/25	84%	15/25	60%	20/25	80%	18/26	69%	21/22	95%
Gestione delle Acque (GA)	10/10	100%	7/10	70%	9/10	90%	8/10	80%	11/12	92%
Energia ed Atmosfera (EA)	26 /30	87%	23 /30	77%	23 /30	77%	27 /35	77%	21/32	66%
Materiali e Risorse (MR)	10/ 15	67%	13/ 15	87%	9/ 15	60%	7/ 14	50%	9/14	64%
Qualità ambientale Interna (QI)	17 /20	85%	18 /20	90%	16 /20	80%	15/15	100%	13/20	65%
Innovazione nella Progettazione (IP)	5/10	50%	6/10	60%	5/10	50%	6/6	100%	8/10	80%
Priorità Regionale (PR)	-	-	-	-	-	-	4/4	100%	-	-
Totale	**89/110**	**81%**	**82/110**	**75%**	**82/110**	**75%**	**85/110**	**77%**	**83/110**	**75%**

Figura 5. Risultati ottenuti per ciascuna sezione del protocollo LEED.



Tutte le applicazioni hanno raggiunto un punteggio superiore agli 80 punti su 110, raggiungendo così il livello massimo di certificazione, Platino (Tab.1). Il punteggio più alto è stato raggiunto dal gruppo di ricerca dell'Università degli Studi Roma Tre (89/110), seguito dal CIRIAF di Perugia (85/110), dalla Sapienza Università di Roma (83/110) e dall'Università degli Studi di Perugia e Mercatorum che hanno ottenuto un punteggio di 82/110.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

La sezione Energia e Atmosfera (EA) ha ottenuto un punteggio percentuale medio pari al 77%. Più dettagliatamente, l'Università degli Studi di Perugia, l'Universitas Mercatorum e il CIRIAF hanno totalizzato un punteggio pari al 77%, l'Università Roma Tre pari all'87% e la Sapienza Università di Roma pari al 66%. Inoltre, in questa sezione è stato raggiunto il livello di variabilità più basso nell'attribuzione dei punteggi tra i diversi Atenei coinvolti (varianza pari a 0,004). Pertanto, anche l'uso di diversi software di simulazione energetica non ha influenzato in modo rilevante l'attribuzione del punteggio nella sezione di interesse (EA). La sezione Materiali e Risorse (MR) ha il punteggio percentuale medio più basso tra le varie applicazioni, pari al 66%, seguita dalla sezione Innovazione nella Progettazione (IP), caratterizzata da valori compresi tra il 50% e il 60% ed un valore percentuale medio del 68%, ad eccezione dell'applicazione universitaria della Sapienza di Roma che raggiunge un punteggio percentuale dell'80%. Le sezioni con i punteggi percentuali più alti sono Gestione delle Acque (GA) e Qualità ambientale Interna (QI), caratterizzate da punteggi percentuali medi rispettivamente dell'86% e dell'84%. La sezione Gestione delle Acque (GA) presenta infatti un punteggio percentuale compreso tra l'80% e il 100% ed un valore medio dell'86%, fatta eccezione dell'Università degli Studi di Perugia che ha raggiunto un punteggio percentuale del 70%.

Anche la sezione Qualità Ambientale Indoor (QI) ha ottenuto lo stesso range di punteggio percentuale e un valore medio dell'84%, ad eccezione della Sapienza Università di Roma che ha totalizzato il 65%. La sezione Sostenibilità del Sito (SS) ha raggiunto invece un punteggio percentuale medio del 78%.

Infine, dall'analisi e dal confronto dei risultati ottenuti per ciascuna macroarea dai diversi gruppi di ricerca partecipanti, le sezioni possono essere ordinate in base al livello di variabilità assunto nell'attribuzione dei punteggi (varianza) come segue: Innovazione nella Progettazione -IP- (0,038), Sostenibilità del Sito -SS- (0,015), Materiali e Risorse -MR- (0,014), Qualità ambientale Interna -QI- (0,013), Gestione delle Acque -GA- (0,011) ed Energia ed Atmosfera -EA- (0,004). Si può quindi concludere che tra le applicazioni dei diversi partecipanti, la sezione maggiormente interessata dalla variazione del punteggio assegnato risulta quella Innovazione nella Progettazione (0,038).

7. Conclusioni

I protocolli di certificazione di sostenibilità ambientale degli edifici sono strumenti consolidati a livello internazionale per valutare la qualità ambientale, ecologica e sociale nel settore delle costruzioni. Incorporano vari aspetti e ad oggi sono strumenti ampiamente utilizzati per definire il livello di sostenibilità degli edifici e confrontare diverse alternative progettuali.

Questa ricerca aveva come obiettivo quello di comprendere se, indipendentemente dalla versione del protocollo utilizzato, dal software utilizzato, dalle ipotesi formulate e dalle scelte effettuate dai diversi operatori, questi strumenti potessero restituire un livello di certificazione finale simile e confrontabile. Infatti, il livello di sostenibilità dell'edificio, raccogliendo trasversalmente aspetti comuni, dovrebbe essere lo stesso.

Dunque, attraverso un Round Robin Test sull'applicazione della versione italiana del protocollo LEED al medesimo edificio, è stato possibile analizzare e confrontare i risultati offerti dalle diverse università.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Lo scopo è stato quello di individuare gli aspetti capaci di influenzare maggiormente il punteggio finale, oltre ad offrire ai tecnici informazioni più approfondite sugli aspetti che vengono considerati in queste procedure. Dopo aver fornito i documenti e le informazioni relative all'edificio oggetto dello studio, ai partecipanti è stata data la possibilità di scegliere la versione del protocollo LEED ed il software dinamico per l'analisi energetica. Nello specifico, i partecipanti hanno utilizzato 3 versioni locali italiane del Protocollo LEED, ossia il GBC Home 2011, il LEED Italia 2009 e il GBC Home v2 mentre per quanto riguarda i software di simulazione energetica dinamica sono stati utilizzati Trnsys, Grasshopper/Archsim e Design Builder.

Tuttavia, questo non ha inciso in modo considerevole né sulla variabilità dei punteggi ottenuti nelle diverse macroaree né sui punteggi finali raggiunti. Tutte le applicazioni, infatti, hanno ottenuto il massimo livello di certificazione (Platino) con punteggi complessivi superiori a 80 punti. La sezione Energia e Atmosfera (EA), che costituisce la parte più importante in termini di punteggio complessivo, non ha subito modifiche particolarmente rilevanti, ottenendo risultati omogenei e persino il più basso livello di variabilità tra le varie applicazioni.

Questo studio ha quindi permesso di confermare le potenzialità dei sistemi di valutazione degli edifici green, in grado di offrire una valutazione della sostenibilità ambientale, indipendentemente dalla versione del protocollo utilizzata, dal software di simulazione utilizzato e dalle scelte condotte dagli operatori. Come possibili sviluppi futuri sarebbe interessante ripetere ed estendere questo approccio attraverso un RRT internazionale sull'applicazione di diversi protocolli di sostenibilità al fine di verificare se le tematiche affrontate in ciascuno di essi siano in grado di restituire un analogo giudizio in merito al livello di sostenibilità ambientale di uno specifico caso di studio. Inoltre, uno studio approfondito su analogie e differenze del concetto di sostenibilità ambientale assunto dai vari protocolli consentirebbe di delineare gli aspetti essenziali da includere per raggiungere un linguaggio di sostenibilità ambientale comune.

Bibliografia

1. Yang, L.; Yan, H.; Lam, J.C. Thermal comfort and building energy consumption implications - A review. *Appl. Energy* 2014, *115*, 164–173.
2. European Commission *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*; 2010; pp. 13–35;.
3. Bisegna, F.; Mattoni, B.; Gori, P.; Asdrubali, F.; Guattari, C.; Evangelisti, L.; Sambuco, S.; Bianchi, F. Influence of insulating materials on green building rating system results. *Energies* **2016**, *9*, 712, doi:10.3390/en9090712.
4. Tecnoring Protocolli di sostenibilità italiani e internazionali a confronto Available online: https://www.teknoring.com/news/efficienza-energetica/protocolli-di-sostenibilita-italiani-e-internazionali-a-confronto/ (accessed on Mar 13, 2021).
5. Mattoni, B.; Guattari, C.; Evangelisti, L.; Bisegna, F.; Gori, P.; Asdrubali, F. Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, *82*, 950–960.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

6. U.S. Green Building Council. U.S. Green Building Council. Available online: https://www.usgbc.org/ (accessed on Oct 14, 2020).
7. GBC Italia Green Building Council Italia Available online: https://gbcitalia.org/home1 (accessed on Mar 13, 2021).
8. Suzer, O. A comparative review of environmental concern prioritization: LEED vs other major certification systems. *J. Environ. Manage.* **2015**, *154*, 266–283, doi:10.1016/j.jenvman.2015.02.029.
9. Liu, Y.; Prasad, D.; Li, J.; Fu, Y.; Liu, J. A holistic approach to developing regionally specific framework for green building assessment tools in China. In Proceedings of the The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 (SB05Tokyo); Tokyo, 2005.
10. Bahaudin, A.Y.; Elias, E.M.; Saifudin, A.M. A Comparison of the Green Building's Criteria. In Proceedings of the E3S Web of Conferences-Emerging Technology for Sustainable Development Congress (ETSDC 2014); Bangi, Malaysia, 2014; Vol. 3.
11. Kubba, S. LEED™ Documentation Process and Technical Requirements. In *LEED v4 Practices, Certification, and Accreditation Handbook*; 2016; pp. 71–112.
12. GBC Italia GBC Home Available online: https://gbcitalia.org/web/guest/gbc-home-documenti (accessed on Mar 13, 2021).
13. DPR *Decree DPR 412/93. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 genna*; 1993;
14. Green Building Council Italia GBC Home for residential buildings, 2011 version Available online: http://www.coscienzanuova.it/documenti/2011_Sistema_di_verifica_GBC_HOME_versione_breve.pdf (accessed on Apr 23, 2019).
15. Trnsys TRNSYS, Transient System Simulation Tool Available online: http://www.trnsys.com/ (accessed on Feb 11, 2020).
16. Green Building Council Italia LEED 2009 Italia NC Available online: http://2016.gbcitalia.org/risorse/90?locale=it (accessed on Jun 12, 2020).
17. Ente Italiano di Normazione (UNI). UNI EN ISO 13788. In Prestazione Igrotermica dei Componenti e Degli Elementi per Edilizia—Temperatura Superficiale Interna per Evitare L'umidità Superficiale Critica e la Condensazione Interstiziale. Metodi di Calcolo; UNI: Milano, Italy, 2013.
18. Crawley, D.B.; Lawrie, L.K.; Winkelmann, F.C.; Buhl, W.F.; Huang, Y.J.; Pedersen, C.O.; Strand, R.K.; Liesen, R.J.; Fisher, D.E.; Witte, M.J.; et al. EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. *Energy Build.* **2001**, *33*, 319–331, doi:10.1016/S0378-7788(00)00114-6.
19. DesignBuilder Software DesignBuilder Software Available online: https://www.designbuilder.co.uk/ (accessed on Oct 8, 2020).
20. Software, M.M. Meteotest Meteonorm Software Available online: http://www.meteonorm.com (accessed on Sep 2, 2020).
21. UK's national calculation method for non domestic buildings UK's national calculation method for non domestic buildings Available online: http://www.uk-ncm.org.uk/ (accessed on May 8, 2020).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

22. Green Building Council Italia GBC Home for residential buildings, v2 Available online: https://gbcitalia.org/documents/20182/21961/Manuale+GBC+HOME+V2+ott20.pdf (accessed on May 20, 2020).
23. Dogan, T. Archsim Energy Modeling Software Available online: http://www.archsim.com/ (accessed on May 20, 2020).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

How does the substrate material affect the optic performance of retro-reflective coatings? An experimental investigation

Alessia Di Giuseppe [1,*], Marta Cardinali [1], Beatrice Castellani [1,2], Mirko Filipponi [1,2], Andrea Nicolini [1,2] and Federico Rossi [1,2]

[1] CIRIAF, Interuniversity Research Centre on Pollution and Environment "M. Felli", Via G. Duranti 67, 06125, Perugia, Italy

[2] University of Perugia, Department of Engineering, Via G. Duranti 93, 06125, Perugia, Italy

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: alessia.digiuseppe@crbnet.it

Abstract: In highly populated cities the Urban Heat Island (UHI) phenomenon affects in a negative way the urban environment and outdoor thermal comfort. Many efforts have been made in order to counteract UHI effects, especially regarding cool materials for urban surfaces. Retro-reflectivity is a promising surface capability, which has attracted the interest of researchers for building application. This work aims at studying the impact of the substrate material on the optic performance of retro-reflective (RR) coatings. Three types of substrate material were investigated: smooth pine wood panels; rough plywood panels and smooth acetate sheets. The RR coating samples were made by firstly adding a high reflective white paint onto the substrate material and a homogeneous RR glass beads layer on the top. As a reference case, also diffusive samples, without RR beads, were developed. Samples have been tested through a spectrophotometric and an angular reflectivity analysis. To explore the angular reflectance, an ad-hoc experimental facility was used. Results show that, despite a lower global reflectance of the RR samples with respect to the diffusive ones, the glass beads coating provides a good retro-reflective capability to all the diffusive samples. Additionally, the choice of a rougher substrate leads to a maximum RR capability of up to 16%, with respect to the smooth substrate samples. Future developments may involve the optimum design of RR coatings, in terms of their optical performance by varying the substrate roughness, the glass beads density and dimension.

Keywords: Urban Heat Island; Retro-reflective coatings; Glass beads; Optic analysis; Angular reflectivity.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

During the last decades, cities are continuously suffering from several anthropization-related issues: human activities, in fact, generate high levels of air pollution, anthropogenic heat, energy consumptions and greenhouse gases emissions, which contribute to the so called Urban Heat Island (UHI) effect [1,2]. Such a phenomenon occurs with an increase in urban air temperatures with respect to the natural, not populated areas nearby [3]. UHI could also be worsened by the ongoing climate change, which is responsible of the increasingly extreme events occurrence, more frequent heatwaves and urban overheating [4-6]. In Yenneti et al. (2020) [7] a collection of studies on UHI intensity in 10 different Australian cities is reported, showing that the UHI magnitude ranges between 1°C and 13°C in the investigated sites.

Urban pattern and building materials could also have a strong impact on UHI [8]: in dense city contexts, where Urban Canyon configurations are more frequent, incident solar radiation could get trapped inside the urban structure, because of consecutive reflections of solar radiation between facing buildings. Furthermore, the unstoppable urbanization results in an increase of built surfaces, usually made of artificial materials, at the expense of vegetation, natural ground and greenery. The most commonly used materials for building envelopes and pavements are typically characterized by low solar reflectance and thermal emissivity, resulting in a higher amount of solar radiation being absorbed by urban surfaces. These facts lead to a further overheating, contributing also to the depletion of the urban environment and of outdoor thermal comfort [7].

In this panorama, it becomes necessary to develop new solutions for building envelopes and urban surfaces, improving their optic and radiative features. Literature studies [9-11] on innovative coatings for UHI mitigation and building energy savings include high-reflective and infrared reflective materials, thermochromic and fluorescent coatings, daytime radiative coolers and retro-reflective (RR) materials.

Among them, RR materials possess an unique feature that has caught the attention of researchers during the last years, especially regarding their possible application in building envelopes and urban surfaces [12,13]. Such materials, in fact, are able to reflect the sunlight predominantly toward the same direction of incidence [13]. Several studies have proved their effectiveness particularly in Urban Canyons, where they could avoid the onset of multiple reflections between facing surfaces, leading to a cooling effect inside the canyon [14-17]. The RR capability is given by the peculiar surface microstructure, that may consist in reflective prisms (cube corner RR type), or glass beads arranged over a reflective layer (glass beads RR type) [18,19]. In Sakai and Iyota (2017) [20] two new typologies of RR materials were presented: the directional RR type and the rough-surface RR one. The latter is based on the contribution to retro-reflectivity given by the surface roughness. With regard to this aspect, a recent study developed a new BRDF model for prismatic RR materials, taking into account also the surface roughness [21].

This work aims to investigate the impact that the substrate material could have in terms of retro-reflective capability of a glass beads RR coating, applied on the top of the surface. To this aim, three kinds of substrate materials with different roughness have been tested: a smooth pine wood panel; a rough plywood panel and a smooth acetate sheet. For each kind of substrate, a RR glass beads sample

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

and a diffusive sample, without glass beads, have been made. The optic performance of the tested materials was determined through a spectrophotometric and an angular reflectivity analysis, in order to explore the potential impact of the substrate material and its roughness on the final RR capability.

2. Motivation

The present research represents a preliminary step for the development of the optimum design of RR coatings to be used for building application, as an alternative to the commercial existing RR materials, originally conceived for road and traffic signs. In order to define the optimal RR coatings, this study constitutes a first effort of investigation of the optimal substrate to be used for RR glass beads coatings, in terms of material's typology and roughness.

In particular, data concerning the optical performance in terms of global reflectance and directivity of three types of substrate material were collected and discussed in the following sections.

3. Materials and Methods

In this section the three tested substrate materials are firstly described and then the applied methodology is presented, involving a spectrophotometric and an angular directivity analysis.

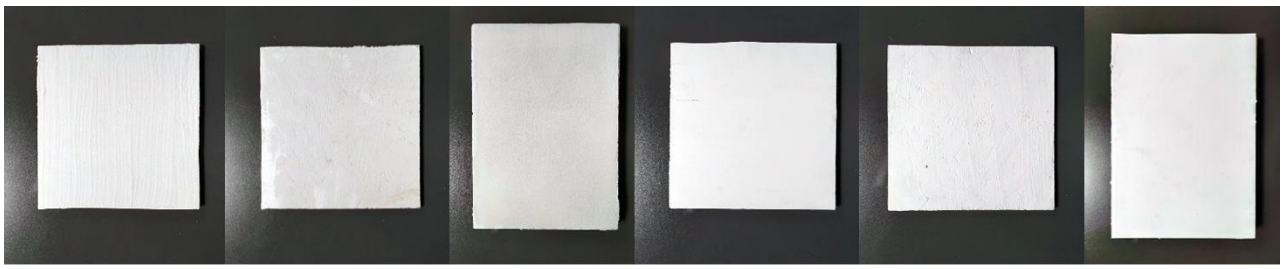
3.1. Description of samples

Three types of substrates with different materials and roughness were tested in order to study the impact of the substrate on the optic performance of RR coatings, made of a high-reflective white paint with glass beads embedded on it. The three RR coating samples are defined as follows:

- RR_{SW}: RR smooth pine wood panel (Figure 1a);
- RR_{RW}: RR rough plywood panel (Figure 1b);
- RR_{SA}: RR smooth acetate sheet (Figure 1c).

As a reference case, also a diffusive sample for each typology of RR sample, without RR glass beads, was realized. The three diffusive samples were mentioned as $DIFF_{SW}$ (Figure 1d), $DIFF_{RW}$ (Figure 1e) and $DIFF_{SA}$ (Figure 1f) respectively.

Figure 1. Investigated samples.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 1 shows the investigated RR and diffusive samples. The size of the substrate materials was 0.02 cm x 0.02 cm both for RR_{SW}/$DIFF_{SW}$ and for RR_{RW}/$DIFF_{RW}$ samples, while it was 0.21 m x 0.297 for RR_{SA}/$DIFF_{SA}$ sample. The RR coating samples were made with a high reflective white paint supplied by Index S.p.A., on which a homogeneous RR glass beads layer was settled on the top. RR glass beads were supplied by Prizmalite Industries Inc. with an average diameter 0.1-0.2 mm.

3.2. Methodology

For the investigation of the substrate optic performances, the following methodology was applied:

- Firstly, a spectrophotometric analysis was conducted, in order to assess the solar reflectance of samples using spectrophotometer equipped with an integrating sphere which covers UV, VIS and NIR region. The range of measurements is 250-2500 nm, which includes the 99% of solar energy;
- Finally, a directional reflectivity analysis with an ad-hoc experimental facility was carried out in order to measure the angular distribution of reflected energy by the tested samples.

3.2.1. Spectrophotometric analysis

Reflectance of the samples in the solar spectrum was investigated by Shimadzu SolidSpec 3700 spectrophotometer equipped with 60 mm integrating sphere. Characteristics of the spectrophotometer facility can be found in [22]. The value of solar reflectance R is calculated as described in ASTM Standards [23,24]. The purpose of these measurements was to assess the global hemispherical solar reflectance and its spectral distribution. In the Figure 2 below, an example of the test carried out through the spectrophotometric analysis with the RR_{SW} sample is shown.

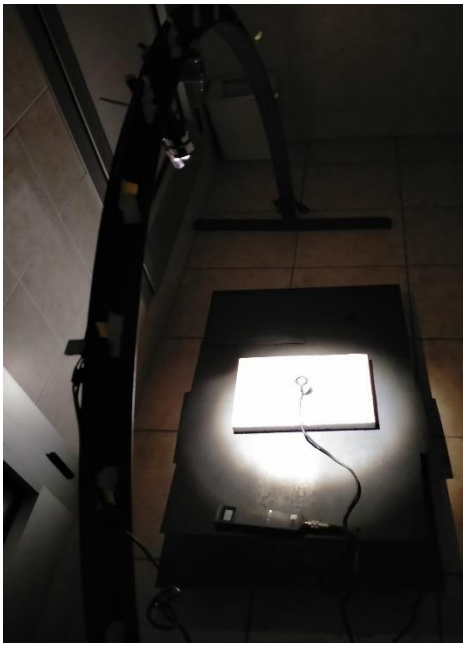
Figure 2. Spectrophotometric analysis of the tested samples.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.2.2. Angular reflectivity analysis

As stated in Rossi et al. [14], the most common in-field and in-lab testing procedures could not completely describe RR materials' directional reflectivity properties. Thus, an ad-hoc experimental facility, already introduced in [25], has been used for the investigation of RR materials' angular reflectivity for different directions of incident radiation. As shown in Figure 3a, the apparatus is mainly composed of: i) an artificial light source which illuminates the samples [26]; ii) a semi-circular frame with a graduated scale from 10° to -10° with respect to the center; iii) a photo-radiometer Delta Ohm HD 9221 with an LP 9221/RAD probe [27]. In the Figure 3b below, a picture of the operative conditions for the directivity analysis is presented, where the incident radiation is the one provided only by the artificial light source.

Figure 3. Experimental facility for directivity analysis (Figure 3a) and operative conditions for directivity investigation of samples (Figure 3b).

a) b) 

4. Measurement Results and Discussion

In this paragraph results of the optic characterization campaign are discussed.

4.1. Spectrophotometric analysis

Solar reflectance of the samples was determined by spectrophotometric analysis. For each sample, spectrophotometric measurements were carried out three times. Figure 4 shows the average reflectance of samples over the wavelength range. In all cases, it emerges that RR samples show an overall lower reflectance. Over 1500 nm, the reflectance of RR_{SW} and RR_{RW} samples, and their respectively $DIFF_{SW}$ and $DIFF_{RW}$ ones are very close to each other. The reflectance of RR_{SA} and $DIFF_{SA}$ samples becomes very close to each other over 1650 nm. From 2000 nm to 2250 nm the reflectance

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

of RR_{SW} sample corresponds almost exactly to the $DIFF_{SW}$ sample' s reflectance. Over 2100 nm, the reflectance of RR_{SA} sample goes beyond its corresponding diffusive sample. Finally, the reflectance of RR_{SW} sample shows higher level of reflectance than $DIFF_{SW}$ one over 2250 nm. Global reflectance values are shown in Table 1.

Figure 4. Spectral reflectance of samples.

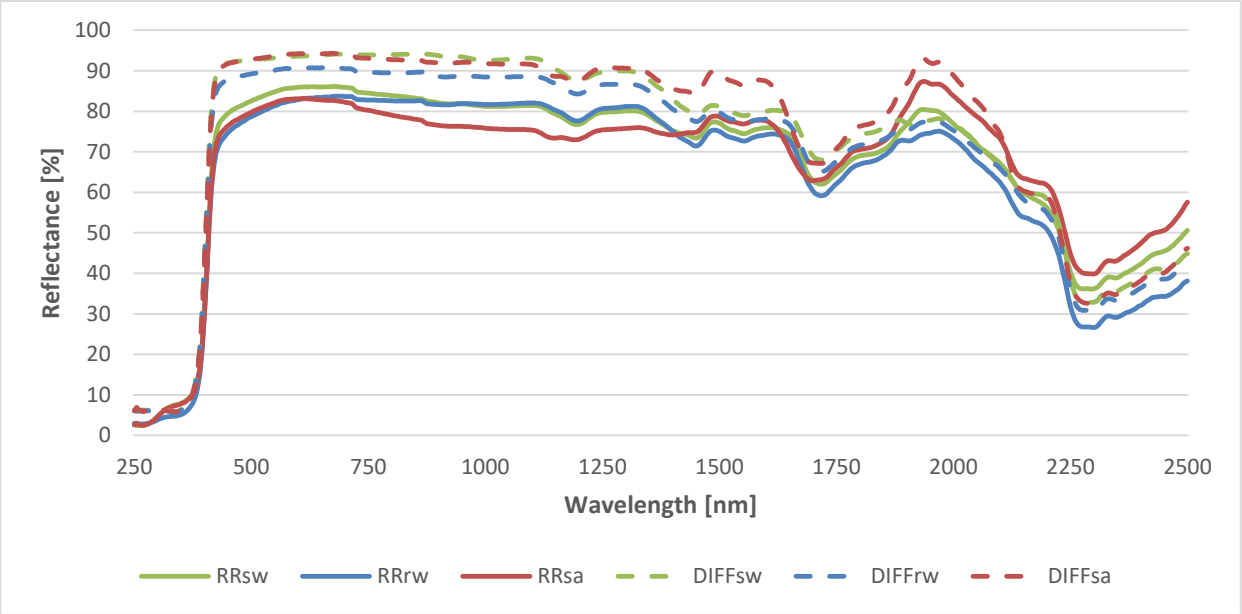


Table 1. Global reflectance of samples.

Sample	Global reflectance (%)
RR_{SW}	74.79
RR_{RW}	72.79
RR_{SA}	71.73
$DIFF_{SW}$	83.48
$DIFF_{RW}$	80.14
$DIFF_{SA}$	83.55

In all cases, diffusive samples show higher global reflectance values than their respective RR samples. The highest value is obtained for $DIFF_{SA}$ sample, equal to 83.48%. The RR sample's global reflectance show the lowest values ranging from 72% to 75%. Among the RR samples, RR_{SW} sample shows the highest value, equal to 74.79%.

Therefore, the diffusive samples, covered by only high-reflective white paint, show a higher global reflectance than that of paints with glass beads layer. In particular, RR_{SA} sample has the lowest global value (71.73%) among the three RR samples. Consequently, a smooth substrate made of pine wood or acetate sheet, is able to improve the global reflectance in diffusive samples (i.e. $DIFF_{SW}$ and $DIFF_{SA}$), while the global reflectance of diffusive samples made by a rough plywood substrate (i.e. $DIFF_{RW}$) is negatively affected. Considering the RR samples, the smooth pine wood substrate (i.e. RR_{SW}) affects positively the global reflectance, while RR_{SA} sample shows a lower global reflectance value compared to the RR_{RW} sample.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.2. Angular reflectivity analysis

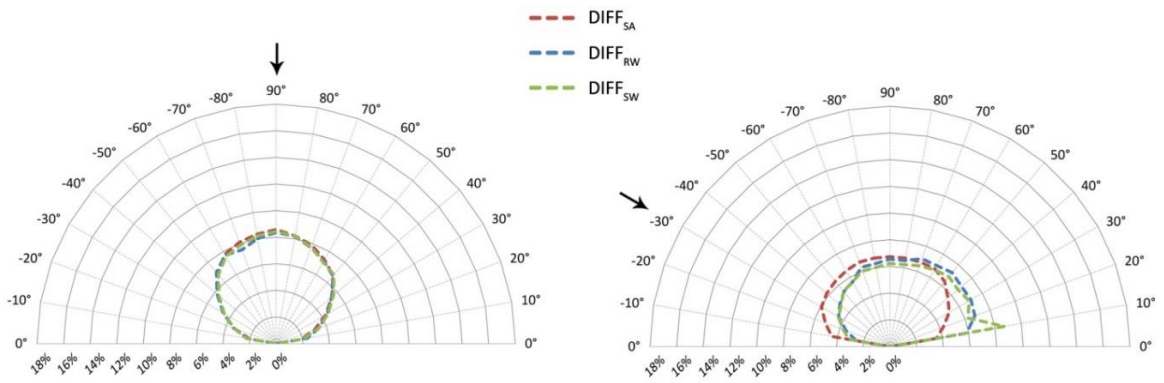
Results of angular reflectivity measurements are reported in Figures 5 and 6. Each graph shows the comparison between the angular reflectivity distribution of different samples, for each direction of the incident radiation. The black arrow indicates the direction from which the incident light strikes the tested sample and the values represent the percentage ratio between the reflected radiation in each direction and the total reflected radiation of the specific sample.

In Figure 5 the comparison between the three diffusive samples is reported for instance for an angle of incidence of 90° and -30°, respectively. For an incident beam direction normal to the sample, a typical reflectivity distribution following the Lambert's law is shown for all the diffusive samples. For an angle of incidence of -30°, $DIFF_{SA}$ reveals a more symmetrical diffusive distribution, whereas the two wood-based diffusive samples, i.e. $DIFF_{RW}$ and $DIFF_{SW}$, show a slight rightward shift of their reflectivity profiles, which means that a specular reflection occurs for low incident angles.

For what concern the angular reflectivity of the three RR samples, in Figure 6 the distribution of reflected radiation is represented for each RR sample and for each angle of incidence between 90° and -20°, every 10° steps. Graphs show that a strong retro-reflective component was found for all the RR samples, due to the effect of the glass beads coating. However, small differences in terms of reflectivity distribution among the three RR samples have been detected, depending on the substrate material. Also a diffusive tendency is visible in all RR samples regardless of the angle of incidence of radiation, whereas a specular reflection occurs for low angles of incidence, i.e. from -40° to -20°. Such specular reflection component is smaller for RR_{SA} sample with respect to the two wood based ones (i.e. RR_{RW} and RR_{SW}), showing that the smooth acetate substrate performs slightly better in terms of retro-reflection for low angles of incidence.

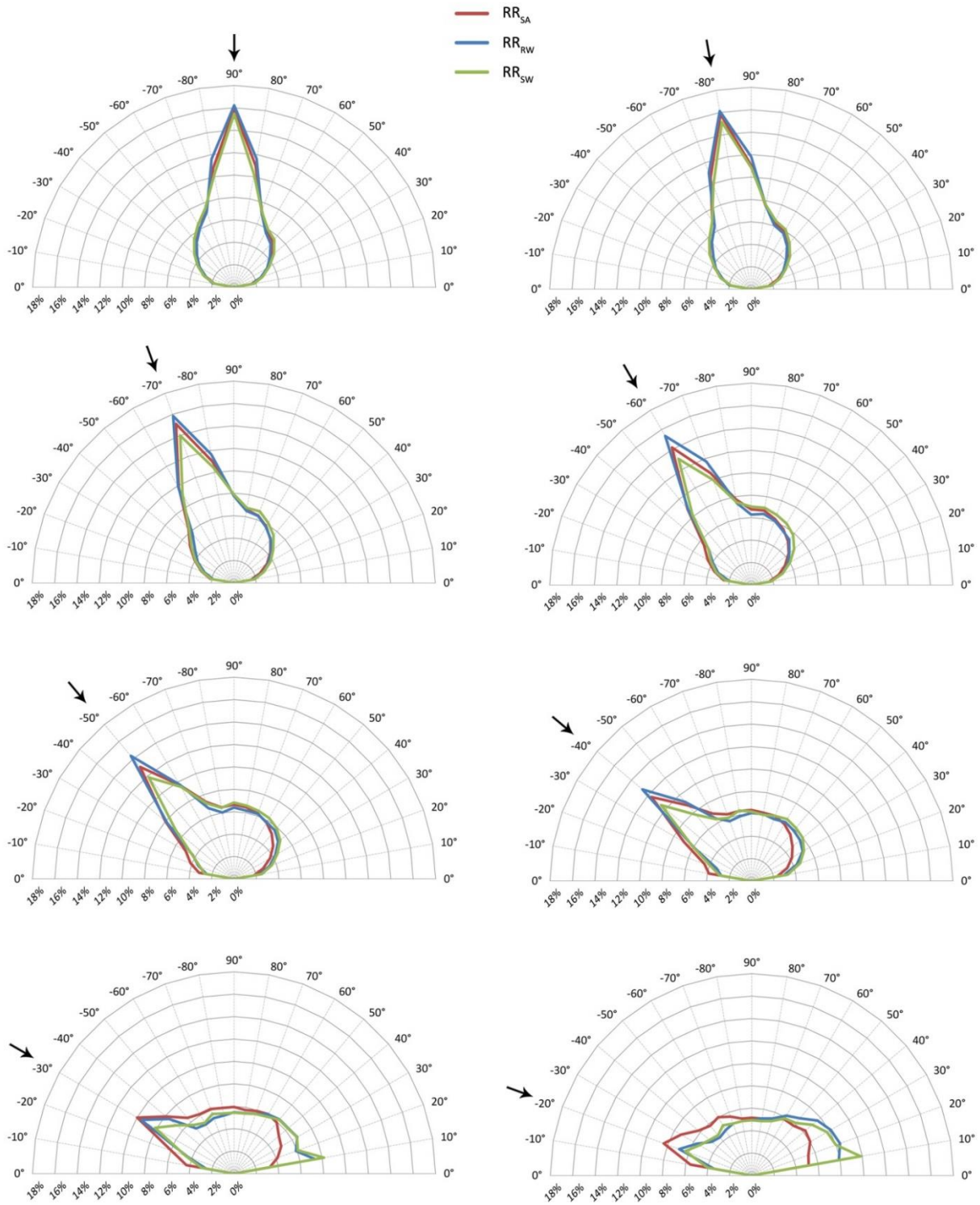
Values of the percentage ratio between the reflected radiation in the same direction of incidence and the total reflected radiation are reported in Table 2 for the three RR samples. It is clearly evidenced that the RR_{RW} sample presents the higher percentage of retro-reflection for high incident angles (i.e. from 90° to -40°), whereas the RR_{SA} sample performs slightly higher values for -30° and -20° angles of incidence, with respect to the RR_{RW} sample.

Figure 5. Angular reflectivity profiles of diffusive samples: $DIFF_{SA}$ (red dotted line), $DIFF_{RW}$ (blue dotted line) and $DIFF_{SW}$ (green dotted line), for a 90° and -30° angle of incident radiation.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 6. Angular reflectivity profiles of RR samples: RR_{SA} (red solid line), RR_{RW} (blue solid line) and RR_{SW} (green solid line), for each direction of incident radiation from 90° to -20°.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 2. Retro-reflectivity of the three RR samples, for each angle of incident radiation. Percentage values are referred to the ratio between the radiation reflected back to the source and the total reflected radiation for each sample.

Angle of incidence	RR_{SA}	RR_{RW}	RR_{SW}
90°	15.86%	**16.22%**	15.47%
-80°	15.83%	**16.12%**	15.12%
-70°	15.10%	**15.84%**	13.99%
-60°	14.16%	**15.35%**	12.98%
-50°	13.04%	**14.34%**	11.83%
-40°	11.66%	**12.72%**	10.53%
-30°	**9.99%**	9.57%	8.16%
-20°	**8.37%**	6.90%	6.34%

4. Conclusions and Future Developments

The present work aims at investigating the potential effect of a different substrate material on the optic performance of a RR coating, made of a high-reflective white paint with glass beads embedded on it. To this aim, three different substrate materials, characterized by a different roughness, have been selected: a smooth pine wood panel, a rough plywood panel and a smooth acetate sheet. With these substrate materials, three RR (i.e. RR_{SA}, RR_{RW}, RR_{SW}) and three diffusive (i.e. $DIFF_{SA}$, $DIFF_{RW}$, $DIFF_{SW}$) samples have been realized. The optic performance of each sample has been investigated through a spectrophotometer and an angular reflectivity analysis, using an ad-hoc experimental facility.

The main findings are presented in the following points:

- For what concern spectrophotometric analysis, RR samples exhibit lower global reflectance values with respect to the corresponding diffusive samples. $DIFF_{SA}$ and RR_{SW} samples performed the highest values of global reflectance, equal to 83.55% and 74.79%, respectively.
- From 300 to 1500 nm, the diffusive samples show always a higher spectral reflectance, whereas both the RR_{SA} and the RR_{SW} samples becomes higher than the corresponding diffusive samples, from 2110 nm and 2250 nm, respectively.
- Concerning the angular reflectivity analysis, RR_{RW} has the highest retro-reflective component for incident angles near the normal (i.e. from 90° to -40°), due to its major roughness. For lower angles of incidence (i.e. -30° and -20°), RR_{SA} exhibits a better retro-reflective performance, whereas the two wood-based samples (i.e. RR_{SW} and RR_{RW}) reveal a specular reflection tendency, that becomes predominant for -20° incidence angle.
- The maximum retro-reflective capability is equal to 16.22% for sample RR_{RW} at 90° angle of incident radiation.

Future research efforts should be made in the investigation of the optimal glass beads characteristics, in order to identify the optimum design of RR coatings for building applications.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Acknowledgements

The present experimental research was funded by the Italian Ministry of University and Scientific Research (MIUR) under the PON Project entitled "BEST4U - Bifacial Efficient Solar Cell Technology with 4-Terminal Architecture for Utility Scale". The authors would like to acknowledge the MIUR and CIRIAF, University of Perugia for financially supporting the activities.

References

1. Santamouris M. Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of The Total Environment* **2015**, *512-513,* 582-598.
2. Deilami, K.; Kamruzzaman, Md.; Liu, Y. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2018**, *67,* 30-42.
3. Oke, T.R. The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In Cermak, *J. E. et al. (eds.), Wind Climate in Cities, Kluwier Academic Publishers,* **1995**, 81-107.
4. Khan, H.S.; Paolini, R.; Santamouris, M.; Caccetta, P. Exploring the Synergies between Urban Overheating and Heatwaves (HWs) in Western Sydney. *Energies* **2020**, 13, 470. https://doi.org/10.3390/en13020470
5. Santamouris, M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings* **2020,** *207,* 109482.
6. Zinzi, M.; Agnoli, S.; Burattini, C.; Mattoni, B. On the thermal response of buildings under the synergic effect of heat waves and urban heat island. *Solar Energy* **2020**, *211,* 1270-1282.
7. Yenneti, K.; Ding, L.; Prasad, D.; Ulpiani, G.; Paolini, R.; Haddad, S.; Santamouris, M. Urban Overheating and Cooling Potential in Australia: An Evidence-Based Review. *Climate* **2020**, *8,* 126.
8. Mohajerani, A.; Bakaric, J.; Jeffrey-Bailey, T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management,* **2017**, *197,* 522-538.
9. Santamouris, M.; Young Yun, G. Recent development and research priorities on cool and super cool materials to mitigate urban heat island. *Renewable Energy* **2020**, *161,* 792-807.
10. Xie, N.; Li, H.; Abdelhady, A.; Harvey, J. Laboratorial investigation on optical and thermal properties of cool pavement nano-coatings for urban heat island mitigation. *Building and Environment* **2019**, *147,* 231-240.
11. Santamouris, M.; Synnefa, A.; Karlessi, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy* **2011**, *85,* 3085-3102.
12. Yuan, J.; Emura, K.; Farnham, C. A study on the durability of a glass bead retro-reflective material applied to building facades. *Progress in Organic Coatings* **2018**, *120,* 36-48.
13. Yuan, J.; Emura, K.; Farnham, C. A method to measure retro-reflectance and durability of retro-

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

reflective materials for building outer walls. *Journal of Building Physics* **2015**, *38(6),* 500-516.
14. Rossi, F.; Pisello, A.L.; Nicolini, A.; Filipponi, M.; Palombo, M. Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model. *Applied Energy* **2014**, *114,* 621-631.
15. Yuan, J.; Farnham, C.; Emura, K. Development of a retro-reflective material as building coating and evaluation on albedo of urban canyons and building heat loads. *Energy and Buildings,* **2015**, *103,* 107-117.
16. Rossi, F.; Castellani, B.; Presciutti, A.; Morini, E; Anderini, E.; Filipponi, M.; Nicolini, A. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. *Energy and Buildings,* **2016**, *126,* 340-352.
17. Rossi, F.; Morini, E.; Castellani, B.; Nicolini, A.; Bonamente, E.; Anderini, E.; Cotana, F. Beneficial effects of retroreflective materials in urban canyons: results from seasonal monitoring campaign. 33rd UIT (Italian Union of Thermo-fluid-dynamics) Heat Transfer Conference. Journal of Physics: Conference Series 655 (2015) 012012.
18. Yuan, J.; Emura, K.; Farnham, C. Geometrical-optics analysis of reflective glass beads applied to building coatings. *Solar Energy,* **2015**, *122,* 997-1010.
19. Yuan, J.; Emura, K.; Sakai, H.; Farnham, C.; Lu, S. Optical analysis of glass bead retro-reflective materials for urban heat island mitigation. *Solar Energy* **2016**, *132,* 203-213.
20. Sakai, H.; Iyota, H. Development of Two New Types of Retroreflective Materials as Countermeasures to Urban Heat Island. *International Journal of Thermophysics,* **2017**, *38*, 131.
21. Guo, J.; Guo, Y.; Pan, J. A retroreflective BRDF model based on prismatic sheeting and microfacet theory. *Graphical Models,* **2018**, *96,* 38-46.
22. Website of Spectrophotometer C101-E167 SolidSpec-3700i/3700i DUV datasheet. Available online at: shimadzu.com
23. ASTM E903-12. Standard test method for solar absorptance, reflectance, and trasmittance of materials using integrating spheres.
24. ASTM G173-03. Standard tables for reference solar spectrum irradiances: direct normal and hemispherical on tilted surface, 2012.
25. Gambelli, A.M.; Cardinali, M.; Filipponi, M.; Castellani, B.; Nicolini, A.; Rossi, F. A normalization procedure to compare retro- reflective and traditional diffusive materials in terms of UHI mitigation potential A Normalization Procedure to Compare Retro-Reflective and Traditional Diffusive Materials in Terms of UHI. Proceeding from the AIP Conference Proceedings 2191, 020085 (2019); https://doi.org/10.1063/1.5138818.
26. Website of Zoom IP rated projectors datasheet. Available online at: https://cdn.flexalighting.net/media/Download/ZOOM-ST.pdf
27. Website of Prodotti – Delta OHM datasheet. Available online at: https://www.deltaohm.com/it/prodotti/.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

An innovative high-reflective mulching membrane coupled with a sub-irrigation system for a sustainable development of food crops

Alessia Di Giuseppe [1,*], Mattina Manni [2], Alessandro Petrozzi [1], Laura Maria Becchetti [1], Andrea Nicolini [1,3], Federico Rossi [1,3] and Franco Cotana [1,3]

[1] CIRIAF, Interuniversity Research Centre on Pollution and Environment "M. Felli", Via G. Duranti 67, 06125, Perugia, Italy

[2] University for Foreigners of Perugia, Piazza Fortebraccio 4, 06123 Perugia, Italy

[3] University of Perugia, Department of Engineering, Via G. Duranti 93, 06125, Perugia, Italy

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: alessia.digiuseppe@crbnet.it

Abstract: Modern agricultural techniques are responsible for the emission of large volumes of greenhouse gases. During the last decades, many efforts have been made to develop more sustainable techniques and methods. Within this framework, the present study aims at investigating the effectiveness of a high-reflective mulching membrane which is treated with glass micro-spheres and coupled with a sub-irrigation system. This technology is currently tested in the experimental field in Perugia (Central Italy). The effects of this membrane on soil temperature and humidity were evaluated through humidity and temperature sensors. The monitoring campaign conducted during March 2021 has demonstrated that the high-reflective mulching membrane is capable of reducing the soil temperature at different depths (i.e. 0.15 m, 0.10 m, and 0.05 m). Mulching membrane reduced morning soil temperature slightly, while it decreased afternoon soil temperature by 3°C at each investigated depth. In addition, relative humidity was always higher under the mulching membrane, particularly during the night. Basing on such preliminary results, a more detailed and extended monitoring campaign will be performed in the next months. Local food crops will be selected according to the principles of the Mediterranean diet such as seasonality and nutrients balance.

Keywords: Cool materials; Sustainable agriculture; Environmental monitoring; Mediterranean diet.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

Increasing urbanization process is significantly contributing to global warming [1]. The most recent census has found that around 54% of the global population is currently living in cities, and such amount is expected to reach 68% by 2050 [2]. The consequent densification and urban sprawl imply the increase of the anthropogenic heat as well as the reduction of permeable and vegetated surfaces [3,4]. Urban artificial surface and layout, climate conditions and meteorological factors, together with the increase of the anthropogenic heating are the main causes of the Urban heat island (UHI) phenomenon which represents one of the most investigated urban phenomena.

In the last years, numerous research studies have been focusing on the development of technologies and strategies aiming at improving urban micro-climate conditions, while mitigating UHI effects and urban overheating. Exploiting materials characterized by high solar reflectance index (SRI) as urban coatings has been largely recognized as an effective strategy to tackle the raising of the air temperature within the city [5-7]. In fact, lowering the absorbed fraction of solar irradiance contributes to generating cool oases. Among the investigated solutions, retro-reflective (RR) materials, which are usually employed in street signs to enhance their night-time visibility, have been recently proposed as building coatings. Such materials are widely appreciated in the building sector due to their ability to reflect backwards most of the incident solar radiation, thus reducing the energy absorbed and stored into the urban canyons through multiple inter-building reflections [8,9]. In fact, RR materials are high SRI coatings which present considerably lower surface temperature than traditional construction materials [10,11].

Within this framework, the present study aims at proposing an original application of RR materials to the agriculture sector and urban greeneries. A high-reflective membrane has been patented as “High-albedo membrane for the mitigation of the global warming, for the mulching, and for the sub-irrigation” (the original Italian title is “Membrana ad elevato albedo per la mitigazione del riscaldamento globale, per la pacciamatura e la subirrigazione”, number 202018000003874), and both a laboratory-scale prototype and a small-scale experimental field have been designed and implemented in the Central Italy. Such a membrane can be applied above the ground surface in hot climate context to reduce the soil temperature with a positive influence on mitigating the global overwarming. In particular, the top face is treated with a high-reflective painting enhanced with embedded glass microspheres, while a system for sub-irrigation is implemented on the bottom face.

The experimental field aims at demonstrating that the high-reflective mulching membrane can improve the agricultural production (increasing the crop’s yield and fruits’ size) and lower the consumption of natural resources. In fact, the membrane obstructs water evaporation from the ground and so preserving soil moisture, regulating soil temperature, and preventing soil erosion. These improvements together with the increasing of reflected solar irradiation contribute to creating a favourable environment for the crops. Moreover, its low permeability to water makes it suitable to be integrated with a rainwater recovery system to reduce water consumption for irrigation.

The proposed technology has a direct impact on the increase of the reflected solar irradiation amount (i.e. albedo), on the food production (i.e. growth rate and yield of food crops), and on water

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

use optimization. In A preliminary analysis presented in Manni et al. 2020 [12] highlighted that the high-reflective mulching membrane was capable of enhancing the ground solar reflectance by up to 0.60, increasing the productivity of tomato crop by more than 20%, and saving 90% of the consumed water. Also, the influences on phenological development was assessed demonstrating that crops mulched produced fruits earlier than unmulched crops [12].

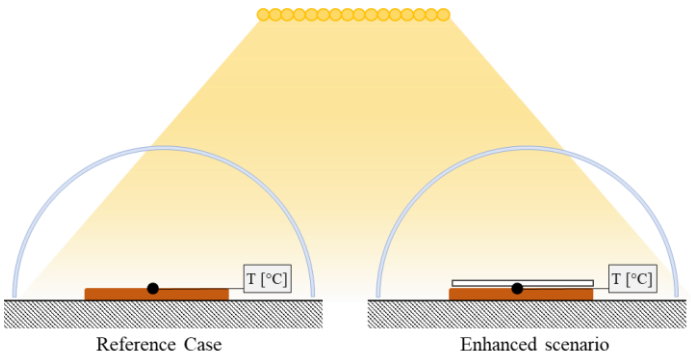
In this paper, the effects of this technology on the moisture content of the soil as well as on soil temperature at three different depths and at surface level was investigated through a monitoring campaign conducted in March 2021 in the experimental field in Perugia. The main research domain covered by this work concerns (i) the set-up and the test of the mulching membrane technology on a laboratory-scale prototype, (ii) the set-up of the experimental field and the design of the sensors layout; and (iii) the preliminary selection of the local varieties of food crops to be cultivated in summer season.

2. Methodology

This research was organized in five main stages: (i) set-up and testing of the laboratory-scale prototype, (ii) set-up of the experimental field, (iii) monitoring campaign, (iv) data post-processing and data assessment. Finally, a (v) preliminary selection of food crops to be cultivated in summer was outlined.

In the first stage, the high-reflective mulching membrane was tested through a laboratory-scale prototype in the CIRIAF (Figure 1). Two different configurations were simulated: the soil covered by the mulching membrane (enhanced configuration) and the unmulched soil (reference case). The surface temperature of the soil was monitored in both the scenarios to preliminary evaluate the effectiveness of the high-reflective membrane. In the enhanced configuration, the surface of the soil was covered by the membrane, while in the reference case, it was directly exposed to the atmosphere. The solar source was simulated through a lamp, while the effects of the atmosphere were simulated by two glazed hemispheres placed between the soil and the lamp.

Figure 1. Laboratory-scale prototype in the CIRIAF.



The core of the second stage is represented by the application of the high-reflective mulching membrane to to a 100 m^2 large experimental field in Perugia. As in the stage one, the two scenarios were investigated in the experimental field by dividing this in two sections: the high-reflective mulching membrane coupled to the drip sub-irrigation system were implemented on the first, while a only a

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

traditional drip irrigation system was applied to the second. The experimental field was equipped with humidity and temperature sensors to measure the moisture content of the soil, the surface temperature, and the temperature values at various depths.

In the third stage, the monitoring campaign performed during one week in March 2021. The soil temperature was measured at surface level and at 0.05 m, 0.10 m, and 0.15 m deep. Furthermore, the relative humidity of the soil surface was assessed. In the enhanced configuration, the humidity sensor was placed between the soil and the membrane, while in the reference case it laid on the soil surface. These parameters were monitored with a two-minute time-step.

The four stage focused on the data post-processing and data analysis. The hourly mean value was calculated for each monitored parameter, and a comparison between outcomes from the two configurations was conducted.

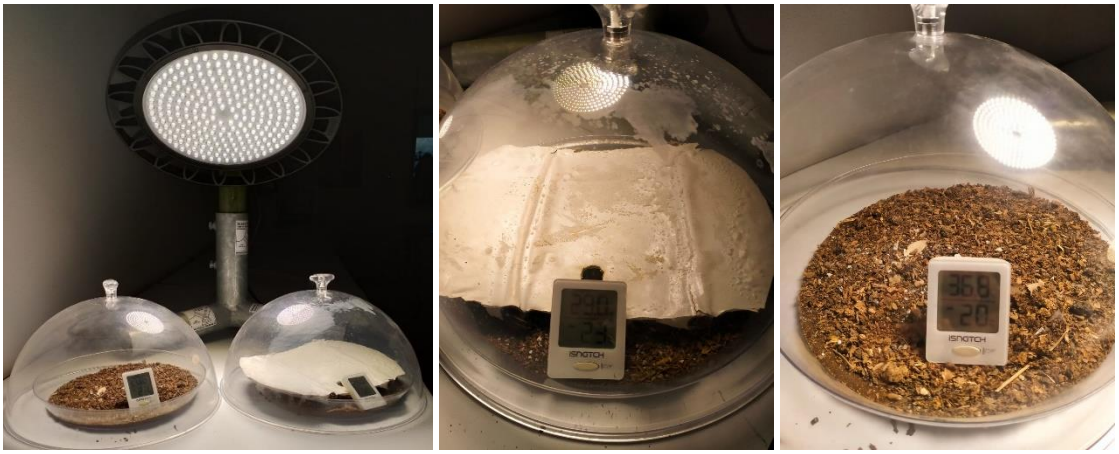
Finally, according to the principles of the Mediterranean diet (i.e. seasonality, nutrients balancing, health products, local food production, etc.), food crops to be cultivated in the summer season were selected in order to fit the criteria proper of a balanced and healthy diet (i.e. satisfying the recommended dietary intake for the population). Besides nutrients balancing, the food crops were selected among the ones characterized by high yields, and a high potential for lowering environmental impacts.

2.1. Laboratory-scale prototype

The laboratory-scale prototype was realized at CIRIAF (Figure 2a) and it consisted of:

i. the solar lamp, that simulates the solar source;
ii. two glazed hemispheres for reproducing the effects of the atmosphere on the radiation reflected by the ground;
iii. the two investigated soil configurations corresponding to the reference case and the enhanced scenario;
iv. two sensors measuring the soil surface temperature.

Figure 2. Experimental pre set-up at the CIRIAF laboratory.



(a) (b) (c)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

When the equilibrium state of the system was achieved, the soil temperatures were stationary and converged to two different values. The highest corresponded to the unmulched soil and it was as high as 36.8°C (Figure 2b). On the other hand, the soil covered by the high-reflective mulching membrane prototype barely reached a temperature level of 29.0°C (Figure 2c).

2.2. Experimental field and monitoring campaign

The experimental field was almost 100 m^2 large and it was realized in the Engineering University Campus in Perugia (Figure 3).

The experimental field consisted of 12 rows covered by the high-reflective mulching membrane coupled with a sub-irrigation system. The innovative mulching membrane was treated with a high-reflective painting enhanced with embedded glass microspheres on the top surface to implement a retro-reflective behavior. A sub-irrigation system is implemented on the bottom face of the mulching membrane. A conventional drip irrigation system (without the mulching membrane) was installed in 2 rows and used as a reference. The geometry properties of the field together with the water-resistance feature of the membrane permit rainwater to be recovered into a 5,000 l tank during the precipitation events. Such a water volume can be used for irrigation to reduce the exploitation of water from the aquifer.

Figure 3. Experimental field in the Engineering University Campus in Perugia.

To test the cooling potential of the high-reflective mulching membrane, a monitoring campaign was carried out from the 16th to 24th of March 2021. The membrane surface temperature and temperature of the soil was measured through type K thermocouples. Thermocouples were connected to a Lutron BTM-4208SD data logger recording the temperature values with a two-minute time-step.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Soil temperature values were collected by thermocouples buried into the soil at three different depths: (i) 0.05 m below the soil surface, (iii) 0.10 m below the ground, and (iii) 0.15 m below the soil. In Figure 4, the monitoring soil temperature at 0.10 m below the ground in the mulched field section was shown.

Figure 4. Thermocouple buried into the soil at 0.10 m below the ground in the mulched field section.

As far as the surface is concerned, when the surface is covered by the high-reflective mulching membrane, the thermocouple is placed above it. In the reference scenario, the thermocouple lays on the ground. Both the thermocouples were covered by an insulating layer (Figures 5a and 5b) to avoid potential biases due to the exposition of thermocouples to solar irradiation.

Figure 5. Thermocouples at the ground level (Figure 5a) and at the membrane side top (Figure 5b).

a) b)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Two EasyLog USB data logger were utilized to monitor the soil moisture, considered as the relative humidity at ground level. The sensor was installed just above the ground level in the unmulched section, and between the ground and the membrane in the field section covered by the mulching membrane.

The monitoring campaign was conducted in the two field configurations. Then, the effectiveness of the proposed technology was evaluated by comparing the results from the two sections of the field. Data from unmulched field section were used as a reference case.

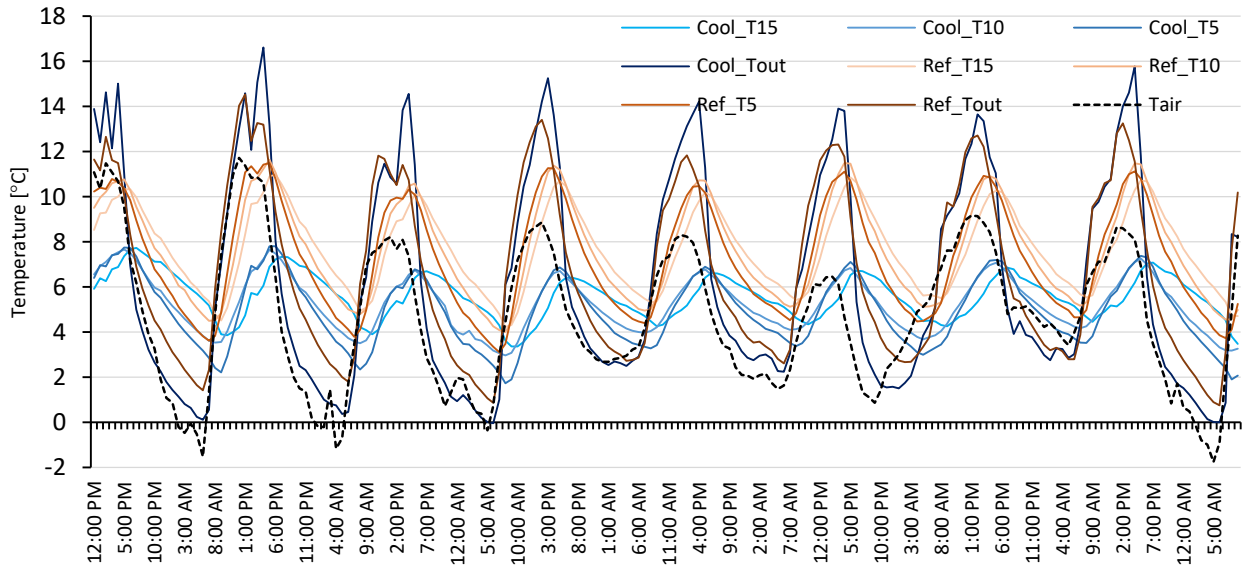
Environmental monitoring was performed through a fixed weather station settled above the rooftops level in the CIRIAF building. Data concerning air temperature (°C), and relative humidity (%) were collected during the monitoring campaign, and then used in the data post-processing stage.

3. Results and discussion

3.1. Effects of mulching membrane on Soil Temperature

Data concerning the surface temperature of the mulching membrane and the soil temperature at different depths, were reported in Figure 6.

Figure 6. Soil and mulching membrane temperature at different depths.



Mulching membrane surface temperature showed higher temperature fluctuations than temperature at ground level in the unmulched soil. This effect can be addressed to the latent heat of the moisture contained in the soil which was more than the one proper of the membrane. In particular, the mulching membrane temperature exhibited higher temperature than unmulched soil during warmest hours of the day (from 1 p.m. to 4 p.m.) with the peaks mostly at 4 p.m.. The lowest temperature values were showed instead nighttime (from 8 p.m. to 8 a.m.) with the peaks at 5 a.m..

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

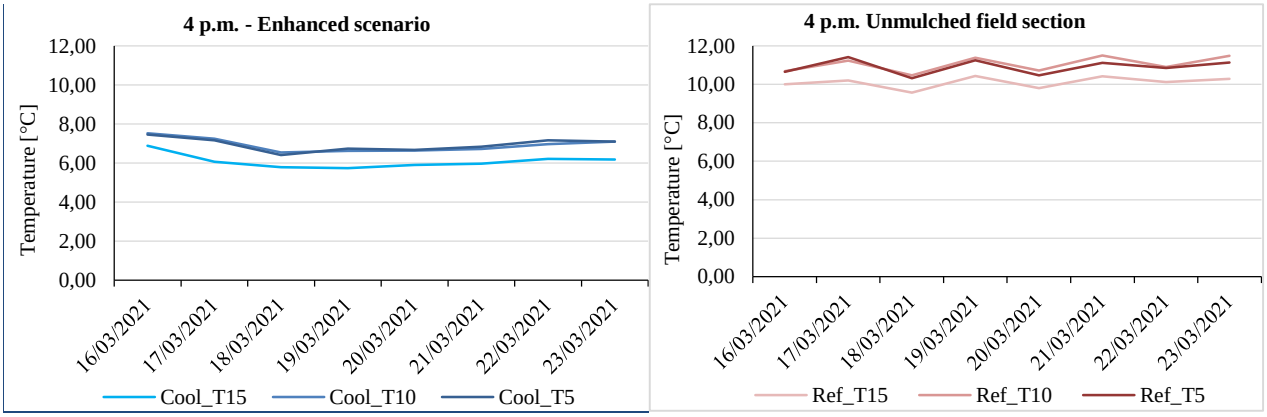
Nonetheless, the soil temperature values (throughout all the investigated depths) were lower in the configuration enhanced with the mulching membrane than in the section without that. The soil temperature followed a sinusoidal trend whose upper and lower limits varied according with the depth. At the 0.15 m depth, the soil temperature varied from 3°C to 8°C in the enhanced scenario, while it ranged from 4°C to 11°C in reference case. When it came to a depth of 0.10 m, the soil temperature ranged within the same temperature interval as before (from 3°C to 8°C) in the enhanced scenario, while it varied from 4°C to 12°C in uncovered field. At a depth of 0.05 m, the soil temperature ranged from 2°C to 8°C in the field covered by the membrane, while it varied from 3°C to 11°C in other section.

In particular, for each monitored depth, the highest ΔT value, defined as the difference between the enhanced scenario's soil temperature and the reference case's soil temperature, was equal to 4°C (at 4:00 p.m.) at a depth of 0.15 m, to 4.2 °C (at 3:00 p.m.) at a depth of 0.10 m, and to 4.4 °C (at 1:00 a.m.) at a depth of 0.05 m. In Figure 7, the temperature values calculated for each depth at 4:00 p.m. were reported.

During both the morning and the afternoon, the soil temperature in the enhanced scenario was lower than in the reference case. The reductions in soil temperature in the morning was averagely as high as 1.1 °C at 0.15 m below the ground surface, as 1.5 °C at a depth of 0.10 m, and as 1.6°C at 0.05 m. In the afternoon, this reduction was equal to 3°C, 3.2°C, and 3°C at the 0.15 m, 0,10 m, and 0.05 m depths, respectively.

In addition to that, the mulching membrane was found capable of reducing temperature variation throughout the day if compared to the reference case.

Figure 7. Soil temperature (°C) in the two configurations investigated at different depths at 4:00 p.m.



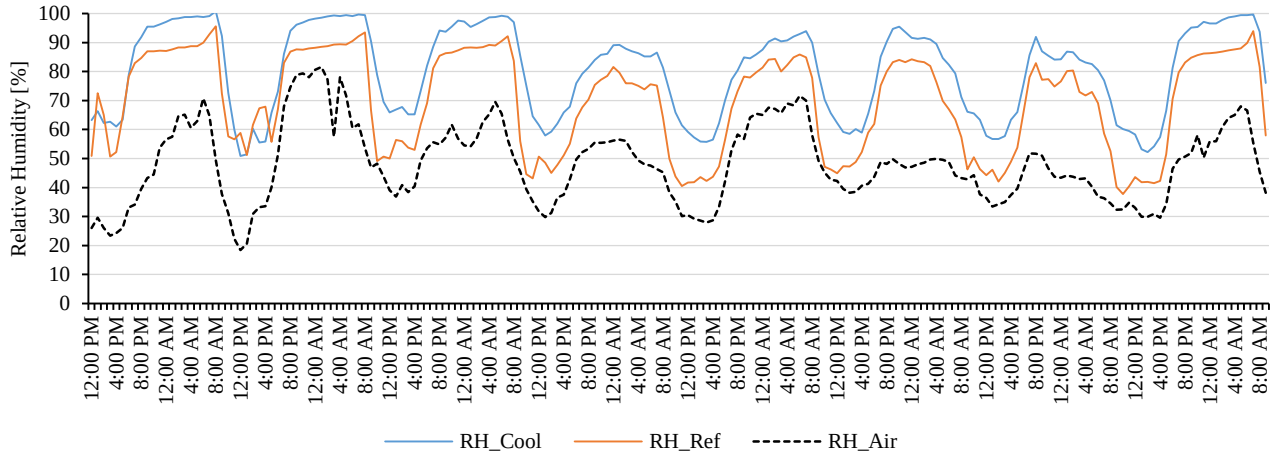
3.2. Effects of mulching membrane on Soil Moisture

The soil moisture (relative humidity at the ground level) from both the enhanced scenario and the reference case varied according to the fluctuations of the air relative humidity, although they exhibited highest values (Figure 8). Relative humidity at the ground level was always higher below the mulching membrane than in the other section. Monitored values fluctuated from 50% to 100% throughout the day. The highest values were recorded during the night, from 8 p.m. to 8 a.m. for both the field

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

configurations: from 85% to 100% (average of 92%) for the enhanced scenario, and from 52% to 97% (average of 83%) for the reference case.

Figure 8. Relative humidity (%) in enhanced scenario (RH_Cool) and in the reference case (RH_Ref).



3.3. Food crops selection

The food crops to be cultivated were selected among the ones characterized by high yields and low environmental impacts. Principles of the Mediterranean diet were also taken into account. The Mediterranean diet, which was mentioned among the most sustainable diets by the Food and Agriculture Organization of the United Nations in 2010, allows of coupling nutrients balancing and health products with local food production and biodiversity protection. The food crop which was selected to investigate the effectiveness of the high-reflective membrane technology was Solanum Lycopersicum L. (also known as “tomato”). As a matter of facts, the tomato was the first in the Italian ranking of vegetable crops in terms of yield by achieving up to 5,798,100 t ha. In addition to this, the tomato was also classified by Clune [13] as a low-carbon crop with a carbon footprint as high as 0.51 kgCO2-eq kg. Tomato is probably the most popular and consumed local food crop in Italy that plays a key role in enriching the human diet with vitamins (i.e. vitamin A, vitamin C), minerals (i.e. calcium, potassium), bioactive components (i.e. lycopene), and dietary fiber. Other food crops which can be investigated are strawberries and melon fruits. In fact, fruits play a key role in the Mediterranean diet as a source of vitamins as the Vitamin C, the Vitamin A, and the Vitamin B3 (antioxidant), and minerals as calcium, phosphorus, magnesium, and potassium. Moreover, fruits contain flavonoids, which consist of bioactive substances with antioxidant action. Pepper and aubergine, onion and garlic, bulb and root vegetables may be selected as well among vegetables. These well cope with mulching techniques and they are characterized by health properties such as antioxidant and anti-infiammatory actions due to bioactives substances (sulfur compounds). When it comes to cereals, corn could be cultivated to provide the diet starch and complex carbohydrates.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Conclusions

The effectiveness of a high-reflective mulching membrane in terms of soil temperature and soil moisture was investigated in this research study. Influences of this technology were determined through a monitoring campaign conducted in both a laboratory-scale prototype (preliminary) and a small-scale experimental field in Perugia.

The main findings are summarized in the following bullet points:

- Mulching membrane can reduce morning soil temperature slightly, while it decreased afternoon soil temperature by 3°C at each investigated depth;
- The temperature fluctuations were lower under the mulching membrane, during the day;
- Relative humidity was always higher under the mulching membrane, particularly during the night.

Further analyses could be carried out to extend and integrate results presented in this research study and to evaluate the effects of the high-reflective mulching membrane on the plants' growing cycle, and on the nutritional and organoleptic properties of food crops cultivated, in order to achieve a sustainable and healthy diet.

References

1. M. Santamouris, C. Cartalis, A. Synnefa, D. Kolokotsa. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings - A review. *Energy and Buildings* **2015**, *98*, 119–124.
2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352).
3. I. Lima, V. Scalco, R. Lamberts. Estimating the impact of urban densification on high-rise office building cooling loads in a hot and humid climate. *Energy and Buildings* **2019**, *182*, 30–44.
4. L. Lin, E. Ge, X. Liu, W. Liao, M. Luo. Urbanization effects on heat waves in Fujian Province, Southeast China. *Atmospheric Research* **2018**, *210*, 123–132.
5. H. Akbari, D. Kolokotsa. Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Building* **2016**, *133*, 834–842.
6. F. Cotana, F. Rossi, M. Filipponi, V. Coccia, A.L. Pisello, E. Bonamente, A. Petrozzi, G. Cavalaglio. Albedo control as an effective strategy to tackle Global Warming: A case study. *Applied Energy* **2014**, *130*, 641–647.
7. M. Manni, A. Petrozzi, V. Coccia, A. Nicolini, F. Cotana. Investigating alternative development strategies for sport arenas based on active and passive systems. *Journal of Building Engeneering* **2020**, *31*, 101340.
8. M. Manni, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Nicolini. An inverse approach to identify selective angular properties of retro- reflective materials for urban heat island mitigation. *Solar Energy* **2018**, *176*, 194–210.
9. F. Rossi, B. Castellani, A. Presciutti, E. Morini, E. Anderini, M. Filipponi, A. Nicolini. Experimental

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. *Energy and Building* **2016**, *126*, 340–52.

10. A. Synnefa, M. Santamouris, K. Apostolakis. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy* **2007**, *81*, 488–497.
11. H. Akbari, R. Levinson, L. Rainer. Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings. *Energy and Building* **2005**, *37*, 1007–1016.
12. M. Manni, A. Di Giuseppe, A. Petrozzi, A. Nicolini, F. Rossi, F. Cotana. High-reflective mulching membrane for a sustainable development: monitoring campaign, E3S Web Conferences 197, 08012 (2020), 75° National ATI Congress.
13. S. Clune, E. Crossin, K. Verghese. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production* **2017**, *140*, 766–83.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Hydrothermal carbonization of citrus peel waste and the effects of temperature on hydrochar properties during process water recirculation

Antonio Picone [1], Maurizio Volpe [2], Fabio Codignole Luz [2] and Antonio Messineo [3,*]

[1] Facoltà di Ingegneria e Architettura, Università di Enna – Kore, viale delle Olimpiadi snc, 94100, Enna - Italia

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: antonio.messineo@unikore.it

Abstract: Process water (PW) recirculation is attracting increasing interest in hydrothermal process field as it has the potential to increase the yield and the energy properties of the hydrochar. PW recirculation can be considered as a viable method for the treatment and recycling of the aqueous phase, both by reducing the amount of water for the process and increasing of economic viability of the process, contributing in mitigating environmental impacts. In this study, the PW produced from the hydrothermal carbonization of citrus peel waste was reused for the HTC of the feedstock, with the aim of maximize energy recovery from the aqueous phase. The effects of temperature on solid and liquid products characteristics were studied during PW recirculation. Batch experiments were carried out in a 50 ml stainless steel (AISI 316) batch reactor at different reaction temperatures (180, 220, 250 °C), fixed residence times of 1 h and solid to liquid load of 20 wt% based on the dry mass of the feedstock. Citrus peel waste hydrochars where characterized in terms of proximate analysis, high heating values while liquid phases were analyzed in terms of pH, and TOC. The results show that PW recirculation for different biomasses and at various operating conditions could represent a way to enhance carbon recovery from waste biomass while minimizing environmental impact of organic waste treatment.

Keywords: citrus peel waste; hydrothermal carbonization; hydrochar; process water recirculation.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Main information

The need to develop new reliable and renewable energy sources is pushing the scientists to look for more sustainable energy producing technologies. Between the renewable energy sources, biomass represents one of the most widely available. Waste biomass in particular is widely available in large amounts at low cost and represents a carbon-neutral and programmable resource for the production of energy and can be converted into energy dense biofuels and valuable carbonaceous materials for several other applications [1]. Waste biomass energy conversion reveals several drawbacks, mainly due to its high moisture content, low energy density and low chemical stability [2]. Dry thermochemical treatments like torrefaction [3–5], pyrolysis [6–8] and gasification [9–11] have been used to produce solid, liquid and gaseous bio-fuels respectively. The high moisture content (typically higher than 50%), commonly found in waste biomass, deeply affects energy efficiency of dry thermochemical technologies conversion. Wet thermochemical treatments like Hydrothermal Carbonization (HTC) have been more recently taking in consideration by the scientists of the sector due to the possibility of direct treatment of wet biomass without the need of a drying pre-treatment [12]. HTC also known as wet torrefaction is a process where wet biomass is processed in a batch mode in presence of water at subcritical condition, temperature range typically between 180-250 °C and corresponding autogenous water pressure of 10-40 bar, for a residence time varying between few minutes and several hours (0.5-12 h) [13–16]. When compared to dry torrefaction, HTC revealed enhanced biomass degradation at same reaction temperature and residence time due to the catalytic role of water on biomass constituent degradation [5,17]. Heterogeneous lignocellulosic structure of biomass is degraded by reaction routes mechanism such as hydrolysis, dehydration, decarboxylation, polymerization, poly-condensation and aromatization [18–21].The main advantage of HTC over other thermochemical conversion technologies (such as pyrolysis, gasification and incineration) is its ability to convert the wet feedstock to a solid carbonaceous product (hydrochar) at relatively high yields without prior dewatering and drying [22]. Moreover HTC process has been efficiently applied to very low valuable residues as the organic fraction of municipal waste [23,24], sewage and agro-industrial sludge to enhance sludge dewaterability and/or for the production of soil amendments [25–27].

HTC has been also successfully used as a pre-treatment for the production activated carbons to be used as water remediation agents [28,29]. Since HTC occurs in aqueous medium, large amounts of carbon in feedstock distributes in the by-product aqueous phase known as process water (PW) [30].PW consists mainly of organic acids (formic, acetic, lactic and propionic), sugars (glucose, fructose, and xylose), furans (furfural and 5-HMF) and phenols [31–36]. In order to make the process more economically viable and environmentally friendly, a feasible way to treat or utilize the PW needs to be figured out. The recirculation of PW as reaction medium of the hydrothermal process is a promising approach, which could not only minimize the hydrothermal wastewater discharge but also increase the yield of biofuel and thus carbon recovery. On an industrial scale, reuse of PW could be also an efficient method of heat recovery; moreover, it could reduce significantly the water demand for the process.

Recirculation of process water is a potential method for increasing the overall efficiency of the HTC system. However, it should not be the only alternative and methodologies such as biological

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

degradation [37] oxidation treatment [38] and other possible utilization paths [39] should be considered.

Recent investigations on the recirculation of PW show promising results for a cleaner production of hydrochar. Catalkopru et al. [40] determined the yield and fuel properties of hydrochars from HTC of three different biomass types (grape pomace, orange pomace and poultry litter) for three recirculation steps. HTC test were performed at 225 °C with a residence time of 10-30 min.

By recirculation, mass and energy yields of the hydrochar increased. The elemental composition and heating value of hydrochars did not change but their combustion characteristics did: the ignition temperature and combustion reactivity decreased. The authors [40] suggested that PW might lead to a resistance to diffusion of the degraded soluble fragments from surface of biomass to the aqueous solution, leading an increase in hydrochar yield.

Stemann et al. [41] studied the effects of recirculation of process water during HTC of poplar wood chips (temperature of 220 °C and residence time of 4 h). Organic acids in the liquid phase catalyzed dehydration reactions and provoked a rise of the carbon content and HHV of hydrochars. In contrast to what reported by Catalkopru et al. [40] hydrochar yield increase was not observed. Recirculation of PW during HTC of chlorella and soybean straw was investigated by Leng et al. [42] for four cycles. The yield of hydrochar was increased from 20.5% to 26.7% for chlorella and from 47.7% to 54.7% for soybean straw; the energy yield was increased by about 10%.Other studies [43–47] confirmed that for the majority of the studied biomasses, the biofuel yield and properties could be improved by PW recirculation. There are few studies describing the effects of temperature during water recycling on HTC. Köchermann et al. [48] examined effect of PW recycling at 180 and 220 °C. Results showed that hydrochar mass yield increases with progressing PW recirculation and higher temperatures strengthen this effect. Arauzo et al. [49] analyzed effects of PW recirculation in the range of 200-220 °C. At 200 °C the hydrochar yield decreased using only one PW recirculation and then increased after the second recycle; at 220 ° C the opposite effect was observed. The influence of residual water recirculation on hydrochar properties is described in a contradictory way probably due to the different feedstock nature and differences in the experimental procedure. In this work, the conversion of lemon peel waste by HTC process with DI and recirculated PW was studied for the first time. The aim was to contribute overcome a large gap in literature regarding the use of residual fractions obtained from HTC, such as process water, for a cleaner production of solid biofuels. More specifically, the objectives of this study were: i) to evaluate temperature influence during PW recirculation in the range of 180-250 °C for two recycling steps; ii) to detect effects of PW recirculation on hydrochar and aqueous phase properties; iii) to identify pathways which could lead to improve properties of hydrochars by analyzing HTC products and comparing results with available literature.

2. Materials and Methods

2.1. Materials and sample preparation

In this study peel waste from lemon (LP) of the Verdello variety were used as a starting material.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Raw material was dried in a ventilated oven at 105 °C for 48 h to prevent any degradation between its collection and its actual usage in HTC tests and to start with a dry baseline. The samples were then ground and sieved to a particle size lower than 850 µm and again oven dried for 2 h at 105 °C.

All samples were preserved in plastic containers before the HTC tests, and the solvent (deionized water or recirculated PW) added just before each HTC run to the desired dry biomass to water ratio (B/W).

2.2. HTC experimental procedure

The HTC experimental system used in this study, with a 50 ml internal volume stainless steel (AISI 316) batch reactor.

It can be observed that the temperature of the reactor raised after about two minutes after the beginning of the heating phase. This can be explained with the time delay due to heat transfer between the thermal input of the band heater and the temperature measured by the thermocouple.

Experimental trials were carried out at three different temperatures (180, 220 and 250 °C) keeping a fixed residence time was 1 h. In the first step (HTC_R0) a mixture of 5.0 ±0.1 g of dried biomass and 25.0 ±0.1 g of deionized water (DI) was loaded into the reactor, in order to obtain a biomass to water ration on a dry basis (B/W) of 0.2. At the end of reaction time, the reactor was cooled down by a two steps procedure. Firstly a massive stainless steel disc at -10 °C was positioned at the bottom of the reactor, secondly, once the reactor reached the temperature of about 130 °C, quenching to room temperature was achieved by using a stainless steel radiator with flowing tap water. The radiator was specifically designed for the scope, to be easily inserted into the reactor body. To evaluate the gas yield the excess of pressure was released by opening the reactor valve and the gas left flowing inside the graduated cylinder.

Once the volume was measured, the reactor was opened and the reaction mixture (slurry) was filtered to separate solid phase from aqueous phase by vacuum filtration.

The solid phase was washed with 30 ml of DI and dried in a ventilated oven at 105 °C for 24 h. The filtrate was referred as process water (PW) and stored at -10 °C.

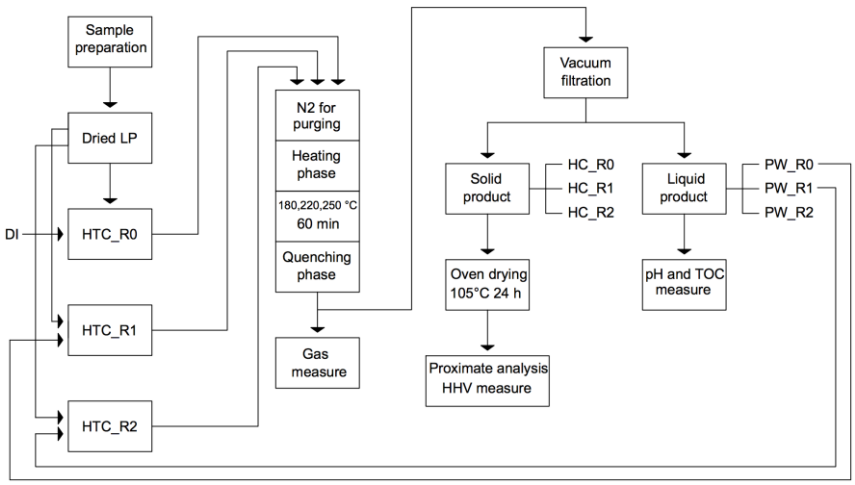
For the recirculating steps 1-2 (HTC_R1 and HTC_R2), PW of the previous step was used as solvent and mixed with biomass at BW of 0.2. Each run was repeated at least three times, to evaluate the deviation of the data and ensure reproducibility.

After drying the solid yield was then computed as mass of dry hydrochar collected to the mass of initial dry feedstock ($g_{hydrochar}/g_{dry\ feedstock}$). The gas yield was computed with the ideal gas law, assuming atmospheric pressure, temperature of 30 °C and CO_2 as the sole gaseous product [50]. The liquid yield was computed by difference.

Hydrochar (HC) and PW obtained from the HTC process with DI were designated as R0. The products obtained from the two recirculating steps were defined as R1 and R2, as it can also be seen in Figure.2.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 1. Flow diagram of HTC experimental procedure and HTC products characterization.



2.3. Characterization of solid and liquid products

The feedstock and hydrochars obtained from HTC runs were characterized in terms of proximate analysis and higher heating value (HHV).Proximate analysis were carried out by a LECO Thermogravimetric Analyser TGA 701. Approximately, 400-500 mg of solid samples were used to evaluate moisture content (MC), volatile matter (VM), ashes (Ash) and fixed carbon (FC) according to the follow thermal program: (1) 5 °C/min ramp to 105 °C in air until constant weight (<±0.05%) for MC calculation; (2) 16 °C/min ramp to 900 °C, hold time 7 min in N_2, to determine the VM; (3) natural cooling down to 500 °C in N_2; (4) 30°C/min ramp in air to 800 °C and isothermal until constant weight to determine ash content. Fixed carbon was evaluated by difference.

Higher heating value of raw and treated feedstock were evaluated according to the CEN/TS 14918 standard by means of a LECO AC500 calorimeter.

The energy densification ratio (EDR) and the energy yield (EY) of hydrochars were determined via Eqs. (1) and (2), respectively:

$$EDR(\%) = (HHV_{HCdb}/HHV_{Rdb})\ x\ 100 \quad (1)$$

$$EY(\%) = MY \cdot EDR \quad (2)$$

where HHV_{HCdb} and HHV_{Rdb} are the higher heating values of hydrochar and raw LP (on dry basis), respectively; MY is the hydrochar yield computed as mass of dry hydrochar collected to the mass of initial dry feedstock.

Process water collected after each HTC test was characterized in terms of pH and TOC. The pH of liquid samples was measured using a XS instruments Bench pH-meter. TOC content was measured by a Shimadzu Total Organic Carbon Analyser (liquid samples were previously filtered through 0.45 µm syringe filters).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. Results and Discussion

3.1. The influence of temperature on mass yields during PW recirculation

Table 1 shows mass yields obtained after HTC tests performed with deionized water or recirculated PW as a solvent. As documented in literature [18,19], at step R0 (HTC runs carried out with deionized water), as temperature rises, a solid yield decrease and a gas yield increase were observed. More specifically, at 220 °C the gas yield increased at the expense of the liquid one. Indeed, as reported in literature, only a small amount of cellulose has been degraded at 220 °C [51], therefore the increase in gas yield was due to decarboxylation of organic acids derived from hemicellulose hydrolysis and dehydration. At 250 °C, the enhanced carbonization of biomass led to a noticeable decrease of hydrochar mass yield and gaseous phase increase.

The liquid fraction resulting from HTC process contains water soluble substances like carboxylic acids, sugars and reactive intermediates such as furfural and HMF [30]. During recirculation steps (R1 and R2), these organic compounds reacted and influenced properties of the HTC products in a different way according to the process temperature.

Table 1. Mass yields (dry basis) and process water characterization. Solid and gas fractions were measured after each HTC test performed in triplicate; average values showed (Er% ≤ 1.5 % for solid yield and 2.3% for gas yield). Average values of three pH and TOC measurements showed (Er% ≤ 0.4% for pH and 0.5% for TOC).

Sample	Mass Yields wt% d.b.			Process water	
	Solid	Liquid[1]	Gas	pH	TOC (g/L)
180_R0	50.1%	43.7%	6.2%	3.87	16.06
220_R0	49.2%	40.7%	10.1%	4.40	13.30
250_R0	40.9%	44.4%	14.7%	4.66	9.70
180_R1	55.9%	37.6%	6.5%	3.95	18.82
220_R1	51.2%	37.6%	11.2%	4.49	16.92
250_R1	41.9%	43.4%	14.8%	4.69	14.25
180_R2	55.0%	38.1%	6.9%	3.97	20.08
220_R2	49.9%	38.7%	11.3%	4.50	17.79
250_R2	42.5%	42.8%	14.7%	4.70	18.06

[1] Computed by difference.

Dissolved organic matter in recirculated PW was involved in multiphase reactions.

At HTC temperatures of 180 and 220 °C a fraction of organic acids like acetic, lactic, propionic, levulinic and formic [19] was degraded to result in the formation of further gaseous compounds. At 250 °C recirculation of process water did not lead to an increase of gas mass yield, probably due to the relatively low concentration of these acids in the aqueous solution.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

An increase of hydrochar mass yield was observed at all three temperatures investigated; this effect was more pronounced at 180 °C (solid yield increase of about 6% after step R1). During second recirculation step, at temperatures of 180 and 220 °C the solid yield increase was less pronounced while a modestly reverse trend was found at 250 °C.

Effects of PW recirculation on mass yields could be explained by an interaction of different chemical reaction pathways. During HTC process, water in subcritical conditions catalyses hydrolysis of hemicellulose, cellulose and lignin to produce small chain polymers and monomers [22]. These compounds are subsequently dehydrated to form reactive intermediates (e.g. furans and furfurals) and organic acids [20,52]. Organic acids, accumulated in the recirculated PW, could promote further hydrolysis and decomposition of biomass polymers leading to a growing concentration of soluble intermediates. The intermediates could be involved in condensation and polymerization reactions to form solid phase aromatic clusters [43]. When their concentration reaches a certain value, the new aromatic structures aggregate on the surface of hydrochar matrix and could being responsible of solid yield increase [45].

Hence, during first recirculation step, the solid yield increase resulted less pronounced at higher temperatures probably due to the lower concentration of acids and soluble intermediates which could promote hydrolysis and re-polymerization reactions, respectively.

During step R2, at 180 and 220 °C the concentration of reactive intermediates could be decreased due to their solid precipitation occurred in the previous recirculation cycle [41,43]; this might be the reason of lower solid yield increase found. At 250 °C, the lower initial concentration of dissolved organic matter in the liquid phase, when compared to the process water obtained at 180 and 220 °C, probably led to a delayed accumulation of compounds with high reactivity. This could be the explanation for the greater solid yield increase obtained at 250 °C in the second recirculation step.

3.2. Effect of process temperature and PW recycling step on hydrochars properties

Raw biomass and hydrochars' volatile matter (VM), ashes (Ash), and fixed carbon (FC) content determined are reported in Table 2.

Table 2. Proximate analysis and energy properties of raw LP and hydrochars. Proximate analysis performed in duplicate; average values are showed (Er% ≤ 2.9%). HHVs average of two measurements, (Er% ≤ 0.9).

Sample	Proximate Analysis wt% d.b.			Energy properties		
	VM	Ash	FC[1]	HHV (MJ kg^{-1})	EDR (%)	EY (%)
Raw LP	75.0%	3.8%	21.2%	17.1	100.0	100.0
180_R0	65.3%	2.3%	32.4%	22.4	130.8	65.5
220_R0	58.1%	3.1%	38.8%	24.4	143.0	70.4
250_R0	50.5%	3.2%	46.3%	26.7	156.0	63.7
180_R1	63.6%	3.0%	33.4%	22.0	128.9	72.1

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

220_R1	59.1%	3.7%	37.1%	23.9	139.9	71.7
250_R1	51.6%	3.2%	45.2%	26.8	156.9	65.7
180_R2	62.6%	3.0%	34.4%	22.2	129.9	71.4
220_R2	58.1%	3.2%	38.7%	24.7	144.6	72.2
250_R2	51.7%	3.3%	45.1%	27.2	159.3	67.7

[1] Computed by difference.

As expected the highest VM content was found in the raw LP (VM = 75.0%). After step R0, proximate analysis shows a decrease in VM with increasing temperature while FC content follows an opposite trend. This is, as well documented in literature, due the enhanced carbonization of biomass at increasing temperature [53]. In recirculation steps, at 180 °C, the fixed carbon of hydrochars increased while volatile matter decreased. These could be related to the increased extent of condensation reaction (polymerization) of organic intermediates in liquid phase and to the increased decomposition of the staring material possibly promoted by increased acids activity, respectively as recently reported by Chen and co-workers [46].

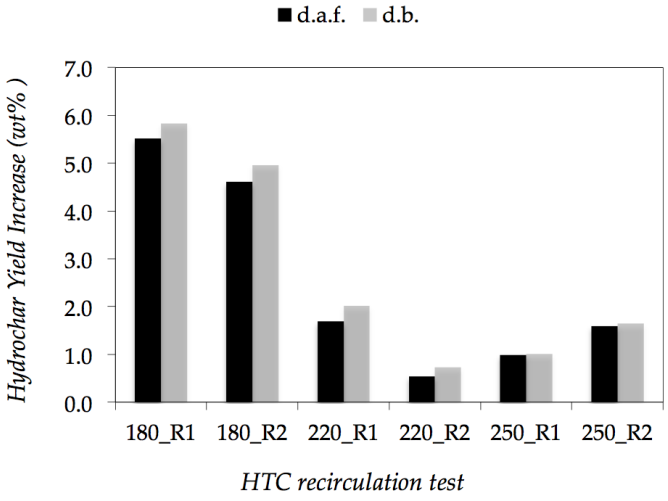
At higher temperatures VM and FC contents were only slightly influenced by PW recirculation.

With PW recirculation an increase of ash content was observed. This may be as a result of an increased concentration of inorganics into PW resulting on a lower leaching activity from the starting raw biomass [40,46].

The results showed that the increased ash content slightly affected the solid yield increase at 180 °C and 220 °C while at 250 °C hydrochars yield remained almost unchanged (Figure 2).

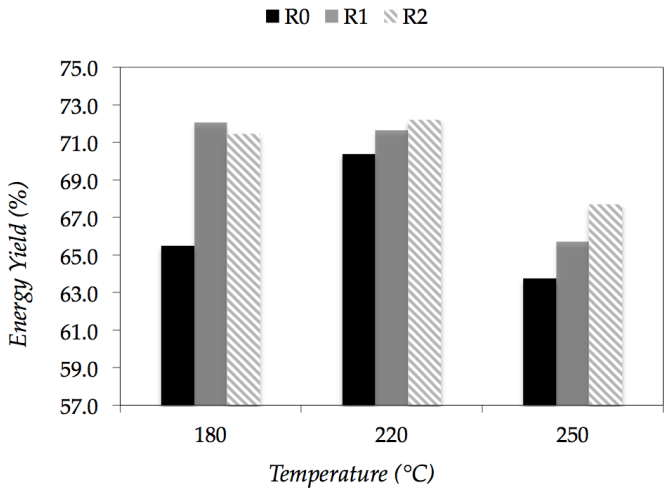
All hydrochars exhibited higher HHV than the raw feedstock and the increased carbon content of the hydrochars obtained at higher temperatures underlines this result (Table 2). By recirculation, HHV of hydrochars remained nearly constant [40]. Due to the increase in hydrochars yield, energy yield significantly increased after recirculation steps (Figure 3).

Figure 2. Contribute of ash content in hydrochar yield increase after recirculation steps.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 3. Effect of PW recirculation on hydrochars energy yield at the three temperatures investigated.



3.3. Process water pH and TOC

Process water obtained from HTC runs was characterized in terms of pH and TOC (Table 1). For all HTC tests the pH of PW was in acidic pH range and has slightly increased after recirculation steps. This is in good agreement with observations done by previous researchers [40,45].

Particularly, the recirculation of PW led to an increase of pH from 3.87 to 3.97 at 180 °C, from 4.40 to 4.50 at 220 °C and from 4.66 to 4.70 at 250 °C.

It can be seen, as the higher the temperature the higher the pH, while it appears also that the pH became more or less stable after step R1.

As expected TOC results showed a considerable increases values after PW recirculation due to the increase of organic soluble compounds at each step, in addition to those produced in the previous cycle. Not surprisingly this trend was more pronounced at higher HTC temperatures.

Trends of pH and TOC are consistent with the interpretation reported in the section 3.1. At higher temperature, pH increased while TOC decreased, thus the concentration of organic acids and reactive compounds also reduced, leading to lower hydrochar yield increase during step R1. This explanation seems to be supported by the fact that, at a higher acid concentration, the degradation of biomass macro-components is promoted and newly formed compounds are added to the surface of hydrochar [43]. During step R2, the increment in TOC decreased probably because some of the dissolved organic matter took part in polymerization reactions (condensation). Organic acids were subjected to decarboxylation to form further gaseous products at temperatures of 180 and 220 °C. At 250 °C, TOC increased almost constantly during recirculation steps, probably due the lower initial concentration of soluble compounds which led to a delay in reaching a dynamic equilibrium of organic species concentration in aqueous phase [41]. Thus, an increment of the concentration of reactive substances in the liquid phase at step R2 for HTC at 250 °C may have accelerated the rate of polymerization and led to a greater solid mass yield increase.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Recent literature [41,45,48] has reported that organic acids concentration in PW initially increases to reach a nearly constant value of a dynamic equilibrium thusthe pH slight increase during recirculation can be also attributed to an inorganic ions (i.e.: alkali metals) up-take [43,45].

4. Conclusions

The present study has shown that PW recirculation can influence hydrochars properties positively. Hydrochar yield increased slightly with PW recycling and this effect was more pronounced at lower temperatures. Moreover, PW reuse has resulted in an increase of the energy yield. Hydrolysis of biomass macro-components could be promoted by organic acids dissolved in the recirculated PW leading to an increase of such compounds in the liquid phase promoting their reactivity. These compounds could undergo to condensation reactions to yield more complexed solid aromatic structures causing a solid mass yield increase. In the first recirculation step, as HTC temperature increased, the hydrochar yield increase was less pronounced. In the second recycle step, at temperatures of 180 and 220 °C a lower solid yield increase, when compared to the first recycle step was observed, while at 250 °C, the delayed accumulation of reactive organic matter probably led to a greater increase in hydrochar production. Volatile matter, fixed carbon and HHV of hydrochars were only slightly influenced.

References

1. Kambo, H.S.; Dutta, A. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2015**, *45*, 359–378.
2. Messineo, A.; Ciulla, G.; Messineo, S.; Volpe, M.; Volpe, R. Evaluation of Equilibrium Moisture Content in Ligno-Cellulosic Residues of Olive Culture. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* **2014**, *9*, 5–11.
3. Chen, W.H.; Kuo, P.C. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *Energy* **2010**, *35*, 2580–2586.
4. Benavente, V.; Fullana, A. Torrefaction of olive mill waste. *Biomass and Bioenergy* **2015**, *73*, 186–194.
5. Volpe, M.; Fiori, L.; Volpe, R.; Messineo, A. Upgrading of Olive Tree Trimmings Residue as Biofuel by Hydrothermal Carbonization and Torrefaction : a Comparative Study. *Chemical Engineering Transactions* **2016**, *50*, 13–18.
6. Gopu, C.; Gao, L.; Volpe, M.; Fiori, L.; Goldfarb, J.L. Valorizing municipal solid waste: Waste to energy and activated carbons for water treatment via pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **2018**, *133*, 48–58.
7. Volpe, M.; D'Anna, C.; Messineo, S.; Volpe, R.; Messineo, A. Sustainable Production of Bio-Combustibles from Pyrolysis of Agro-Industrial Wastes. *Sustainability* **2014**, *6*, 7866–7882.
8. Marcì, G.; García-lópez, E.I.; Palmisano, L. Heteropolyacid-Based Materials as Heterogeneous Photocatalysts. **2014**, 21–35.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

9. Pasangulapati, V.; Ramachandriya, K.D.; Kumar, A.; Wilkins, M.R.; Jones, C.L.; Huhnke, R.L. Effects of cellulose, hemicellulose and lignin on thermochemical conversion characteristics of the selected biomass. *Bioresource Technology* **2012**, *114*, 663–669.
10. Basu, P. *Biomass Gasification and Pyrolysis*; 2010; ISBN 9780123749888.
11. Volpe, R.; Messineo, S.; Volpe, M.; Messineo, A. Catalytic Effect of Char for Tar Cracking in Pyrolysis of Citrus Wastes , Design of a Novel Experimental Set Up and First Results. **2016**, *50*, 181–186.
12. Maniscalco, M.P.; Volpe, M.; Messineo, A. Hydrothermal carbonization as a valuable tool for energy and environmental applications: A review. *Energies* **2020**, *13*.
13. Fiori, L.; Basso, D.; Castello, D.; Baratieri, M. Hydrothermal carbonization of biomass: Design of a batch reactor and preliminary experimental results. *Chemical Engineering Transactions* **2014**, *37*, 55–60.
14. Volpe, M.; Fiori, L. From olive waste to solid biofuel through hydrothermal carbonisation: The role of temperature and solid load on secondary char formation and hydrochar energy properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **2017**, *124*, 63–72.
15. Merzari, F.; Lucian, M.; Volpe, M.; Andreottola, G.; Fiori, L. Hydrothermal carbonization of biomass: Design of a bench-Scale reactor for evaluating the heat of reaction. *Chemical Engineering Transactions* **2018**, *65*, 43–48.
16. Volpe, M.; Goldfarb, J.L.; Fiori, L. Hydrothermal carbonization of Opuntia ficus-indica cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. *Bioresource Technology* **2018**, *247*, 310–318.
17. Funke, A.; Reebs, F.; Kruse, A. Experimental comparison of hydrothermal and vapothermal carbonization. *Fuel Processing Technology* **2013**, *115*, 261–269.
18. Heidari, M.; Dutta, A.; Acharya, B.; Mahmud, S. A review of the current knowledge and challenges of hydrothermal carbonization for biomass conversion. *Journal of the Energy Institute* 2019.
19. Pauline, A.L.; Joseph, K. Hydrothermal carbonization of organic wastes to carbonaceous solid fuel – A review of mechanisms and process parameters. *Fuel* **2020**, *279*, 118472.
20. Zhuang, X.; Zhan, H.; Song, Y.; He, C.; Huang, Y.; Yin, X.; Wu, C. Insights into the evolution of chemical structures in lignocellulose and non-lignocellulose biowastes during hydrothermal carbonization (HTC). *Fuel* **2019**, *236*, 960–974.
21. Khan, T.A.; Saud, A.S.; Jamari, S.S.; Rahim, M.H.A.; Park, J.W.; Kim, H.J. Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass for carbon rich material preparation: A review. *Biomass and Bioenergy* **2019**, *130*, 105384.
22. Sharma, H.B.; Sarmah, A.K.; Dubey, B. Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2020**, *123*, 109761.
23. Lucian, M.; Volpe, M.; Merzari, F.; Wüst, D.; Kruse, A.; Andreottola, G.; Fiori, L. Hydrothermal carbonization coupled with anaerobic digestion for the valorization of the organic fraction of municipal solid waste. *Bioresource Technology* **2020**, *314*, 123734.
24. Puccini, M.; Stefanelli, E.; Hiltz, M.; Seggiani, M. Activated Carbon from Hydrochar Produced by

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Hydrothermal Carbonization of Wastes. *Chemical Engineering Transactions* **2017**, *57*, 169–174.
25. Volpe, M.; Fiori, L.; Merzari, F.; Messineo, A.; Andreottola, G. Hydrothermal carbonization as an efficient tool for sewage sludge valorization and phosphorous recovery. *Chemical Engineering Transactions* **2020**, *80*, 199–204.
26. Xu, Z.-X.; Song, H.; Li, P.-J.; He, Z.-X.; Wang, Q.; Wang, K.; Duan, P.-G. Hydrothermal carbonization of sewage sludge: Effect of aqueous phase recycling. *Chemical Engineering Journal* **2020**, *387*, 1–12.
27. Merzari, F.; Goldfarb, J.; Andreottola, G.; Mimmo, T.; Volpe, M.; Fiori, L. Hydrothermal carbonization as a strategy for sewage sludge management: Influence of process withdrawal point on hydrochar properties. *Energies* **2020**, *13*.
28. Saha, N.; Volpe, M.; Fiori, L.; Volpe, R.; Messineo, A.; Reza, M.T. Cationic dye adsorption on hydrochars of winery and citrus juice industries residues: Performance, mechanism, and thermodynamics. *Energies* **2020**, *13*, 1–16.
29. Regmi, P.; Luis, J.; Moscoso, G.; Kumar, S.; Cao, X.; Mao, J.; Schafran, G. Removal of copper and cadmium from aqueous solution using switchgrass biochar produced via hydrothermal carbonization process. **2012**.
30. Becker, R.; Dorgerloh, U.; Paulke, E.; Mumme, J.; Nehls, I. Hydrothermal carbonization of biomass: Major organic components of the aqueous phase. *Chemical Engineering and Technology* **2014**, *37*, 511–518.
31. Volpe, M.; Wüst, D.; Merzari, F.; Lucian, M.; Andreottola, G.; Kruse, A.; Fiori, L. One stage olive mill waste streams valorisation via hydrothermal carbonisation. *Waste Management* **2018**, *80*, 224–234.
32. Arauzo, P.J.; Olszewski, M.P.; Kruse, A. Hydrothermal Carbonization Brewer's Spent Grains with the Focus on Improving the Degradation of the Feedstock. *Energies* **2018**, *3226*.
33. Mäkelä, M.; Geladi, P. Hyperspectral Imaging to Determine the Properties and Homogeneity of Renewable Carbon Materials. **2017**, 1–8.
34. Antero, R.V.P.; Alves, A.C.F.; de Oliveira, S.B.; Ojala, S.A.; Brum, S.S. Challenges and alternatives for the adequacy of hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass in cleaner production systems: A review. *Journal of Cleaner Production* 2020.
35. Leng, S.; Leng, L.; Chen, L.; Chen, J.; Chen, J.; Zhou, W. The effect of aqueous phase recirculation on hydrothermal liquefaction/carbonization of biomass: A review. *Bioresource Technology* **2020**, *318*.
36. Mäkelä, M.; Volpe, M.; Volpe, R.; Fiori, L.; Dahl, O. Spatially resolved spectral determination of polysaccharides in hydrothermally carbonized biomass. *Green Chemistry* **2018**, *20*, 1114–1120.
37. Erdogan, E.; Atila, B.; Mumme, J.; Reza, M.T.; Toptas, A.; Elibol, M.; Yanik, J. Characterization of products from hydrothermal carbonization of orange pomace including anaerobic digestibility of process liquor. *Bioresource Technology* **2015**, *196*, 35–42.
38. Reza, M.T.; Freitas, A.; Yang, X.; Coronella, C.J. Wet Air Oxidation of Hydrothermal Carbonization (HTC) Process Liquid. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* **2016**, *4*, 3250–3254.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

39. Leng, L.; Zhou, W. Chemical compositions and wastewater properties of aqueous phase (wastewater) produced from the hydrothermal treatment of wet biomass: A review. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* **2018**, *40*, 2648–2659.
40. Kabadayi Catalkopru, A.; Kantarli, I.C.; Yanik, J. Effects of spent liquor recirculation in hydrothermal carbonization. *Bioresource Technology* **2017**, *226*, 89–93.
41. Stemann, J.; Putschew, A.; Ziegler, F. Hydrothermal carbonization: Process water characterization and effects of water recirculation. *Bioresource Technology* **2013**, *143*, 139–146.
42. Leng, S.; Li, W.; Han, C.; Chen, L.; Chen, J.; Fan, L.; Lu, Q.; Li, J.; Leng, L.; Zhou, W. Aqueous phase recirculation during hydrothermal carbonization of microalgae and soybean straw: A comparison study. *Bioresource Technology* **2020**, *298*, 122502.
43. Wang, R.; Jin, Q.; Ye, X.; Lei, H.; Jia, J.; Zhao, Z. Effect of process wastewater recycling on the chemical evolution and formation mechanism of hydrochar from herbaceous biomass during hydrothermal carbonization. *Journal of Cleaner Production* **2020**, *277*.
44. Xu, Z.X.; Song, H.; Li, P.J.; He, Z.X.; Wang, Q.; Wang, K.; Duan, P.G. Hydrothermal carbonization of sewage sludge: Effect of aqueous phase recycling. *Chemical Engineering Journal* **2020**, *387*.
45. Wang, F.; Wang, J.; Gu, C.; Han, Y.; Zan, S.; Wu, S. Effects of process water recirculation on solid and liquid products from hydrothermal carbonization of Laminaria. *Bioresource Technology* **2019**, *292*.
46. Chen, X.; Ma, X.; Peng, X.; Lin, Y.; Wang, J.; Zheng, C. Effects of aqueous phase recirculation in hydrothermal carbonization of sweet potato waste. *Bioresource Technology* **2018**, *267*, 167–174.
47. Kambo, H.S.; Minaret, J.; Dutta, A. Process Water from the Hydrothermal Carbonization of Biomass: A Waste or a Valuable Product? *Waste and Biomass Valorization* **2018**, *9*, 1181–1189.
48. Köchermann, J.; Görsch, K.; Wirth, B.; Mühlenberg, J.; Klemm, M. Hydrothermal carbonization: Temperature influence on hydrochar and aqueous phase composition during process water recirculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2018**, *6*, 5481–5487.
49. Arauzo, P.J.; Olszewski, M.P.; Wang, X.; Pfersich, J.; Sebastian, V.; Manyà, J.; Hedin, N.; Kruse, A. Assessment of the effects of process water recirculation on the surface chemistry and morphology of hydrochar. *Renewable Energy* **2020**, *155*, 1173–1180.
50. Hitzl, M.; Corma, A.; Pomares, F.; Renz, M. The hydrothermal carbonization (HTC) plant as a decentral biorefinery for wet biomass. *Catalysis Today* **2015**, *257*, 154–159.
51. Volpe, M.; Messineo, A.; Mäkelä, M.; Barr, M.R.; Volpe, R.; Corrado, C.; Fiori, L. Reactivity of cellulose during hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. *Fuel Processing Technology* **2020**, *206*, 106456.
52. Reza, M.T.; Uddin, M.H.; Lynam, J.G.; Hoekman, S.K.; Coronella, C.J. Hydrothermal carbonization of loblolly pine: reaction chemistry and water balance. *Biomass Conversion and Biorefinery* **2014**, *4*, 311–321.
53. Lucian, M.; Volpe, M.; Gao, L.; Piro, G.; Goldfarb, J.L.; Fiori, L. Impact of hydrothermal carbonization conditions on the formation of hydrochars and secondary chars from the organic fraction of municipal solid waste. *Fuel* **2018**, *233*, 257–268.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Preliminary LCA of a polygeneration plant fed with lignocellulosic biomass

Ramoon Barros Lovate Temporim[1,*], Gianluca Cavalaglio[2], Alessandro Petrozzi[1], Andrea Nicolini[2] and Franco Cotana[2].

[1] CIRIAF, Via G. Duranti, 67 - 06125 Perugia
[2] Dipartimento di Ingegneria, Via G. Duranti, 93 - 06125 Perugia

* Ramoon Barros Lovate Temporim. E-Mail: barroslovate@crbnet.it

Abstract: This work refers to the activities developed in the scope of PRIN (BIO-CHEAPER) Project - Research Projects of Relevant National Interest. The objective of this article is to present a preliminary LCA by investigating the primary energy demands of a polygeneration plant fed with cardoon (*Cynara cardunculus*) lignocellulosic material. Moreover, this article presents a report of the energy conversion efficiency. The Cynara cardunculus was chosen as a feedstock due to its high-efficiency performance as energy crop. It can be grown on marginal lands without significant investments in maintenance. The raw material was deemed to be obtained from an agricultural field 20 km from the polygeneration plant and transported by trucks with a capacity of 30 tons. The polygeneration plant is composed of the following structures: a central to unloading and storage raw material with a dehumidification system; a combustion plant connected to a turbine adapted to work in an Externally Fired Gas Turbine cycle with a power of 100 kW of electricity; a system to recover the residual thermal energy from smokes and the thermal vector fluid, connected with a district heating and cooling able to conditionate buildings with the thermal power capacity of 270 kW and a cooling capacity of 140 kW. Through the Cumulative Energy Demand method, it was possible to determine a primary energy input of 185,341 kWh for an operation of 2,000 hours per year. The cultivation phase required approximately 36% of the primary energy and the polygeneration phase 62%.

Keywords: Polygeneration, lignocellulosic biomass, cardoon, *Cynara cardunculus*.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

In the current scenario of climate changes, the significance of studying and implementing the use of alternative energy sources with a high level of sustainability has grown. In this circumstance, bioenergy from energy crops has gained attention, and great emphasis has been given to the use of biomasses as alternative source for energy production [1].

The green energy production from non-food crops and residual biomasses as lignocellulosic materials emerges as an interesting option to save resources and protect the environment [2].

A relevant aspect of lignocellulosic biomasses is their contribution to the reduction of the greenhouse gas emissions. The production of energy through the use of biomasses takes place by emitting CO_2 which is reabsorbed in the regrowth cycles of the plants during the cultivation phase. Moreover, compared to renewable sources like wind and sun, biomasses are a widely programmable resource, as they can be stored [3, 4].

Lignocellulosic biomasses through appropriate processes can reach different energy products such as heat, electricity, and biofuels. One of the most widespread biomasses, given its simplicity in obtaining, is the woody material reduced in chips [5].

Since this work refers to the activities developed in the scope of PRIN (BIO-CHEAPER) Project - Research Projects of Relevant National Interest - Biomasses Circular Holistic Economy Approach to Energy Equipment, which main target is the study of solid biomass energy pathways for small size plants, in accordance with its requirements, the cardoon lignocellulosic biomass was considered as feedstock due to its sustainability characteristics, confirmed by several studies in the last 30 years [6, 3].

The *Cynara cardunculus* is a high-efficiency energy crop that can be grown on marginal lands without significant investments in maintenance because it thrives in areas with low edaphoclimatic characteristics and without irrigation. This plant represents a productive crop capable of growing in Mediterranean regions with strict edaphoclimatic conditions [3, 4]. In particular, Italy presents a vast potential to introduce this crop since it has available around 3 million hectares of marginal land, which could be partially used for growing cardoon [6].

The term polygeneration describes the idea of an integrated energy system simultaneously providing several products as electricity, heat, cold and chemical products in a decentralized way. Polygeneration presents advantages as the reduction of greenhouse gases, a reliable energy supply, economic saving and reduction of the network losses [7].

However, this system presents a challenge, the selection of the best technology to include in a polygeneration plant. The possibilities are varied as internal combustion engines, microturbines, fuel cells, among others. In addition to the choice of energy source such as solar, heolic, use of biomass, among others [8].

In a traditional electrical production plant, there is a conversion efficiency that varies from 15% to 35%. This means that 65% to 85% of primary energy is lost in the form of heat. On the other hand, in a cogeneration plant the heat produced is recovered for other uses. In these cases, energy efficiency can rise by up to 70% [9].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

In the field of electrical generation, the gas turbine has been of great interest for several reasons, such as: compactness and simplicity of the machine, reliability, reduced investment costs, speed of construction and high rate of conversation. However, one of the most recognized limitations of technology is certainly the need to use clean fuels like natural gas. A solution to this technology limitation would be the use of an external combustion gas turbine [10].

The external fired gas turbines (EFGT) offer the possibility of using air as a vector fluid. An EFGT cycle is based on a gas cycle when direct combustion is replaced by a heat exchanger that allows the vector fluid to be heated. The combustion process takes place outside the turbine, in a combustion chamber and the smokes produced are used to heat, through the heat exchanger, the compressed air that expands in the turbine, producing energy [10]. This system uses the joint production of electricity, heat and cooling through the use of a single fuel, allowing electricity to be produced through the turbine and recovering and converting the residual heat source of heating or converting into cold [11].

Given this context, this article aims to present a preliminary Life Cycle Assessment (LCA) study of a polygeneration plant of electricity, heat and cold powered by lignocellulosic biomass combustion.

The LCA is a method to assess the environmental impacts and resources usage through a product, process, and service's life cycle. It is based on the compilation and evaluation of inputs (energy and material) and output (products, by-products, pollutants, and emissions) in order to determine the burden of impacts. This method is able to compare information about the impacts of different products, processes and services as a support to decision-making [12, 13, 14].

Since this is a preliminary study, the method used was the Cumulative Energy Demand V1.11 (CED V1.11) [15]. This method focused on the analysis of primary energy demand, enabling the analysis of the energy conversion efficiency.

2. Materials and methods

2.1. System Boundaries

To achieve more consistent results, understanding the whole burden of primary energy demand related to the polygeneration production, the system boundaries considered the activities starting from the agricultural production of cardoon to the polygeneration, as shown in Figure 1.

As can be seen in Figure 1, a cradle-to-gate assessment was carried out. The boundaries were considered from the agricultural production passing by the transportations, and all the necessary phases for the polygeneration.

The raw material was considered to be grown on agricultural fields 20km from the polygeneration plant.

The crop management was carried out employing as minimum as possible chemical fertilizers, favoring the use of compost materials to nurture the crop. The cultivation was carried out without using any irrigation method and defensive application. These adoptions favored reducing as minimum as possible the load of environmental impacts in the phase of the agricultural production.

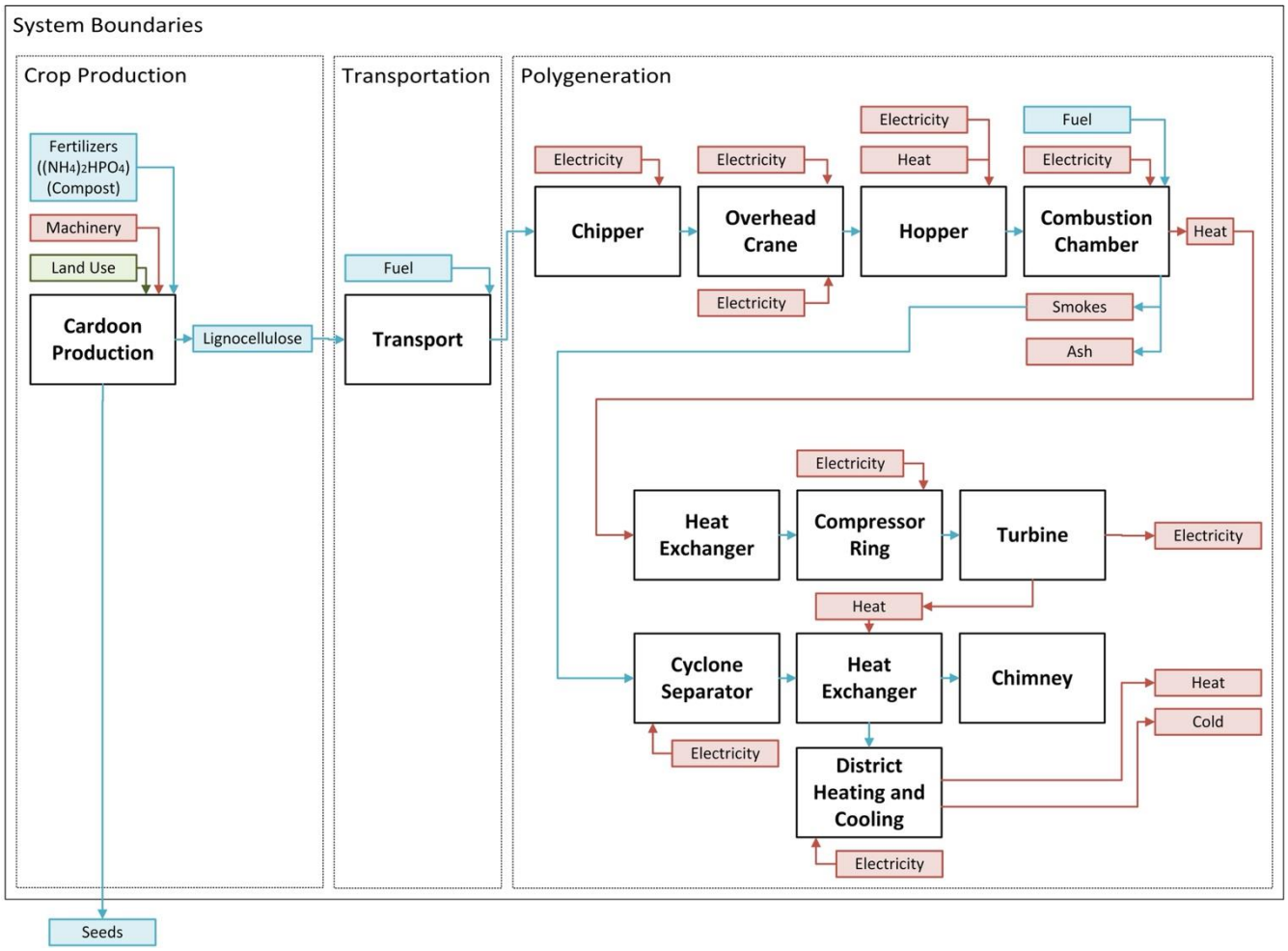
The transportation of the raw material to the polygeneration plant was deemed to be done by road using trucks with a capacity of 30 metric tons.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The raw material, before entering the polygeneration plant, is subjected to a process of size reduction through a chipper machine, obtaining chips with regular shape and fine size of about 10x20x20 mm.

The raw material was characterized in the University of Perugia, Biomass Research Canter's laboratories. This characterization was done in terms of moisture by means of a moisture analyzer (model Mettler Toledo HB43-S) [16], and in terms of LHV through a calorimeter (model LECO AC-350) [17], essential parameters to determine the energy flows during the plant operations.

Figure 1. System Boundaries.



2.2. Layout and Operations of the Polygeneration Plant

Inside the polygeneration plant, the material is unloaded from the truck and loaded into a hopper with a capacity of 8m^3. This transfer is made by means of an overhead crane that carries 450kg big bags. In this stage, the stored biomass undergoes a dehumidification process.

The hopper connects to the combustion chamber through a set of conveyors made up of rakes and screw conveyors. At the bottom of the hopper, rakes move the chips by pushing them towards a chute in which the material is removed by means of a set of screw conveyors to the combustion chamber.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The combustion chamber consists of a circular steel body filled with refractory cement, a diesel ignition engine, a set of aerators that keep the necessary oxygen supply to maintain combustion under ideal conditions. At the bottom of the camera there is a conveyor assembly responsible for removing the ashes from the camera. The exhaust gases from combustion leave the camera and pass through the heat exchanger.

The heat exchanger is made of INOX 430 and a high efficiency tubular beam AISI 310. In this phase, the heat produced by the combustion of the biomass is transferred to the air which is sent to the expansion in the turbine.

The heating process of vector fluid is done through a metal ring connected to the heat exchanger. Within this ring the air is forced by a group of fans to circulate inside the heat exchanger until it reaches a temperature of 950°C.

Once the appropriate thermodynamic conditions are reached, the air is diverted to the turbine to be expanded. A high speed (70,000 rpm) single shaft Turbec T100 turbine is used. The turbine is capable of delivering 100 kW of electrical power.

The generator produces high frequency electricity. Before the generated current reaches the grid, it must be converted to grid standards (400 VAC at 50 Hz). The high frequency alternating current produced by the generator (500 VAC at 2333 Hz corresponding to 70,000 rpm of the motor shaft) is initially rectified into direct current by means of a rectifier and, subsequently, converted into three-phase alternating current (400 VAC at 50 Hz) via a static converter.

After the expansion phase, the vector fluid is at 410 °C and passes through a secondary heat exchanger that provides power to the district heating and cooling. The vector fluid is released into the atmosphere at 70 °C.

The fumes produced by the combustion process pass through a cyclone which removes the PM10 and fly-ash particulate content, having an efficiency of 90-98% for particles above 10um.

The exhausted gases leave the cyclone at a temperature of approximately 413 °C and pass through another heat exchanger, and successively, smokes are removed through an extractor fan.

The fluid in the heat exchanger enters at 70°C and leaves at 83°C. The recovered heat is used for the air conditioning of buildings in two different ways. In the winter period the system works as a district heating and cooling providing 270 kW of heating, and in the summer the recovered power is converted into cold by means of an absorption chiller with 140 kW cooling output power.

2.3. Life Cycle Assessment methodology

The LCA was modeled using the commercial software SimaPro V9.0.0.30 [18]. The databases used for the model were Ecoinvent [19] and Agri-footprint [20]. The analysis method applied to the study was Cumulative Energy Demand V1.11.

Initially, the inventory of all polygeneration chain was established, starting from the production of the cardoon to the production and distribution power generated by the polygeneration plant. Based on this inventory, it was possible to develop the models in the SimaPro software and determine the primary energy demand.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. Results and discussion

3.1. Raw Material Characterization (Cynara cardunculus)

To attend the operation of 2,000 hours per year, 251 tons of cardoon lignocellulosic material were considered to be used. The material was characterized in terms of humidity and LHV, according to Table 1.

Table 1. Characterization of the raw material.

Moisture	2.39%
LHV	16,372 kJ/kg

The biomass presented a LHV of 16,372 kJ/kg, an essential parameter to calculate the efficiency of the energy conversion.

3.2. Input – Inventory

The inventory was established based on the necessary inputs and processes for cultivation, transportation, and polygeneration phases. The inventory is shown in Table 2.

Table 2. Inventory for 2,000 hours of operation.

Steps	**Materials / Energy / Processes**	**Amount**
Cardoon Production	Compost (ton)	0.32
	Nitrogen fertilizer as N (ton)	0.91
	Phosphate fertilizer as P_2O_5 (ton)	2.32
	Fertilizing, Tillage (harrowing and ploughing), Sowing, Combine harvesting, Swath, Baling, Bale loading (ha)	15.80
Chipper	Electricity (kWh)	448.41
Transport	Transport, freight, 32 ton, EURO6 (tkm)	5,026.86
Overhead Crane	Electricity (kWh)	279.00
Hopper	Electricity (kWh)	19,600.00
Combustion Chamber	Electricity (kWh)	5,240.00
Heat Exchanger / Compressor Ring	Electricity (kWh)	8,000.00
Cyclone separator	Electricity (kWh)	8,000.00
District Heating and Cooling	Electricity (kWh)	4,520.00

The inputs for cardoon production were obtained in a real field of production based in Porto Torres, Sardinia. The materials considered in the life cycle model were the compost, fertilizers and machinery. In particular, in that campaign no irrigation system or pesticides were used.

Regarding transportation, it was calculated considering the use of 32 metric tons EURO6 trucks and the production field 20 km away from the polygeneration plant, totaling 5,027 tkm.

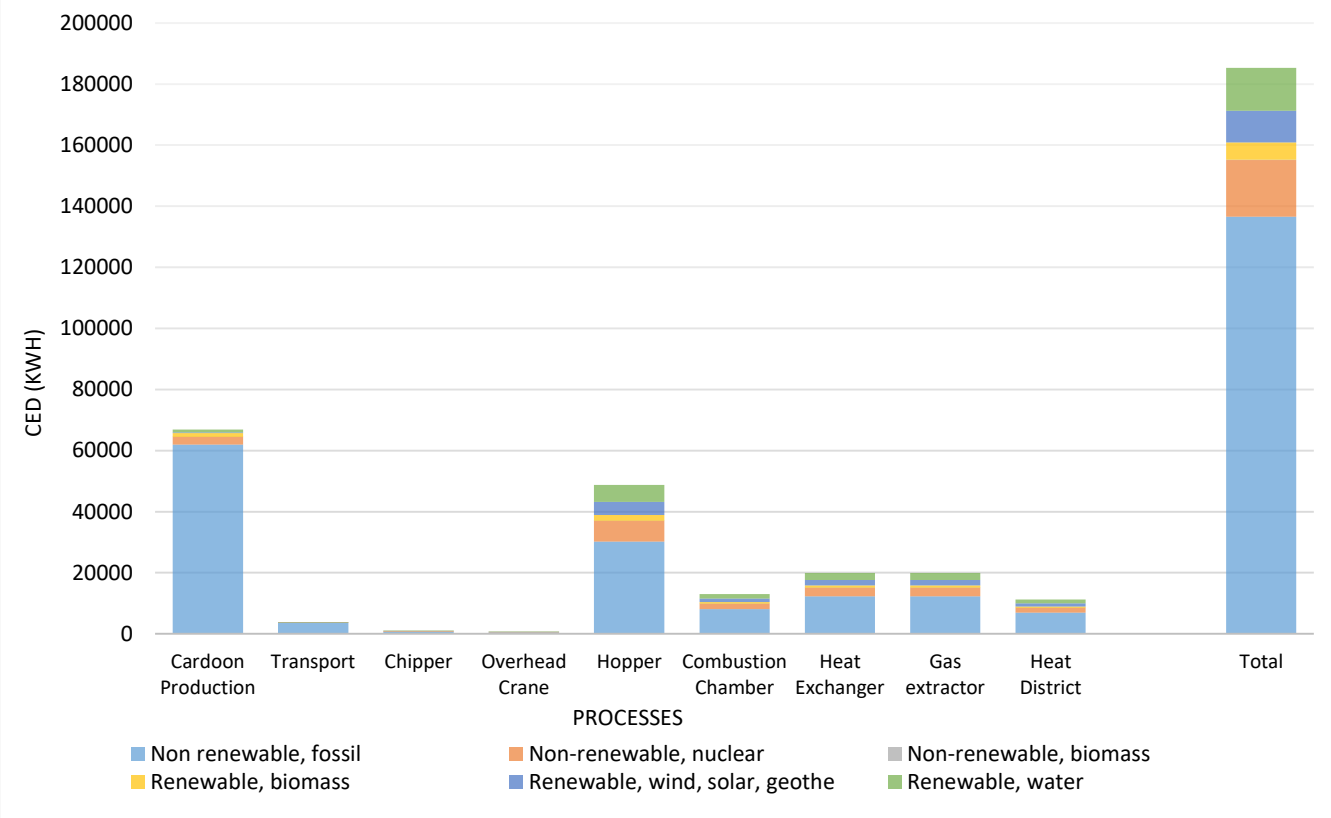
The processes related to the reduction of biomass in chips, and the polygeneration plant facilities demanded basically electricity. The entire plant is powered by electric engines that vary in power ranging from 0.3 to 4.7 kW. A total of 46,088 kWh of electricity was used in 2,000 hours to maintain the operation of the machinery in the polygeneration plant.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.3. Input - Primary Energy

Based on the CED method, it was possible to determine the primary energy demand required from the cardoon production process to the conversion at the polygeneration plant. It was possible to identify the energy demands related to each phase of the production chain, as can be seen in Figure 2.

Figure 2. Cumulative Energy Demand



The primary annual energy demand for the entire polygeneration chain was 185,341 kWh. The most demanding phase was the cardoon production, responsible for 36% of the primary energy required, followed by Hopper (26%), Heat Exchanger and Gas Extractor (11% each one), Combustion chamber (7%), District Heating and Cooling (6 %), Transport (2%), and Chipper and Overhead crane (1%). Only the operating processes of the polygeneration plant consumed about 62% of the primary energy.

According to the Italian energy mix, approximately 83% of all primary consumed energy is derived from non-renewable sources. 73% of the total consumed derived from fossil resources and 10% from nuclear sources. The total amount consumed from renewable energy sources was 17%. The renewable energy mix was shared by 8% hydroelectric, 6% wind, solar and geothermal, and 3% from biomasses.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.4. Output - Secondary Energy

From the energy content of biomass, 1,143,051 kWh, 200,000 kWh of electricity potentially could be produced in 2,000 hours of operations. In this case, the conversion efficiency was about 17%.

Nevertheless, considering the polygeneration, it was possible to obtain a considerable improvement in energy efficiency. Considering the recovery of the residual heat from smoke and expanded air in the turbine, it was possible to consider a total production of 270,000 kWh of heat and 140,000 kWh of cooling from the district heating and cooling. With this energy recovery, the conversion efficiency achieved 53%.

3.5. Avoided Products

Applying the CED method and implementing the "avoided products" function of SimaPro software, it was possible to determine the primary energy that would have been used to produce the same amount of electricity, heat and cooling (200 MWh, 270 MWh of heat and 140 MWh cooling) using traditional sources such as the power and gas grid.

To produce the same amount of electricity, 497.946 kWh of primary energy would be needed. Considering that the heat was produced by means of gas boilers, a total consumption of 325.854 kWh of primary energy would be necessary. Furthermore, to provide the same cooling, considering an electric conditioner, 115,130 kWh of primary energy would be needed.

Therefore, for the production of the same amount of energy in output from the polygeneration plant, 938.929 kWh of primary energy would be demanded. In this context, using the polygeneration plant it would be possible to save a total of 753,588 kWh, that is, a reduction of approximately 400% in the demand for primary energy.

4. Conclusion

This study aimed to carry out a preliminary LCA analysis of a polygeneration plant powered by lignocellulosic biomass with a production capacity of 100 kW of electric power, and 270 kW of heating power and 140 kW of cooling power by a district heating and cooling.

For an operating regime of 2,000 hours per year, the use of 251 tons of cardoon with an LHV of 4.55 kWh (16.372 kJ / kg) was calculated. A total of 46,088 kWh of electricity was consumed to maintain the operation of the polygeneration plant's machinery. In this case, the energy conversion process showed an efficiency of 17% considering only the production of electricity, and an efficiency of 53% when considering the polygeneration of electricity, heating and cooling.

The LCA analysis was implemented using the Cumulative Energy Demand V1.11 analysis method. The primary energy demand was 185.341 kWh. Furthermore, it was possible to individualize that 36% of the primary energy demanded was consumed by the thistle cultivation phase, while the polygeneration phase consumed 62% of this total.

Moreover, according to the Italian energy mix, approximately 83% of all primary energy consumed was derived from non-renewable sources, and about 17% from renewable sources.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

1. Mehmood, M.A.; Ibrahim, M.; Rashid, U.; Nawaz, M.; Ali, S.; Hussain, A.; Gull, M. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustain. Prod. Consum.* **2017**, *9*, 3–21
2. Turco, R.; Tesser, R.; Cucciolito, M.E.; Fagnano, M.; Ottaiano, L.; Mallardo, S.; Malinconico, M.; Santagata, G.; Di Serio, M. *Cynara cardunculus* Biomass Recovery: An Eco-Sustainable, Nonedible Resource of Vegetable Oil for the Production of Poly(lactic acid) Bioplasticizers. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2019**, *7*, 4069–4077.
3. Gominho, J.; Curt, M.D.; Lourenço, A.; Fernández, J.; Pereira, H. *Cynara cardunculus* L. as a biomass and multi-purpose crop: A review of 30 years of research. *Biomass Bioenergy* **2018**, *109*, 257–275.
4. Ottaiano, L.; Di Mola, I.; Impagliazzo, A.; Cozzolino, E.; Masucci, F.; Mori, M.; Fagnano, M. Yields and quality of biomasses and grain in *Cynara cardunculus* L. grown in southern Italy, as affected by genotype and environmental, *Italian Journal of Agronomy*, **2017**, 11(4).
5. Wu, M.R.; Schott, D.L.; Lodewijks, G. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy,* **2011**, 35(5), 2093–2105.
6. Ministro dell'Istruzione e Ministro dell'Università e della Ricerca, Research Projects of Relevant National Interest, Available online: https://prin.miur.it/index.php?pag=2020 (accessed on 25 March 2021).
7. Rubio-Maya, C.; Uche-Marcuello, J.; Martínez-Gracia, A.; Bayod-Rújula, A.A. Design optimization of a polygeneration plant fuelled by natural gas and renewable energy sources. *Applied Energy,* **2011***,* 88(2), 449–457.
8. Liu, F.; Chen, G.; Yan, B.; Ma, W.; Cheng, Z.; Hou, L. Exergy analysis of a new lignocellulosic biomass-based polygeneration system. *Energy*, **2017**, 140, 1087–1095.
9. Islas, J. The Gas Turbine. *Technological Forecasting and Social Change*, **1999**, 60(2), 129–148.
10. Ferreira S.B; Pilidis, P. Comparison of Externally Fired and Internal Combustion Gas Turbines Using Biomass Fuel. *Journal of Energy Resources Technology*, **2001**, 123(4).
11. Al-attab K.A; Zainal, Z. A. Performance of high-temperature heat exchangers in biomass fuel powered externally fired gas turbine systems. Renewable Energy*,* **2010***, 35(5), 913–920.*
12. International Standard Organisation (ISO) (2006b) Environmental management—Life cycle assessment: Requirements and Guidelines. ISO14044, Geneva, Switzerland.
13. ISO, 2006a. ISO 14040 International Standard. In: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.
14. Mortimer, N. Life Cycle Analysis Perspective on Greenhouse Gas Savings. Editor(s): Ali Sayigh. *Comprehensive Renewable Energy*, **2012**, 109-132.
15. Huijbregts, M. A. J; Rombouts, L. J. A; Hellweg, S; Frischknecht, R; Hendriks, A. J; van de Meent, D; Struijs, J. Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? *Environmental Science & Technology*, **2006**, 40(3), 641–648.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

16. Mettler Toledo Instruments - Moisture Analyzer HB43-S. Available online: https://www.mt.com/dam/P5/labtec/05_Moisture_Analyzer/02_Advanced_Line/03_Documents/03_Operating_Instructions/HB43-S_OI_en.pdf (accessed on 25 March 2021).
17. LECO Instruments - Calorimeter AC-350. Available online: http://www.leco.co.kr/pdf/Organic/ac350(-012).pdf (accessed on 25 March 2021).
18. P. Sustainability, SimaPro. Available online: https://simapro.com, (accessed on: 25 March 2021).
19. Wernet, G; Bauer, C; Steubing, B; Reinhard, J; Moreno-Ruiz, B; Weidema, B; The Ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **2016**, 21, 1218-1230.
20. Agri-footprint, Available online: http://www.agri-footprint.com/products-services/#database (accessed on 25 March 2021).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Lessons learned from the operation of a small-scale open-top gasifier with forestry residues

Rohit Borooah [1], Eleonora Cordioli [1,*], Daniele Basso [1], Daniele Antolini [1], Francesco Patuzzi [1], Marco Baratieri [1]

[1] Free University of Bolzano, Piazza Università 1, 39100 Bolzano

***** Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: eleonora.cordioli@unibz.it

---

Abstract: In the last decade, biomass gasification for combined heat and power (CHP) production has had a widespread diffusion in South Tyrol (Italy), boosted by favorable subsidization regimes for small-scale applications. The possibility of exploiting local biomass resources for clean energy production is environmentally sustainable but will face economic challenges as incentives will cease. A medium-term solution to still ensure the applicability of biomass gasification for CHP could be the exploitation of lower-grade woody residues, with the double benefit of reducing operational costs and valorizing a resource currently untapped. Such transition is clearly not trivial since forestry residues have higher ash content with respect to the high-quality woodchips or pellets currently used in existing plants. The aim of this work is to describe the successful operation of an open-top gasifier at the Bioenergy and Biofuels Laboratory of the Free University of Bolzano, fed with woody residues (branches, needles, and pine cones of fir trees) produced by local forests maintenance activities. The residues were first chipped and then sieved to obtain feedstock with different particle sizes. Each fraction was characterized individually for evaluating its moisture and ash content, elemental composition, and heating value. In order to ensure a smooth operation of the system, mixtures with different shares of residues and woodchips were prepared to feed the gasifier. During the tests the composition of the producer gas was continuously monitored, as well as the mass flows of biomass and char, allowing for a complete evaluation of the performance of the system.

Keywords: forestry residues; gasification; biomass characterization; producer gas; CHP.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

In the last decade the application of biomass gasification for the combined production of heat and electricity has seen a large spread, mainly driven by favorable subsidization regimes. In South Tyrol (Italy), for instance, more than 40 small-scale gasification plants (with nominal power <0.5 MW_{el}) are currently in operation [1,2], proving that a diffused renewable energy production model based on biomass gasification can be a viable and effective solution. These plants are fed by high-quality woodchips and pellets, mostly produced locally exploiting the large availability of local biomass resources. The region is, in fact, covered by almost 50% by forests and there are more than 2000 companies active in the wood sector that have contributed to develop a robust wood value chain [3,4]. The possibility to exploit local renewable resources through innovative technologies for clean energy production is undoubtedly appreciable from an environmental point of view, however it will face economic challenges once the incentive policies will cease. A medium-term solution to continuously ensuring the favorable applicability of biomass gasification for combined heat and power (CHP) production could be the moving towards the exploitation of lower-grade woody residues, with the double benefit of reducing the operational costs of the plants (inexpensive feedstock) and allowing for the valorization of a resource which is currently unused. This change in the type of feedstock used is not simple, especially because of the high ash and fines content of forestry residues with respect to the high-quality feedstock (woodchips and pellets) that is currently being used in the existing plants.

In this context, the aim of the present study is to explore the possibility of recovering forest residues to be used as feedstock for the operation of a pilot-scale open-top gasifier installed at the Bioenergy and Biofuels Laboratory of the Free University of Bolzano. The work has been developed within the frame of the BIOmasses Circular Holistic Economy APproach to EneRgy equipments (BIO-CHEAPER) project, whose purpose is to valorize different biomass feedstocks in a circular economy framework, improving the energy efficiency and reducing the environmental impact of selected biomass-based energy generation systems.

The feedstock selected for the tests with the open-top gasifier was collected in Renon (Bolzano, Italy) and consists of woody residues produced by forest maintenance activities. These forest residues include hard or brittle branches, flexible branches, needles, and pine cones of fir trees that were first chipped and then sieved in order to prepare feedstocks with different particle sizes. Each fraction was characterized separately in order to evaluate its moisture content, ash content, elemental composition, and heating value. Gasification tests were carried out using different mixtures of the selected forest residues and woodchips produced from higher-quality wood logs, mainly residues from local sawmill processes. A previous study [5] had shown that using forest residues only, might lead to lower carbon conversions and higher char yields because of the high ash content of bark and needles fractions, therefore different shares of forest residues and woodchips were tested out, both with a particle size larger than 3.15 mm in order to ensure a proper bed handling and avoid packing phenomena. The composition of the producer gas was continuously monitored during the tests by means of a portable gas chromatograph, and the mass flows of the feedstock fed to the reactor and of the discharged char were measured, allowing for a complete characterization of the mass and energy fluxes of the system.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

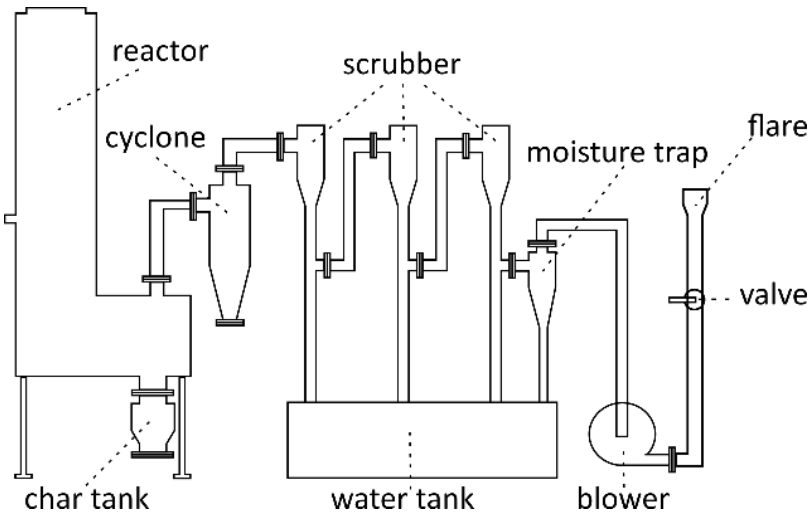
The char collected at the end of the process was also fully characterized with the same methodologies used for the biomass.

2. Materials and methods

2.1. Gasifier setup

The system used to carry out the experiments with the forest residues is an open-top downdraft gasifier. The scheme of the setup is reported in Figure 1. The biomass feedstock is fed manually from the top of the reactor and the flow of gases in the system is carried out using a blower coupled with an inverter for controlling the producer gas flow rate. Air is used as the gasifying agent, with the bulk of the air, known as primary air, being supplied from the open top of the reactor. The unique design feature of this gasifier is that a secondary air injection port is located 670 mm from the top. This allows the operator to exercise control over the location of the gasification zone inside the reactor as well as the bed height. Additionally, by manipulating the secondary air it is possible to control the equivalence ratio and hence the air-fuel ratio of the gasification process. The equivalence ratio is an important operating parameter which plays a key role in the final producer gas composition. The gasification system is also equipped with a gas cleaning system consisting of a cyclone, three scrubbers and a moisture trap. Two of the scrubbers are supplied with water at ambient temperature while the third one uses chilled water. A flare is directly connected at the end of the producer gas line in order to burn the producer gas at the outlet.

Figure 1. Scheme of the open-top gasifier installed at the Bioenergy and Biofuels Laboratory of the Free University of Bolzano



The ancillary power-consuming devices, such as the scrubbers and the blower, have been first run individually to determine the relation between the set inverter frequency and their power consumption. The relationship between the two was determined to be linear over the entire operating

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

range. For the experiments carried out in this study, the inverter frequencies of the blower and the cold scrubber were both maintained at 25 Hz while that of the ambient scrubbers were maintained at 38 Hz. The power consumption in these settings were found to be 90 W for the blower, 114 W for the cold scrubber, and 225 W for the ambient scrubbers. Thus, a total power of approximately 430 W is consumed by the auxiliary devices.

2.2. Feedstock selection and characterization

The feedstock used for the tests consists of a mixture of forest residues and woodchips. The collected forest residues (FR), as previously mentioned, are produced by routine maintenance activities in the fir forests of the high plateau of Renon, close to Bolzano (Italy), and include hard or brittle branches (twig diameter ≥5mm), flexible branches (twigs diameter <5mm), needles, and pine cones. The woodchips (WC) used as feedstock were collected from a local CHP plant and are produced from higher-quality wood logs, mainly residues from local sawmill processes. FR were first chipped and then sieved in order to prepare fractions of different sizes. WC were sieved as well and then both materials were divided into groups and labeled according to the sieve aperture size on which they were collected: 8 mm, 3.15 mm, and less than 3.15 mm. The last group is hereon referred to as ‘dust’. Thus, the four FR fractions were labeled as FR8, FR3.15, and FR_Dust, whereas the three WC fractions were labeled as WC8, WC3.15, and WC_Dust. The dust fractions of both FR and WC were not used for any of the gasification experiments because of their fine particle size which tends to make the gasifier bed non-porous to the gasifying agent, causing packing phenomena.

The FR and WC mixtures used for the tests are shown in Figure 2 and the mass fractions of the single components are tabulated in Table 1. The fractions were selected to optimize the maximum use of available feedstock while limiting the content of ash, which can be quite high in FR. Therefore, the mixture selected for Test-1 contains 25% FR and 75% WC, whereas the mixture selected for Test-2 contains a higher share of FR (50% FR and 50% WC).

Figure 2. Biomass feedstock mixtures for Test-1 (left) and Test-2 (right).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 1. Mixture fractions used for the open-top gasifier tests.

Feedstock	FR8	FR3.15	WC8	WC3.15
Test-1	6.2%	18.8 %	31.2 %	43.8 %
Test-2	4.2 %	45.8 %	20.8 %	29.2 %

Each fraction of the selected biomass feedstock was characterized individually in order to evaluate its moisture content, ash content, elemental composition, and heating value. The moisture and ash content were determined according to UNI EN 14774 and UNI EN 14776:2010, respectively. The elemental composition (carbon, hydrogen, nitrogen, and sulfur content) was determined by using an elemental analyzer (Vario MACRO cube, Elementar) and the heating value was calculated by using Milne empirical formula [6]. The char produced during each test and collected at the end of the process was also analyzed using the same methodologies applied to the biomass.

2.3. Data acquisition

Gasification experiments were carried out by manually feeding the biomass and extracting the char at certain time intervals. A digital weighing balance was used to measure both biomass and char weights. Each gasification cycle was computed as the period between two consecutive char discharges. The cycle duration for Test-1 was approximately 30 minutes and that of Test-2 was approximately 40 minutes. The average values of the biomass and char mass flow rates were then calculated over multiple cycles.

The producer gas composition was collected continuously throughout the tests using a portable gas chromatograph (micro-GC) with which the concentrations of CO_2, CO, CH_4, C_2H_6, H_2, O_2, and N_2 could be acquired at intervals of every two minutes.

2.4. Mass balance and performance evaluation parameters

The air and the producer gas mass flow rates were calculated using the formulae of the global mass balance, and of the carbon and nitrogen mass balances, which are described in the following.

1. Total mass balance:

$$\dot{m}_{biomass} + \dot{m}_{air} = \dot{m}_{pg_dry} + \dot{m}_{pg_moisture} + \dot{m}_{char} \quad (1)$$

where $\dot{m}_{biomass}$ is the mass flow rate of the biomass fed to the reactor, $\dot{m}_{air}$ is the mass flow rate of the air supplied to the system, $\dot{m}_{pg_dry}$ is the mass flow rate of dry producer gas, $\dot{m}_{pg_moisture}$ is the mass flow rate of the moisture in the producer gas, and $\dot{m}_{char}$ is the mass flow rate of the char produced during the test.

2. Nitrogen mass balance:

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

$$\dot{m}_{air} \cdot w_{air_{N2}} = \dot{m}_{pg} \cdot w_{pg_N2} \quad (2)$$

where w_{air_N2} is the mass fraction of nitrogen in air, $\dot{m}_{pg}$ is the mass flow rate of the producer gas, and w_{pg_N2} is the mass fraction of nitrogen in the producer gas.

3. Carbon mass balance:

$$\dot{m}_{pg} \cdot w_{pg_C} = \dot{m}_{biomass} \cdot w_{biomass_C} - \dot{m}_{char} \cdot w_{char_C} \quad (3)$$

where w_{pg_C} is the mass fraction of carbon in the producer gas, $w_{biomass_C}$ is the mass fraction of carbon in the biomass , and w_{char_C} is the mass fraction of carbon in the char.

2.5 Calculating the performance of the gasifier

The performance of the open-top gasifier could be evaluated by using the parameters described in the following.

1. The char yield was calculated using the following formula:

$$Y_{char} = \frac{\dot{m}_{char}}{\dot{m}_{biomass}} \cdot 100 \quad (4)$$

2. The specific gas energy (SGE) was evaluated as the ratio between the energy production to the biomass consumption:

$$SGE = \frac{LHV_{pg} \cdot \dot{m}_{pg}}{\dot{m}_{biomass}} \quad (5)$$

where LHV_{pg} is the lower heating value of the producer gas.

3. The efficiency of the gasification process was calculated in terms of the cold gas efficiency (CGE), defined as the ratio between the power associated with the flow rate of the cold producer gas and the power provided with the input biomass:

$$CGE = \frac{LHV_{pg} \cdot \dot{m}_{pg}}{LHV_{biomass} \cdot \dot{m}_{biomass}} \cdot 100 \quad (6)$$

where $LHV_{biomass}$ is the lower heating value of the biomass.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. The equivalence ratio (ER) is the operating parameter of the gasification process and is expressed as the ratio of the supplied air flow rate to the air needed for a stoichiometric combustion of the biomass:

$$ER = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{stoic.\,air}} \quad (7)$$

where $\dot{m}_{stoic.\,air}$ is the mass flow rate of the air which is needed for the stoichiometric combustion.

5. The specific power output (P_{out}) represents the power associated with the gas produced per unit biomass mass flow rate and was calculated as:

$$P_{out} = \frac{LHV_{pg} \cdot \dot{m}_{pg}}{\dot{m}_{biomass}} \quad (8)$$

3. Results

3.1. Feedstock and char characterization

The results of the ultimate analysis on the different feedstock fractions are reported in Table 2. As it can be observed, the forest residues show an ash content that is significantly higher than the one of woodchips, especially when the finer fraction FR_Dust is considered, for which the ash content reaches a value of 12.59%. This, along with its small particle size, deems it unsuitable for gasification. Similarly, WC_Dust showed a higher ash content than larger size WC feedstock, although the ash content was far lower as compared to that of FR_Dust (only 1.23%). These two fractions of the feedstock were not used in any of the tests. Apart from the ash content, it can also be observed that the carbon fraction was slightly higher in the FR as compared to WC, while the oxygen content in the FR was slightly lower than that of WC. The content of both nitrogen and sulfur was very low in both FR and WC, below 1.5% for all feedstock types. Table 2 also reports the moisture content of the feedstock, which is in the range 7.34 % – 14.79 %, and the lower heating value, which is in the range 18.38 MJ/kg – 20.37 MJ/kg.

Table 2. Moisture content, ash content, elemental composition, and lower heating value of feedstock components.

Feedstock	Moisture [%wt]	Ash [%wt_{dry}]	C [%wt_{dry}]	H [%wt_{dry}]	N [%wt_{dry}]	S [%wt_{dry}]	O* [%wt_{dry}]	LHV_{dry} [MJ/kg]
FR8	11.57 ± 0.10	1.95 ± 0.11	51.02 ± 0.69	6.59 ± 0.10	0.94 ± 0.09	0.20 ± 0.01	39.30	19.83
FR3.15	12.05 ± 0.08	2.40 ± 0.10	51.81 ± 0.16	6.70 ± 0.06	1.05 ± 0.11	0.19 ± 0.02	37.85	20.37
FR_Dust	11.67 ± 0.03	12.59 ± 0.70	47.10 ± 0.15	6.11 ± 0.03	1.32 ± 0.04	0.18 ± 0.01	32.71	18.54
WC8	7.34 ± 0.31	0.75 ± 0.05	49.64 ± 0.22	6.41 ± 0.06	0.18 ± 0.04	0.08 ± 0.01	42.95	18.82
WC3.15	13.94 ± 0.09	0.69 ± 0.01	49.60 ± 0.44	6.36 ± 0.09	0.17 ± 0.04	0.23 ± 0.22	42.95	18.77
WC_Dust	14.79 ± 0.23	1.23 ± 0.16	48.84 ± 0.39	6.29 ± 0.06	0.25 ± 0.06	0.21 ± 0.03	43.18	18.38

*calculated by difference

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The composition of the feedstock mixtures used in the two tests was determined considering the mass fractions of each component as reported in Table 1. The results obtained are shown in Table 3. As expected, a slightly higher carbon content and a lower oxygen content are found in the feedstock of Test-2 because of the higher fraction of FR when compared to Test-1.

Table 3. Moisture content, ash content, elemental composition and lower heating value of feedstock mixtures used for the gasification tests.

Feedstock	Moisture [%wt]	Ash [%wt_{dry}]	C [%wt_{dry}]	H [%wt_{dry}]	N [%wt_{dry}]	S [%wt_{dry}]	O* [%wt_{dry}]	LHV_{dry} [MJ/kg]
Test-1	11.37	1.10	50.12	6.46	0.39	0.17	41.76	19.15
Test-2	11.60	1.54	50.68	6.54	0.61	0.18	40.46	19.56

*calculated by difference

The char produced during the tests and collected at the end of each was characterized as well. The results of the analyses are reported in Table 4. The chars obtained show very similar composition, with a very high carbon content (88.10 and 90.38 % for Test-1 and Test-2, respectively), and an ash content that is higher for the char from Test-1 (9.14%).

Table 4. Moisture content, ash content, elemental composition and lower heating value of the char produced during the tests.

Char	Moisture [%wt]	Ash [%wt_{dry}]	C [%wt_{dry}]	H [%wt_{dry}]	N [%wt_{dry}]	S [%wt_{dry}]	O* [%wt_{dry}]	LHV_{dry} [MJ/kg]
Test-1	0.16 ± 0.04	9.14 ± 0.32	88.10 ± 0.61	0.49 ± 0.04	0.72 ± 0.01	0.17 ± 0.03	1.38	30.20
Test-2	0.55 ± 0.04	6.27 ± 0.06	90.38 ± 0.35	0.63 ± 0.06	0.91 ± 0.07	0.27 ± 0.04	1.55	31.14

*calculated by difference

3.2. Producer gas composition

The composition of the dry producer gas obtained during the two tests is tabulated in Table 5, in which the volumetric fractions of CO_2, CO, CH_4, C_2H_6, H_2, and N_2 averaged over one gasification cycle are reported. The two tests produced a similar gas thus indicating that increasing the fraction of FR from 25% to 50% does not significantly affect the quality of the output gas. Additionally, the average lower heating values of the producer gas obtained from the two tests were very similar, with that of Test-1 being 3.83 MJ/kg and Test-2 being 3.80 MJ/kg.

Table 5. Producer gas composition for Test-1 and Test-2.

Gas component	Test-1	Test-2
CO_2 [%vol]	14.6 ± 0.78	14.0 ± 1.40
CO [%vol]	16.5 ± 1.86	16.6 ± 2.05
CH_4 [%vol]	2.1 ± 0.26	1.8 ± 0.30
C_2H_6 [%vol]	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.01
H_2 [%vol]	14.7 ± 0.81	15.1 ± 1.67
N_2 [%vol]	52.0 ± 1.99	52.5 ± 2.37

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.3. Mass flows

As mentioned earlier, each gasification cycle was considered between two consecutive char discharges. The average biomass and char mass flow rates, calculated over several cycles, are reported in Table 6. The mass balance equations previously described were used to determine all other mass flows in and out of the system. The higher biomass and char flow rates in Test-1 may be attributed to the shorter char discharge cycle (30 minutes) compared to that of Test-2 (40 minutes). In fact, the longer the char discharge cycle, the longer the residence time of char in the reactor and hence its consumption. In order to compare the gasification performance of the two tests, the mass flows in Table 6 are also reported per unit of biomass consumed.

Table 6. Mass flows of the different streams involved.

Flow rates		**Test-1**	**Test-2**		**Test-1**	**Test-2**
$\dot{m}_{biomass}$ [kg/h]	**Mass flow rate**	2.26	1.83	**Mass flow rate per unit of biomass**	1.00	1.00
$\dot{m}_{air}$ [kg/h]		3.94	3.34		1.74	1.83
$\dot{m}_{char}$ [kg/h]		0.20	0.15		0.09	0.08
$\dot{m}_{pg_dry}$ [kg/h]		5.46	4.57		2.41	2.50
$\dot{m}_{pg_moisture}$ [kg/h]		0.55	0.45		0.24	0.25

3.3. Performance evaluation

Test-1 showed a higher yield of char (see Table 7) possibly indicating a higher fraction of carbon not volatilized due to the faster char removal. A longer char discharge cycle may reduce the char yield and increase the gas yield, but preliminary inspection tests with the reactor, not reported in the present work, showed that discharge intervals longer than the ones used for Test-1 and Test-2 cause packing of the reactor bed, causing the disruption of the process. The specific gas efficiencies for both tests show similar values indicating that increasing the fraction of FR in the feedstock up to 50% does not adversely affect the energy content in the gas. A further increase in the fraction of FR in the feedstock could be tested to obtain more information. Similar is the case with the cold gas efficiency, for which the two tests yielded very similar values, that is 54.38 % and 54.94 % for Test-1 and Test-2, respectively. In fact, when compared with experiments performed with WC-Bark mixtures, presented in a previous work [5], the CGE for WC-FR mixtures are similar considering the same equivalence ratios, around 0.3. The specific power output per unit biomass mass flow rate indicates a slight increase in the case of Test-2 (2.63 kW), compared to the one obtained for Test-1 (2.56 kW). The net power generation indicated in Table 7 takes into account the power consumption due to the ancillary devices. Considering an input biomass flow rate of 1 kg/h, the net power produced was 1.66 kW for Test-1 and 1.52 for Test-2.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 7. Performance evaluation parameters.

Parameters	Test-1	Test-2
Y_{char} [%]	8.74	8.25
SGE [MJ/kg]	9.23	9.50
CGE [%]	54.38	54.94
ER	0.32	0.33
Per 1 kg/h of biomass		
Specific Power Output [kW]	2.56	2.63
Net Power Generated [kW]	1.66	1.52

4. Conclusions

A small-scale open-top gasifier installed at the Bioenergy and Biofuels Laboratory of the Free University of Bolzano was operated with mixtures of woodchips and forest residues (branches, needles, and pine cones). The latter were collected from the Renon high plateau, located near Bolzano (Italy), and are produced regularly by local forests maintenance activities. The aim of this study was to investigate the possibility of exploiting these residues for clean energy production, instead of using high quality woodchips or pellets, which are currently used in existing CHP plants. This would reduce plant operational costs and also valorize a resource that is currently left unused.

The biomass was first analyzed to determine its moisture content, ash content, elemental composition, and heating value, then it was sieved and two different mixtures with woodchips were prepared, one with 25% (Test-1) and the other one with 50% share (Test-2) of forest residues.

Gasification tests were run with the open-top reactor using the two feedstock mixtures. The flow rates of input biomass and char yield were measured, and the producer gas composition was continuously monitored by means of a gas chromatograph throughout the process. The data collected allowed to determine the mass flows of air (the gasifying agent) and producer gas, and to evaluate the performance of the gasifier. In terms of producer gas composition no significant difference was found by changing the forest residues fraction in the feedstock. For Test-1 and Test-2, respectively, the CO content was 16.5% and 16.6 %, the H_2 content was 14.7% and 15.1%, the CO_2 content was 14.6% and 14.0%, and the CH_4 content was 2.1% and 1.8%. Small amounts of C_2H_6 were also found (0.1% in both tests). As more forest residues were used, slightly higher values of the cold gas efficiency (CGE) and of the specific power output were obtained. In fact, the CGE obtained was equal to 54.38% and 54.94% for Test-1 and Test-2, respectively, and the corresponding total power output per unit biomass flow rate was 2.56 kW and 2.63 kW, respectively.

The results show that a good quality producer gas can be obtained using a feedstock with a forest residues mass fraction of 50%, showing very little difference with respect to the case with only 25% forest residues. This is promising in the perspective of exploiting low quality biomass for energy production through gasification. Further tests could investigate the effect of using feedstock with even higher fractions of residues. Moreover, forthcoming experiments envisage the coupling of the open-

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

top gasifier with a dual-fuel internal combustion engine in order to assess the performance of a whole CHP generation system.

5. Acknowledgements

This work has been supported by the project "BIOmasses Circular Holistic Economy APproach to EneRgy equipments" funded by the Italian Ministero dell'Università e della Ricerca in the framework of Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) Bando 2017, nr. 20175TXJER.

References

1. Basso, D.; Patuzzi, F.; Gasparella, A.; Tirler, W.; Dal Savio, S.; Rizzo, A.M.; Chiaramonti, D.; Baratieri, M. Valorization Pathways for Char from Small Scale Gasification Systems in South-Tyrol: The Next Generation Project, 2017.
2. Patuzzi, F.; Basso, D.; Vakalis, S.; Antolini, D.; Piazzi, S.; Benedetti, V.; Cordioli, E.; Baratieri, M. State-of-the-art of small-scale biomass gasification systems: an extensive and unique monitoring review. Energy **2021**, 120039, doi:10.1016/j.energy.2021.120039.
3. Gasparini, P.; Di Cosmo, L.; Gagliano, C.; Mattiuzzo, G.; Tabacchi, G. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio: Le stime di superficie - Risultati per Macroaree e Province, Trento, 2008.
4. Assoimprenditori Alto Adige - Sezione Legno. Legno: rafforzare la nostra risorsa: Charta-Legno 2015-2020, 2014.
5. Antolini, D.; Brianti, B.; Caligiuri, C.; Borooah, R.; Patuzzi, F.; Baratieri, M. Energy Valorization of Forestry Residues through a Small-Scale Open Top Gasifier. In Proceedings of 28th European Biomass Conference and Exhibition, 2020.
6. Milne, T.; Brennan, A.H.; Glenn, B.H. *Sourcebook of Methods of Analysis for Biomass and Biomass Conversion Processes*, Elsevier Applied Science: Amsterdam, 1990.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Analisi di inventario di un sistema di valorizzazione energetica di biomasse residuali di origine forestale in un'ottica di ciclo di vita

Maria Anna Cusenza[1,*], Sonia Longo[1], Daniele Antolini[2], Marco Baratieri[2], Daniele Basso[2], Rohit Borooah[2], Maurizio Cellura[1], Francesco Guarino[1], Domenico Panno[1], Francesco Patuzzi[2]

[1] Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze Ed.9, 90128 Palermo

[2] Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano, Piazza Università 1, 39100 Bolzano

***** Autore di riferimento. E-Mail: mariaanna.cusenza@unipa.it

Abstract: Il presente lavoro descrive i risultati dell'analisi di inventario di un impianto integrato "gassificatore – cogeneratore" impiegato per la valorizzazione energetica di biomasse residuali di origine forestale, in un'ottica di ciclo di vita. Il sistema gassificatore – cogeneratore è un prototipo realizzato presso il laboratorio di Bioenergia e Biocombustibili dell'Università di Bolzano. L'impianto è costituito da un gassificatore down-draft e un cogeneratore con motore diesel dual – fuel e una potenza elettrica di 3 kW. L'analisi di inventario è stata sviluppata in accordo agli standard della serie ISO 14040. L'unità funzionale (UF) è 1 kWh di energia elettrica immessa in rete. I confini del sistema sono stati definiti secondo un approccio "gate to gate" e hanno incluso le fasi di gassificazione della biomassa, di purificazione del syngas e il processo di produzione di energia elettrica e termica nel cogeneratore. Il risultato dello studio è il bilancio ambientale, riferito all'UF, espresso in termini di flussi energetici e di massa in ingresso al sistema e di flussi in uscita in termini di prodotti, co-prodotti e rifiuti. Il bilancio ambientale dei processi di foreground è corredato dei dataset selezionati per la modellizzazione dell'inventario di ciclo di vita dei processi di background relativi all'energia e ai materiali utilizzati nel sistema in esame. L'analisi si inserisce in uno studio più ampio sviluppato nell'ambito del PRIN 2017: "BIOmasses Circular Holistic Economy APproach to EneRgy equipments (BIO–CHEAPER)" che ha tra gli obiettivi quello di valutare gli impatti energetico-ambientali connessi alla valorizzazione energetica di diverse tipologie di biomasse residuali.

Keywords: Gassificazione, Biomasse residuali, Syngas, Economia circolare, Life Cyle Inventory, Sostenibilità ambientale.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

La conversione delle biomasse residuali in combustibili è una strategia che contribuisce al conseguimento di diversi obiettivi in tema di sviluppo sostenibile fissati nell'ambito del Green Deal europeo [1] ed è in linea con i principi dell'economia circolare e della bio-economia perché converte i rifiuti organici in prodotti di valore che possono essere nuovamente reintrodotti nel ciclo economico [2,3]. Inoltre, rappresenta una strategia di gestione dei rifiuti biodegradabili coerente con la gerarchia stabilita dalla normativa della comunità europea in base alla quale il ricorso allo smaltimento in discarica o all'incenerimento con scarso recupero di energia deve costituire l'ultima scelta tra le diverse opzioni di trattamento disponibili [4,5].

I processi di conversione della biomassa in combustibili possono essere raggruppati in due macrocategorie: processi biochimici, quali ad esempio digestione anaerobica e fermentazione, e termochimici, quali ad esempio pirolisi e gassificazione. La scelta del tipo di processo viene effettuata in funzione delle caratteristiche della biomassa, in particolare del contenuto di umidità e del rapporto Carbonio/Azoto (C/N).

Tra i trattamenti termochimici, il processo di gassificazione converte il materiale organico in un prodotto gassoso, syngas, e in uno solido, char. Il syngas può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica in motori a combustione interna o per la produzione di biocarburanti di seconda generazione. Il char comprende la frazione organica non convertita e il materiale inerte presente nella biomassa trattata.

L'integrazione di impianti di gassificazione di biomasse residuali con i motori a combustione interna può costituire un sistema in linea con i principi dell'economia circolare, efficiente e pulito per la generazione di energia elettrica e termica. Tuttavia, la penetrazione di questa tipologia di impianti nel mercato dipende da una serie di fattori, quali la competitività in termini economici e di impatto energetico – ambientale con le altre tecnologie di produzione di energia da fonte rinnovabile e da altri fattori socio-economici come la sicurezza dell'approvvigionamento e la riduzione della dipendenza energetica [6].

Con riferimento alla valutazione delle prestazioni ambientali, la Life Cycle Assessment (LCA) è una metodologia ampiamente consolidata e standardizzata a livello internazionale per la valutazione degli impatti energetico – ambientali di prodotti e servizi lungo l'intero ciclo di vita [7,8]. L'impiego di studi LCA durante la fase di sviluppo di una nuova tecnologia può costituire un valido supporto per la progettazione sostenibile di questi sistemi energetici [9].

In questo contesto, lo studio si propone di elaborare l'inventario di un impianto integrato "gassificatore – cogeneratore" impiegato per la valorizzazione energetica di biomasse residuali di origine forestale, seguendo un approccio di ciclo di vita.

L'inventario di ciclo di vita costituisce il risultato intermedio di una ricerca volta a integrare la metodologia LCA nell'eco-design e nella gestione dei sistemi di valorizzazione energetica delle biomasse residuali a scala industriale.

L'articolo si sviluppa in tre sezioni. Nella sezione 2 sono descritte le fasi in cui si articola uno studio LCA, con particolare riferimento alla fase di analisi di inventario. La sezione 3 descrive i principali aspetti

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

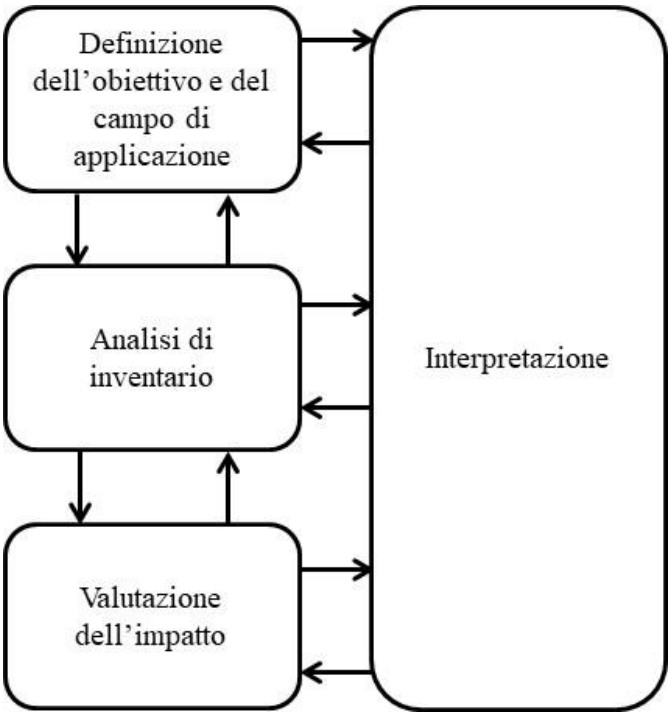
del sistema di prodotto in esame e l'applicazione della metodologia LCA per la definizione dell'inventario. I risultati ottenuti sono illustrati nella Sezione 4. La Sezione 5 fornisce alcune osservazioni finali e delinea gli sviluppi futuri della ricerca presentata.

2. Metodo

Uno studio di LCA si articola nelle quattro fasi illustrate in Figura 1 e di seguito elencate e descritte [7,8]:

1. definizione degli obiettivi e del campo di applicazione (goal and scope definition). In questa fase sono esplicitate le finalità dello studio e sono definiti gli aspetti metodologici necessari allo svolgimento dell'analisi;
2. analisi di inventario (life cycle inventory, - LCI). In questa fase si ricostruisce il flusso dell'energia e dei materiali in ingresso e in uscita dal sistema in esame, inclusi tutti i processi di trasformazione e trasporto, e si redige il bilancio ambientale del sistema di prodotto, espresso in termini di consumo di materie prime, emissioni in aria, acqua e suolo (flussi elementari);
3. valutazione dell'impatto (life cycle impact assessment, - LCIA). In questa fase si effettua la valutazione dell'impatto ambientale provocato dai flussi elementari quantificati nella fase di analisi di inventario;
4. interpretazione dei risultati (life cycle interpretation): è la parte conclusiva dell'analisi in cui i risultati ottenuti nell'analisi di inventario e nella valutazione d'impatto sono analizzati al fine di verificare l'affidabilità dello studio e di trarre conclusioni e raccomandazioni finalizzate al miglioramento delle prestazioni ambientali del sistema in esame.

Figura 1. Fasi di uno studio LCA (elaborazione propria dallo standard ISO 14040 [7]).



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

L'analisi di inventario si sviluppa attraverso le fasi di raccolta dati e definizione dei procedimenti di calcolo necessari per la contabilizzazione dei flussi in ingresso e in uscita dalle unità di processo incluse nell'analisi.

I dati raccolti si possono distinguere in:

- dati primari, ossia dati specifici del processo provenienti da rilevamenti diretti. In genere i dati primari sono utilizzati per la modellizzazione dei processi di foreground, ossia i processi principali del sistema di prodotto in esame per i quali sono disponibili dati specifici.
- dati secondari, ossia dati medi provenienti da database ambientali. I dati secondari sono in genere utilizzati per la modellizzazione dei processi di background, ossia i processi per i quali non è possibile un accesso diretto alle informazioni specifiche da chi produce il bene/servizio.

La modellizzazione del sistema di prodotto in esame avviene attraverso la combinazione dei dati primari e dei dati secondari.

3. Applicazione della metodologia al sistema in esame

3.1. Descrizione del sistema energetico

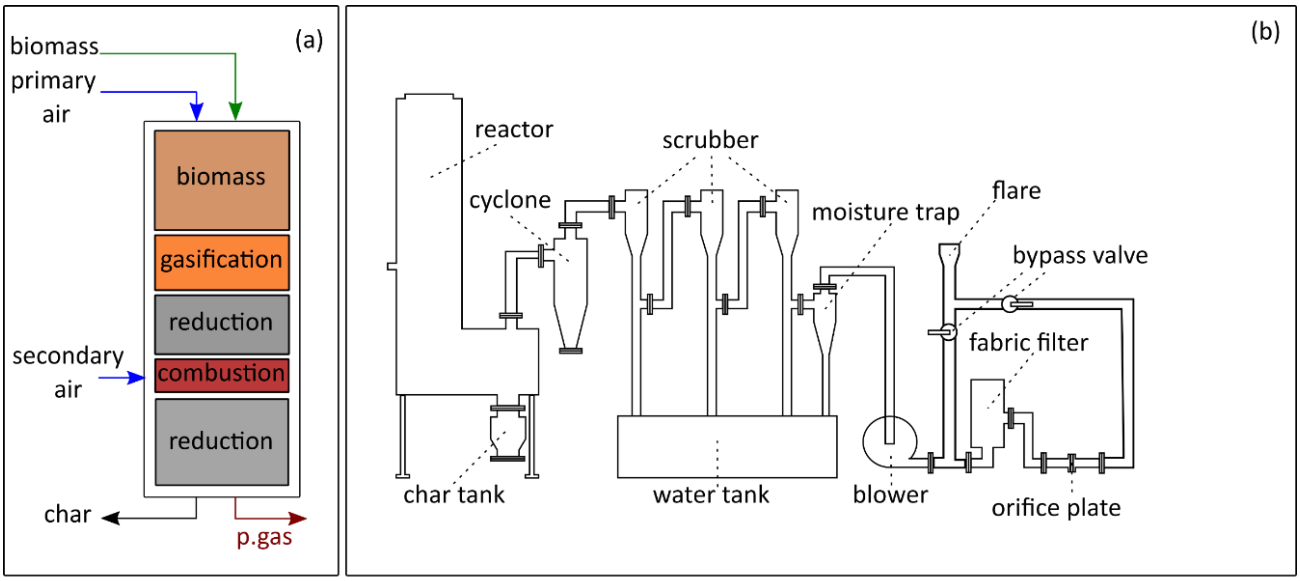
Il sistema gassificatore – cogeneratore è un prototipo realizzato presso il laboratorio di Bioenergia e Biocombustibili dell'Università di Bolzano [10]. L'impianto è costituito da un gassificatore open top down-draft a doppio stadio e un cogeneratore con motore diesel dual – fuel e una potenza elettrica di 3 kW.

Il gassificatore è costituito da un reattore cilindrico in acciaio inossidabile. La parte superiore del reattore è aperta per consentire l'ingresso della biomassa e dell'aria primaria. Il controllo dei parametri di processo è automatizzato, mentre la biomassa viene caricata manualmente. Nel gassificatore avviene la conversione termochimica dei residui forestali con produzione di syngas e char. Il char si deposita sul fondo del reattore e viene rimosso ad ogni ciclo tramite una coclea. Il syngas in uscita dal reattore attraversa una linea di depurazione, costituita da un ciclone, tre scrubber ad acqua, un dispositivo di rimozione dell'umidità e un filtro a maniche, nella quale vengono rimossi gli idrocarburi condensabili ottenendo così un syngas composto principalmente da metano (CH_4), monossido di carbonio (CO), idrogeno (H_2) e diossido di carbonio (CO_2). Il syngas purificato è utilizzato nell'impianto di cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica.

Nella Figura 2 sono illustrati uno schema del gassificatore e il layout del sistema di gassificazione e della linea di depurazione del syngas.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 2. Gassificatore open top down-draft (a); Layout dell'impianto di gassificazione (b) [10].

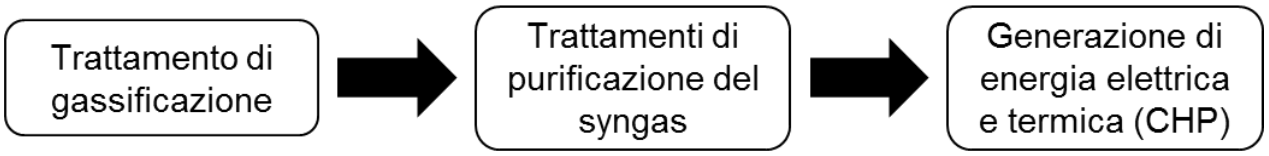


3.2. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Lo studio ha l'obiettivo di redigere l'inventario di ciclo di vita della produzione di energia elettrica da un impianto di cogenerazione alimentato con syngas ottenuto dal processo di gassificazione di biomasse residuali di origine forestale.

L'unità funzionale (UF), scelta coerentemente alla funzione principale svolta dal sistema in esame (produrre energia elettrica) e all'obiettivo dello studio, è 1 kWh di energia elettrica immessa in rete. L'analisi segue un approccio "from gate to gate". I confini del sistema includono le fasi di gassificazione della biomassa, di purificazione del syngas e il processo di produzione di energia elettrica e termica nel cogeneratore (Figura 3).

Figura 3. Confini del sistema.



3.3. Analisi dell'inventario di ciclo di vita (LCI)

La campagna di raccolta dati è stata effettuata tramite la divulgazione di un questionario al personale che si occupa della gestione operativa dell'impianto [11]. La redazione dell'inventario di ciclo di vita ha previsto due fasi. Nella prima fase sono stati raccolti i dati primari necessari per la modellizzazione dei processi di *foreground*. Nella seconda fase, i dati sono stati elaborati per riferirli

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

all'UF selezionata (1 kWh di energia elettrica immessa in rete). In seguito, sono stati selezionati i dataset per la modellizzazione dei processi di background. I dati secondari sono stati tratti dal database ambientale Ecoinvent 3.6 [12]. I dataset selezionati sono riferiti al contesto italiano, quando possibile, o a quello europeo.

4. Risultati

Questo paragrafo illustra i risultati della fase di raccolta dati e di elaborazione dei dati primari e i dataset selezionati per la modellizzazione dei processi di background.

4.1. Approvvigionamento della biomassa residuali di origine forestale

Le biomasse forestali impiegate nell'impianto di gassificazione includono:

- rami duri o fragili - ramoscelli di diametro superiore a 5 mm;
- rami flessibili - ramoscelli di diametro inferiore a 5 mm;
- aghi;
- pigne.

Nella Tabella 1 sono sintetizzati i risultati delle analisi di laboratorio eseguite sulle biomasse impiegate.

Le biomasse residuali, prima di essere introdotte nel reattore di gassificazione, sono sottoposte ad un pretrattamento di cippatura finalizzato alla riduzione delle dimensioni dei rami e delle altre tipologie di biomassa impiegate. In seguito, le biomasse sono trasportate presso l'impianto.

Gli input relativi al pretrattamento delle biomasse e al loro trasporto presso l'impianto non sono stati quantificati poiché, in accordo agli obiettivi e al campo di applicazione dello studio, queste fasi non sono incluse nei confini del sistema (Figura 3).

Tabella 1. Risultati della caratterizzazione delle biomasse residuali in esame [10].

Biomassa residuale	**C (%w) d.b.**	**H (%w) d.b.**	**N (%w) d.b.**	**S (%w) d.b.**
Rami duri o fragili	56,95 ± 0,25	5,88 ± 0,08	0,40 ± 0,03	0,14 ± 0,01
Rami flessibili	66,10 ± 0,35	5,55 ± 0,24	0,89 ± 0,09	0,16 ± 0,02
Aghi	52,36 ± 0,56	6,85 ± 0,08	1,36 ± 0,06	0,30 ± 0,04
Pigne	57,70 ± 0,47	5,96 ± 0,16	1,26 ± 0,08	0,49 ± 0,05
Biomassa residuale	**O* (%w) d.b.**	**Umidità (%w) w.b.**	**Ceneri (%w) d.b.**	**PCS** (MJ/kg) d.b.**
Rami duri o fragili	33,44 ± 0,32	11,51 ± 0,85	3,19 ± 1,34	19,76 ± 0,21
Rami flessibili	24,79 ± 0,51	21,02 ± 1,60	2,51 ± 0,07	20,46 ± 0,04
Aghi	37,39 ± 0,65	46,07 ± 0,86	1,74 ± 0,23	21,14 ± 0,20
Pigne	33,66 ± 0,50	10,72 ± 2,53	0,93 ± 0,27	20,81 ± 0,09

*Ottenuto per differenza; **Potere calorifico superiore

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.2. Fase operativa dell'impianto

4.2.1. Trattamento di gassificazione e purificazione del syngas

Con riferimento al processo di gassificazione, i dati sono stati raccolti con riferimento ad un ciclo di gassificazione (Tabella 2).

Tabella 2. Trattamento di gassificazione – dati primari di processo.

Parametro	Valore
Biomassa in ingresso (wb) [kg/h]	2,32
Aria primaria in ingresso [kg/h]	2,47
Aria secondaria in ingresso [kg/h]	1,78
Syngas in uscita (wb) [kg/h]	6,46
Syngas in uscita (db) [kg/h]	5,97
Char in uscita [kg/h]	0,11

La quantità di char prodotto ad ogni ciclo può variare tra il 5 e il 15% della biomassa in ingresso al gassificatore. Nel caso studio in esame, la quantità di char è pari a circa il 5% della biomassa.

Con riferimento alla fase di purificazione del syngas, in questa fase preliminare dell'analisi è stato stimato il solo consumo di acqua negli scrubber, pari a circa 200 litri ogni 2 giorni.

Il char estratto dal reattore e l'acqua in uscita dagli scrubber sono avviati allo smaltimento finale in processi di trattamento per rifiuti speciali non pericolosi.

4.2.2. Cogenerazione dell'energia elettrica e termica

I dati relativi alla generazione di energia elettrica e termica sono stati raccolti con riferimento a cicli di cogenerazione di durata pari a 30 minuti. L'impianto di cogenerazione è costituito da un motore a combustione interna diesel dual-fuel. I dati primari raccolti si riferiscono ad una condizione operativa in cui il tasso di sostituzione del diesel (Diesel substitution rate[1]) è pari al 46%. Allo stato attuale di avanzamento della ricerca non sono disponibili dati primari specifici sulle emissioni connesse alla combustione della miscela diesel – syngas nel cogeneratore. Questi dati saranno integrati nell'inventario della fase operativa del sistema energetico in esame una volta conclusa la campagna di misure presso il laboratorio di Bioenergia e Biocombustibili dell'Università di Bolzano.

La Tabella 3 riporta i dati primari raccolti con riferimento al processo di cogenerazione.

[1] Diesel Substitution Rate: tasso di sostituzione del diesel rispetto a un caso di riferimento in cui il cogeneratore è alimentato solo da diesel

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 3. Cogenerazione – dati primari di processo.

Parametro	Valore
Syngas in ingresso [g/s]]	2
Diesel in ingresso [g/s]	0,17
Olio lubrificante in ingresso [g/kWh]	1
Acqua di raffreddamento [g/s]	138
Potenza erogata in un ciclo [kW]	3
Tensione operativa [V]	230
Corrente erogata [A]	12
Durata del ciclo di cogenerazione [h]	0,5

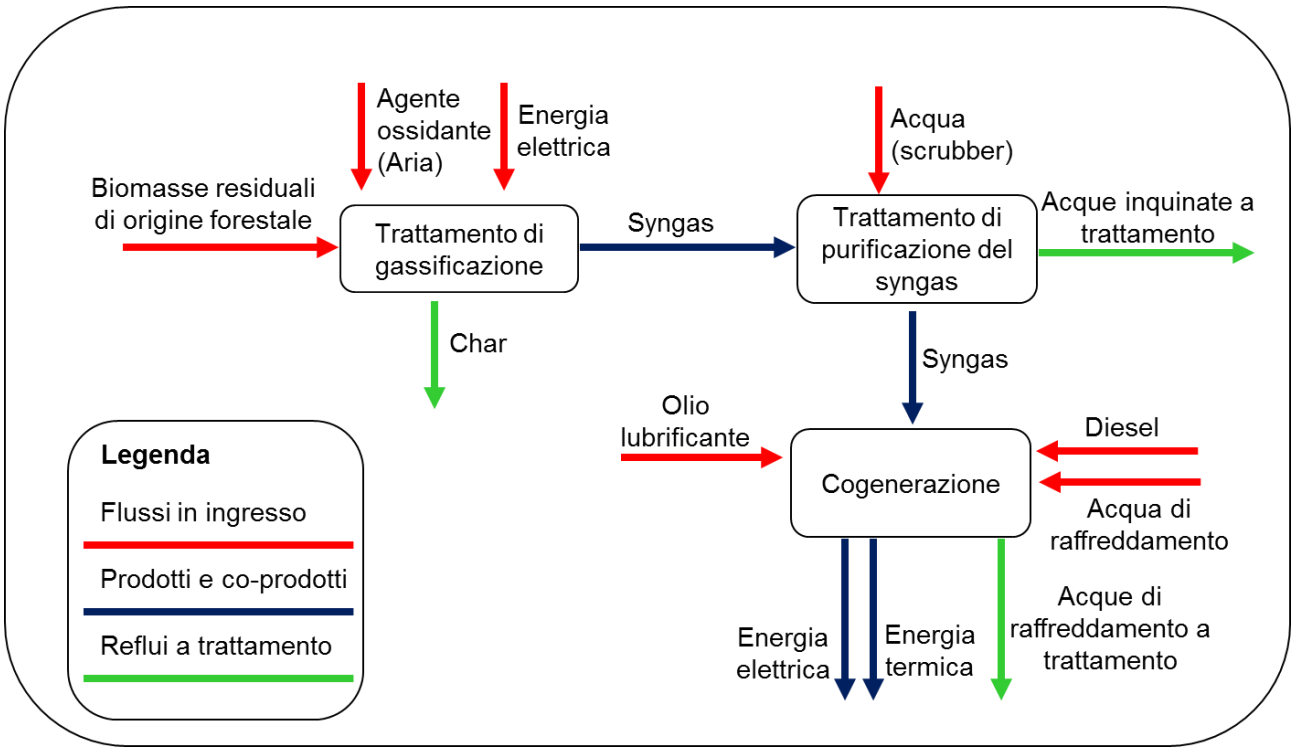
4.3. Elaborazione dati primari e selezione dei dataset

Nella seconda fase dell'analisi di inventario, sulla base delle informazioni ottenute durante la fase di raccolta dati è stato realizzato il diagramma di flusso rappresentativo del sistema energetico in esame e dei flussi in ingresso e in uscita da ogni unità di processo (Figura 4).

I dati primari raccolti sono stati elaborati e riferiti all'UF selezionata. Nella Tabella 4 sono sintetizzati i dati relativi ai flussi in ingresso e in uscita di ogni unità di processo riferiti all'UF.

In seguito, si è proceduto con l'identificazione dei processi di background e la selezione dei dataset più appropriati per la loro modellizzazione (Tabella 5).

Figura 4. Diagramma di flusso del sistema energetico in esame.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 4. Dati primari di processo riferiti all'UF – processi di foreground.

Parametro	Quantità
Trattamento di gassificazione	
Biomassa in ingresso [kg]	0,93
Aria primaria in ingresso [kg]	0,99
Aria secondaria in ingresso [kg]	0,72
Energia elettrica in ingresso [kWh]	0,05
Syngas in uscita [kg]	2,60
Char in uscita [kg]	0,04
Trattamento di purificazione del syngas	
Syngas in ingresso [kg]	2,60
Acqua in ingresso [kg]	1,68
Syngas in uscita [kg]	2,40
Acqua in uscita [kg]	1,88
Cogenerazione	
Syngas in ingresso [kg]	2,40
Acqua di raffreddamento in ingresso [kg]	165,60
Olio lubrificante [kg]	0,001
Diesel [kg]	0,20
Acqua di raffreddamento in uscita [kg]	165,60
Energia elettrica (FU) [kWh]	1
Energia termica [kWh]	2

Tabella 5. Dataset selezionati per la modellizzazione dei processi di background.

Parametro	**Dataset selezionato per la modellizzazione dell'inventario di ciclo di vita – Ecoinvent 3.6** [12]
Trattamento di gassificazione	
Energia elettrica in ingresso	Electricity, low voltage production IT
Trattamento di purificazione del syngas	
Acqua in ingresso	Tap water, production
Cogenerazione	
Acqua di raffreddamento in ingresso	Tap water, production
Olio lubrificante	Lubricant oil, production
Diesel	Diesel burned in cogenerator
Syngas	Natural gas burned in cogenerator

5. Conclusioni

Il presente articolo descrive l'analisi di inventario di un sistema gassificatore – cogeneratore alimentato con biomasse residuai di origine forestale. L'analisi ha riguardato un impianto a scala di laboratorio ed è basata su dati primari raccolti direttamente in laboratorio.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

I risultati dello studio costituiscono una fase preliminare alla redazione dell'inventario di ciclo di vita del sistema in esame, espresso in termini di consumo di materie prime, emissioni in aria, acqua e suolo.

Gli sviluppi futuri della ricerca riguarderanno l'espansione dei confini del sistema con l'obiettivo di includere tutte le fasi della filiera di approvvigionamento della biomassa forestale e i processi di trattamento di fine vita dei reflui di processo, nonché le emissioni di inquinanti durante il processo di combustione della miscela syngas-diesel nel cogeneratore.

L'ultima fase dell'attività di ricerca consisterà nella valutazione degli impatti energetico – ambientali associati al sistema in esame e l'identificazione degli "hot – spot" allo scopo di fornire un supporto all'implementazione di strategie di economia circolare e all'eco-design a scala industriale del sistema in esame.

Bibliografia

1. European Commission *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Bruxelles, 11.12.2019, COM(2019) 640 final*; 2019;
2. European Commission Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on a monitoring framework for the circular economy. COM(2018) 29 final. Strasbourg, 16.1.2018 2018.
3. European Commission *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy*; 2018; ISBN 9789279941450.
4. European Commission Directive 2008/98/CE of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Off. J. Eur. Union* **2008**.
5. European Union *Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. Official Journal of the European Union. 14.6.2018*; 2018;
6. Beaudin, M.; Zareipour, H.; Schellenberg, A.; Rosehart, W. Energy Storage for Mitigating the Variability of Renewable Electricity Sources. In *Energy Storage for Smart Grids: Planning and Operation for Renewable and Variable Energy Resources (VERs)*; 2014 ISBN 9780124095434.
7. ISO *ISO 14040: Environmental management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework*; 2006; Vol. 3; ISBN ISO 14040:2006(E).
8. ISO *ISO 14044. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*; 2006; ISBN 14044.
9. Chen, J.; Xu, W.; Zuo, H.; Wu, X.; Jiaqiang, E.; Wang, T.; Zhang, F.; Lu, N. System development and environmental performance analysis of a solar-driven supercritical water gasification pilot plant for hydrogen production using life cycle assessment approach. *Energy Convers. Manag.* **2019**, *184*, 60–73, doi:10.1016/j.enconman.2019.01.041.
10. Antolini, D.; Brianti, B.; Basso, D.; Borooah, R.; Caligiuri, C.; Patuzzi, F.; Baratieri, M. Preliminary

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

assessment of forestry residues potential in South Tyrol as viable source for clean energy production through small scale gasification. In Proceedings of the XX Congresso Nazionale C.I.R.I.A.F. Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana. Perugia, 16 - 17 Aprile 2020. ISBN (online) 978-88-9392-190-9; Morlacchi Editore University Press, 2020.

11. Costaiola, A. Sostenibilità ambientale e life cycle assessment di biomasse residuali a fini energetici. Tesi Magisrale - Corso di Laurea in Ingegneria Energetica e Nucleare. Università degli Studi di Palermo, 2020.
12. Wernet, G.; Bauer, C.; Steubing, B.; Reinhard, J.; Moreno-Ruiz, E.; Weidema, B. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2016**, *21*, 1218–1230, doi:10.1007/s11367-016-1087-8.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

The role of the citizen in sustainability: the Sustainable Energy and Climate Action Plan for the municipality of Assisi

Ettore Stamponi [1,*], Marta Cardinali [1], Luca Fondacci [1], Elisa Moretti [1,2], Franco Cotana [1,2], Stefania Proietti [3,5], Bruno M. Broccolo [3], Paolo Sdringola [4], Federica Lunghi [3] and Patrizia Fortini [3]

[1] CIRIAF – Interuniversity Research Centre, University of Perugia, Via G. Duranti 63 (Perugia, Italy)
[2] Department of Engineering – University of Perugia, Via G. Duranti 93 (Perugia, Italy)
[3] Municipality of Assisi – Piazza del Comune 10 (Assisi, Italy)
[4] Energy Efficiency Department – ENEA Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Via Anguillarese 301 (Rome, Italy)
[5] Department of Engineering Sciences - Guglielmo Marconi University, Via Plinio 44 (Rome, Italy)

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: stamponi@crbnet.it

Abstract: The growth of population and the consequent urbanization represent one of the main factors driving environmental degradation and the exploitation of energy resources. In recent years, the use of strategies and policies for reducing greenhouse gas (GHG) emissions and energy consumptions are being developed worldwide. Several initiatives and programmes were drawn up at global level, but it has become necessary to implement sustainable policies also at local scale. The Covenant of Mayors represents an important resource for local administrations, as it allows the drawing up of Sustainable Energy and Climate Action Plans (SECAPs), in order to move towards more sustainable and resilient cities. In this context, the proposed work aims to investigate the role of the single citizen on the energy and environmental budget of a case-study municipality. The study builds on the SECAP of Assisi, a small city of approximately 28000 inhabitants in central Italy. The main goal of the Assisi's SECAP is the reduction of at least 40% of CO_2 emission by 2030, with respect to the 2008 baseline emissions. To this end, the implementation of actions that involve only the public sector are certainly insufficient to achieve such an ambitious goal and the contribution of citizens could be fundamental. For this purpose, the paper aims to explore, through the analysis of the past and forecast future consumptions of each sector, the importance that citizens and private stakeholders could have in achieving the SECAP goals, especially throughout building efficiency and the evolution of private and commercial transport.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_023_pp_256

Keywords: Sustainable Energy and Climate Action Plan; Energy Strategy; Sustainability; Mitigation Actions.

1. Introduction

As stated by the World Population Prospects 2019 [1] regarding demographic trend worldwide, the population rate is increasingly growing, even if less rapidly. This fact is closely linked to the incessant expansion of cities and intensification of human activities, leading to ever more intense energy consumptions and greenhouse gases (GHG) emissions. Consequently, the deterioration of the environment and the further exploitation of energy resources is getting worse. Furthermore, the unstoppable climate change and the consequent global warming produce environmental degradation and human-related health problems. As evidenced by the Fifth Assessment Report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [2], in order to contain the global temperature increase below 2°C with respect to pre-industrial rates, a set of actions becomes urgent to counteract such a negative trend.

In this context, the implementation of sustainable policies and energy management strategies plays an important role in establishing appropriate guidelines towards a more sustainable development. Several strategies and policies at international and national level have been developed during the last years, among which they are worth mentioning: the 2030 Agenda for Sustainable Development with its related 17 Sustainable Development Goals [3]; the Paris Agreement, adopted by the 21st Conference of the Parties (COP21) [4] and its implementation policies, established at the Katowice COP24 [5]. However, the achievement of such important objectives defined at international level in order to counteract global warming, cannot do without the implementation of sustainable strategies and policies at a local level.

The Paris Agreement recognizes the role of stakeholders who are not involved as parties in addressing climate change, including cities, other sub-national entities, civil society, private sector and others. They should step up their efforts and support initiatives to reduce emissions, build resilience and reduce vulnerability to the adverse effects of climate change, and maintain and promote regional and international cooperation. In this direction moves the Covenant of Mayors for Climate and Energy (CoM) [6], aimed at creating a community of local authorities interested in combating climate change and achieving European climate and sustainability objectives. The main output of the CoM is the Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP), which is developed by each signatory municipality following the guidelines provided by the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission [7-9]. The key aspect of the SECAP consists of the definition of a Mitigation and Adaptation Action Plan, in order to achieve the energy and CO_2 emission reduction target by 2030, along with measures of resilience to climate change. However, in most cases the implementation of actions on which the municipality can directly act, is not sufficient to achieve the reduction goals, so that the participation of citizens becomes fundamental. In Jekabsone et al. [10], a questionnaire was subjected to 11 different

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

municipalities in Latvia, among those that have drawn up their Sustainable Energy Action Plans (SEAPs). The investigation shows that the municipalities have set the main energy reduction targets in sectors under their direct management, as e.g. municipal buildings and public lighting. On the contrary, public administrations have defined lower targets for private sectors where they have a minor control, as e.g. the residential sector, merely encouraging to achieve a target in the reduction of energy consumption. Cinocca et al. [11] presented the monitoring phase for the SECAPs of all the 108 Municipalities of the Province of L'Aquila, in Italy, showing that residential buildings accounted for up to 56.8% of total CO_2 emissions. For that reason, several actions have been drawn up, involving energy efficiency of private buildings (i.e. thermal insulation of opaque and transparent surfaces), along with the implementation of renewable energy sources also in the private sector [11]. Furthermore, Delponte et al. [12] highlighted that the role of citizens and community is of outmost importance in the SECAP planning process, but also in the monitoring phase, in the form of participation of stakeholders and awareness of citizens on sustainable and energy-related strategies. The relevance of citizens and stakeholders participation on local sustainable and energy programs is pointed out also in [13], showing that some discrepancies may occur in the implementation of energy actions, when the main stakeholders of such sectors are not properly involved. For that reason, the energy strategies planned by the municipality should be the result of an inclusion process of all the interested parties and sectors, in order to put forward more feasible sustainability solutions.

In this background, the aim of the present work is to investigate the importance of citizens and community participation towards a better sustainability, in the achievement of the targeted energy and carbon emissions reductions. This research falls within the framework of the SECAP of the Municipality of Assisi [14], a small town of approximately 28000 inhabitants sited in central Italy. The SECAP of Assisi provides for a CO_2 emission reduction of 40% by 2030, with respect to the 2008 baseline emissions. However, the adoption of mitigation strategies on which the municipality could directly operate are not sufficient to achieve this target, so the action of all citizens becomes essential. Starting from the specific case-study SECAP, this work focuses on the influence that citizens and private stakeholders have in pursuing the sustainability objectives planned by the municipality.

2. Case Study: the Municipality of Assisi

As previously stated, the present work relies on the development of the SECAP for the Municipality of Assisi [14], a small town sited in central Italy, covering an area of about 187 km^2. With a population of approximately 28000 inhabitants, Assisi appears as a town with a strong rural character, dominated by the historical city center, situated at the base of Subasio Mount, and several municipality's hamlets, as e.g. Santa Maria degli Angeli, Petrignano and Rivotorto. In Figure 1, an aerial view of the municipality of Assisi is shown, where the municipal boundaries and some of its main hamlets are visible. Table 1 summarizes the main geographical and territorial data of Assisi. The historical city center is characterized by a large number of important monuments that are always destinations of religious tourism and pilgrimages, the most notable of which is the Basilica of St. Francis, followed by the Basilica of St. Claire and the Cathedral of St. Rufino. They are Unesco World Heritage Site since 2000.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

For what concerns Assisi's building stock, the Istat 2011 Census on Population and Buildings [15] indicates that the total buildings of the Municipality of Assisi are 9983. Among them, 7798 are residential buildings, 1810 belong to the commercial, productive and tertiary sectors and, finally, 375 are not utilized. The infrastructural system is composed by a main road axis orientated in NO-SE direction, from which departs the secondary roads system. The railway runs alongside the main road axis and it passes through the hamlet of Santa Maria degli Angeli. There are lots of cycle tracks that start from the historic city center of Assisi and connected to other urban settlements, as e.g. Gubbio, Spoleto, Spello and Gualdo Tadino.

Figure 1. An aerial view of Assisi, with the municipal boundaries in red and some of its main hamlets: Palazzo, Santa Maria degli Angeli, Tordandrea, Rivotorto, Castelnuovo. (GoogleEarth)

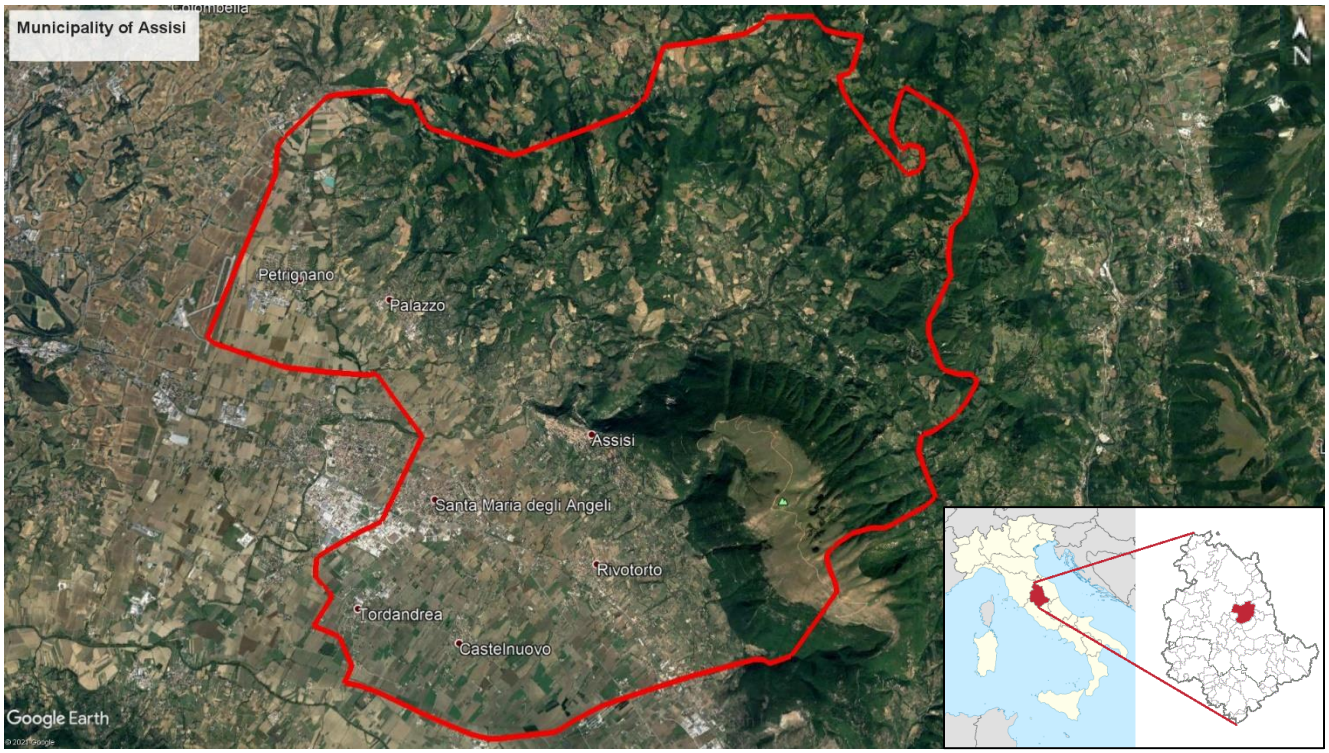


Table 1. Assisi's territorial data.

Geographical coordinates	Elevation [m.a.s.l.]	Population [inhabitants]	Area [km^2]	Population density [inhabitants/km^2]
43°4'12"36 N 12°37'2"64 E	424	28352 (2008 year)	187.19	151.46

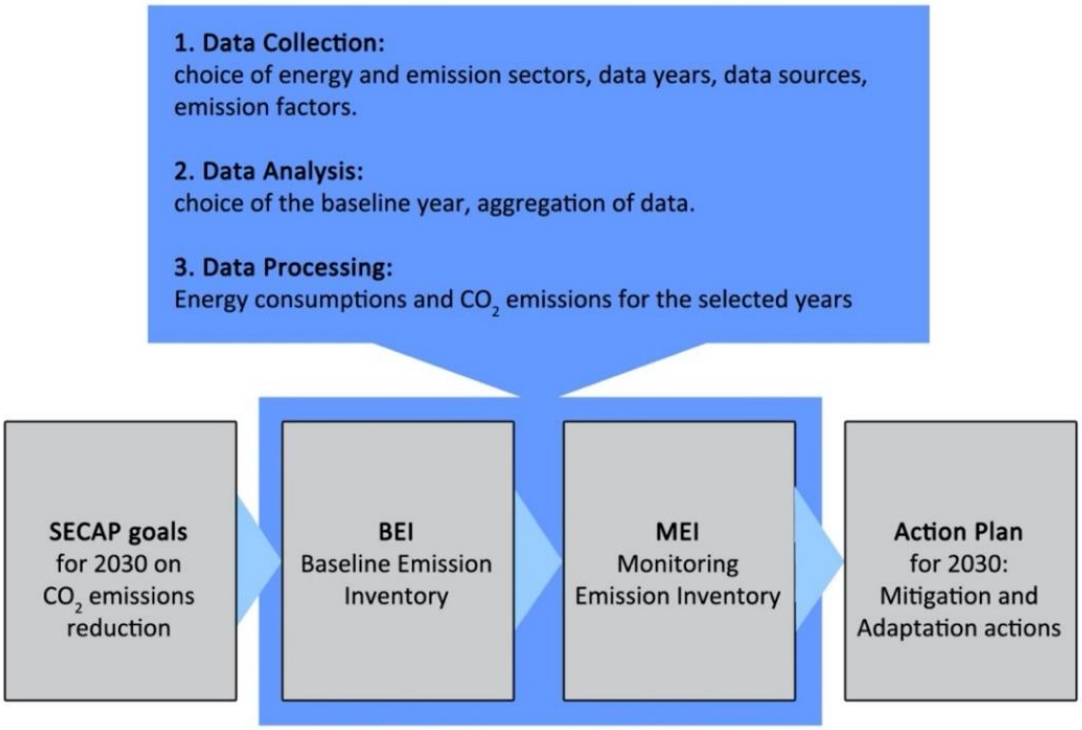
3. Methodology of SECAP

In Figure 2 the methodology applied for the development of Assisi's SECAP is presented, following the JRC guidelines [7-9]. The main goals concern the adaptation to climate change and the reduction of at least 40% in CO_2 emissions by 2030, with respect to those for the selected reference year. A Baseline Emission Inventory (BEI) and a Monitoring Emission Inventory (MEI) have been produced for the years 2008 and 2016, respectively.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Then, a Mitigation and Adaptation Action Plan for 2030 has been drawn up, in order to reach the expected reduction target by 2030, on the basis of the CO_2 emission trend resulted by the BEI and the MEI. Several actions have been planned for being implemented by 2030, among which 13 actions are referred to mitigation and 8 are strategies for adaptation to climate change [14].

Figure 2. Workflow of the Assisi's SECAP methodology.



For what concerns the choice of the proper emission factors, it was done in accordance with CoM Default Emission Factors [16]. Furthermore, in order to calculate the indirect CO_2 emissions to be attributed to the local production of electricity, the CoM developed a specific methodology for estimating the local Emission Factor for Electricity (EFE), taking into account the National Emission Factor for Electricity consumption (NEFE) and the indirect emissions from Local Electricity Production (LPE) from renewable sources or combined heat and power system linked to district heating [8].

4. Results and Discussion

The results of the Assisi's BEI for the reference year 2008 and the subsequent MEI for 2016 are presented below. Assisi's emission results were compared with those of other Italian municipalities [17], that have joined the CoM and have developed their SECAPs. The selected Italian municipalities are characterized by similar territorial characteristics and a comparable number of inhabitants with respect to Assisi. Then, it was analyzed to what extent the single citizen is directly responsible for Assisi's emissions. Finally, the mitigation actions developed for the Assisi's SECAP are presented with a particular focus on those that are directly linked to the citizen's action.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.1. Baseline Emission Inventory (2008) and Monitoring Emission Inventory (2016)

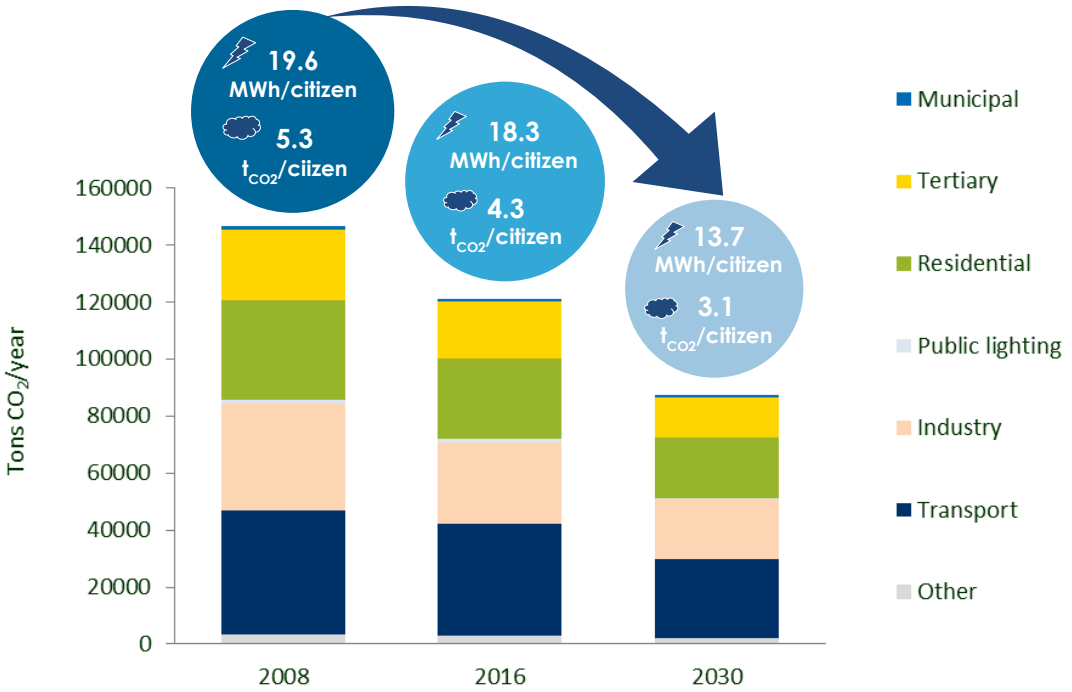
As stated before, the BEI of Assisi was developed for the reference year 2008. Several data were processed in order to calculate energy consumption, broken down by sources and sectors. The CO_2 emissions in the municipal area were then computed. The local energy production and the energy produced from renewable sources were also assessed. Then, the emissions inventory was updated to 2016.

For the reference year 2008, the total energy consumption is equal to 541797 MWh, while the total carbon dioxide emissions are 146611 tons of CO_2. Considering the resident population, the per capita contribution to emissions is equal to 5.3 tons of CO_2 (Figure 3). The transport sector accounts for 30% of these CO_2 emissions, followed by industry (25%) and residential sector (24%); the tertiary sector accounts for 17% of CO_2 emissions, while those of the public sector are approximately 2%, equal to those of the agricultural sector.

The update of the emission inventory to 2016 shows a reduction in energy consumption of 4.2%, while CO_2 emissions decreased by 17.41% (25528 tons). The result is due, in addition to the change in the NEFE [18], also to the increase in the electricity production from photovoltaics and the commissioning of the CHP (combined heat and power) plant, located in Santa Maria degli Angeli and fueled by natural gas.

To achieve the target of 40% reduction in CO_2 emissions compared to 2008 (58644 tons), 33116 tons still need to be reduced by 2030 (about 1.2 tons per citizen).

Figure 3. Tons of CO_2 emissions in 2008 and 2016 divided for sectors and estimated to 2030.



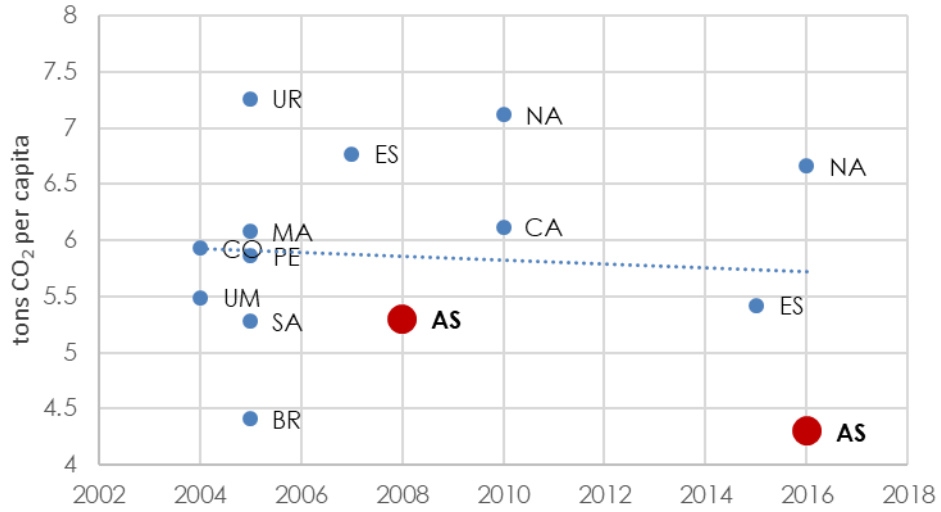
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.2. Comparison with other Italian SECAPs

The JRC guidelines, in their Part 3 [9] require specifying both energy consumptions and CO_2 emissions per capita. The calculation was done simply by dividing consumptions and emissions by the total number of citizens. Based on this data, the results for the BEI and MEI of Assisi were compared with those of other municipalities (Figure 4 and 5), that have developed their own SECAP, with similar characteristics and a comparable number of inhabitants with respect to Assisi [17]. The results highlight that in 2008 the per capita emissions of the inhabitants of Assisi are below the average trend.

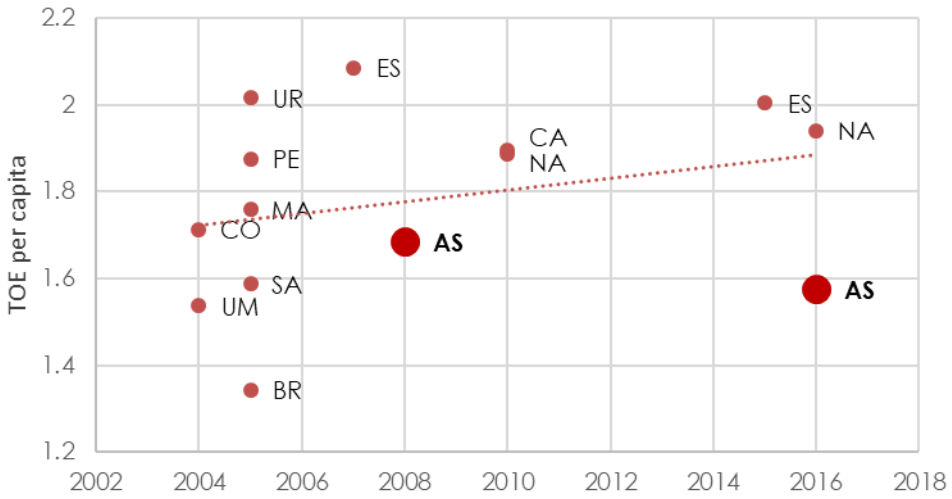
Moreover, the total consumptions expressed as tons of oil equivalent (TOE) are lower than the average in 2008. The national and the average consumption among the selected municipalities increased in the years between 2008 and 2016, whereas the corresponding energy consumption of Assisi decreased from 1.69 to 1.57 TOE per capita.

Figure 4. Comparison with others SECAP (tons CO_2 per capita)



Municipalities	
UM	Umbertide
CO	Corciano
MA	Macerata
UR	Urbino
PE	Peschiera
BR	Brugherio
SA	Salsomaggiore
ES	Este
AS	**Assisi**
CA	Cattolica
NA	Narni

Figure 5. Comparison with others SECAP (TOE per capita)



National energy consumption	
Year	TOE per capita
2014	2.74
2016	2.76
2018	2.85

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.3. Citizen role

The data on per capita emissions of the previous chapter do not faithfully represent the emissions directly related to the private citizen. For this reason, a new elaboration of BEI and MEI data has been carried out in order to estimate the direct emissions of a single citizen of Assisi. The emissions due to citizens were equal to 100% of residential building emissions both in 2008 and 2016, whereas they account for 86% of private and commercial transportation in 2008 (88% in 2016). As shown in Figure 6 the citizen is directly responsible for about 50% of the emissions. Between 2008 and 2016 both energy consumptions and CO_2 emissions decrease in all sectors, but the percentage connected to the citizen's activity, albeit slightly, increased as a percentage of the total in this time interval. The change is likely caused by the market contraction due to the 2008 economic crisis and by the fact that the industrial sector has benefited from incentive mechanisms to increase its energy efficiency.

Figure 6. Tons CO_2 emissions for each sector, expressed as a percentage of the total, for 2008 and 2016.

Therefore, the attention was focused on the citizen and to what extent it can directly reduce its emissions, thanks also to the actions that the municipality can put in place through strategies of involvement and awareness. The analysis of the buildings of the municipality of Assisi showed that 75% of them are pre-1980, which is a higher percentage than the national and regional average. For this reason, an action concerning the efficiency of the residential sector will have a significant impact. The analysis of the car fleet that circulates in the municipality was very similar to that circulating in the nation. It is worth noting, however, that the physiological change in the composition of the private vehicle fleet, also supported by the actions planned under the Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP), will have a strong impact on CO_2 emissions in this sector.

4.4. Mitigation actions

Thirteen strategic actions to mitigate CO_2 emissions have been planned in Assisi's SECAP [14], involving various sectors (Table 2). Five actions are related to energy efficiency in various sectors

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

(Residential Buildings - E1; Tertiary Buildings - E2; Municipal Buildings - E3; Industry - E4; Agriculture - E5). Action R1, on the other hand, relates to renewable sources (increase of solar photovoltaic systems). Actions T1, T2 and T3 are related to mobility and transport (contribution equal to approximately 56%) and they concern respectively the renewal of the private commercial park, the municipal one and finally the SUMP of the city of Assisi. Action L1 concerns energy efficiency and the renovation of public lighting. Action S1 relates to the planting of a tree for each new born or at the specific request of the community. For the efficient and correct coordination of actions, the establishment of two new offices called "Environment and energy management" and the "Energy desk" (Action S2) is planned, in order to organize the updating and monitoring of the SECAP, in agreement with the "SECAP management committee". Finally, action S3 provides for the awareness and involvement of stakeholders.

Table 2. Mitigation actions provided for in Assisi's SECAP [14]

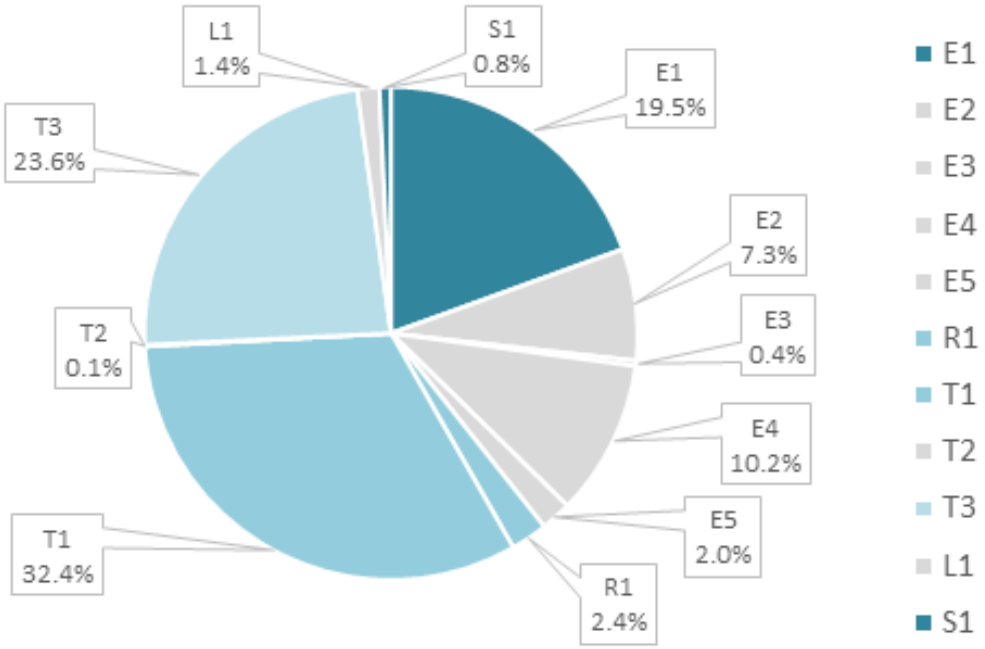
#	Title	Sector	Energy Saving (MWh)	Renewable electricity produced (MWh)	Reduction (t CO_2)
E1	Requalification of residential buildings	Residential buildings	32927	-	6468
E2	Requalification of tertiary buildings	Tertiary buildings	10163	-	2429
E3	Requalification of municipal buildings	Municipal buildings	509	-	118
E4	Energy saving in industry	Industry	13673	-	3387
E5	Energy saving in agriculture	Agriculture	2460	-	666
R1	Installation of photovoltaic plants	Local renewable electricity plants	-	2719	805
T1	Renovation of private and commercial transport	Transport	44623	-	10772
T2	Renovation of municipal fleet	Transport	199	-	31
T3	Sustainable urban mobility plan of Assisi (SUMP)	Transport	31124	-	7829
L1	Renovation of public lighting	Public lighting	1619	-	480
S1	"Un albero per Francesco"	Other	-	-	250
S2	Energy management office and citizen's energy desk	Other	Not quantifiable	-	n.q.
S3	Awareness and involvement of stakeholders	Other	Not quantifiable	-	n.q
	Total		**137298**	**2719**	**33235**

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The graph in Figure 7 shows to what extent each action contributes to the reduction target of 33235 tons of CO_2 in the period between 2016 and 2030. Actions E1 and S1 can be fully associated with the citizen. For action R1, as a first approximation 70% of 2064 kW solar power (in addition to the 2016 installations) is supposed to be set up on private homes, for a reduction of 564 tons of CO_2.The other action that couldn't be fully attributed to the citizen is the renewal of the vehicle fleet (T1). In this case, according to ACI (Automobile Club d'Italia) database, 88% of emissions has been allocated to citizen, for a local amount of 9480 tons. This could also be said for the SUMP, even if to a lesser extent, since this action will also affect commercial and public transport. For this reason, 3915 tons (50%) of the avoided emissions from SUMP were directly linked to the citizen.

As stated above, regarding 33235 tons avoided in 2030 (SECAP target), 20917 are directly attributable to the citizen, accounting for the 62.9% of the total.

Figure 7. Assisi's mitigation actions divided for sectors. The colored slices represent actions on which citizens can act directly.



5. Conclusions and Future Developments

In the framework of sustainable political choices for people, climate and environment, Local Government and Municipal Authorities (LGMAs) play a role in carrying out mitigation and adaptation actions. The present work aims at investigating the importance of citizens and community participation towards a better sustainability, in order to achieve the targeted energy and carbon emissions reductions. This research falls within the framework of the SECAP of the municipality of Assisi, a small town of approximately 28000 inhabitants sited in central Italy. The SECAP of Assisi provides for a CO_2 emission reduction of 40% by 2030, with respect to the 2008 baseline emissions. The adoption of mitigation strategies on which the municipality could directly operate are not sufficient to achieve this

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

target, so the action of all citizens becomes essential. That is why the SECAP of Assisi spreads a further awareness among citizens about the risks of climate change and good energy practices. The establishment of new energy related departments (i.e. energy management office and citizen's energy desk) enable citizens to actively participate in order to reach SECAP targets, throughout technical support. For that reason, starting from the specific case-study SECAP, this work focuses on the influence that citizens and private stakeholders have in pursuing the sustainability objectives, especially regarding building efficiency of the residential sector and private transports. The major result of this study is that citizens should play a significant role in the mitigation of CO_2 emissions, accounting for the 62.9% of the total emissions reduction by 2030.

As the municipality of Assisi is characterized by a significant and constant tourist flow, both religious and cultural, more research efforts should be made in the investigation of the impact of tourism on sustainability. Therefore, the requests to receive updated for 2020 consumption data have already been made. In this way, following the SECAP methodology and in accordance with the monitoring strategy, it will be possible to assess the impact that the COVID-19 pandemic and in particular the hard lockdown in March and April of 2020 had on CO_2 emissions as well as on energy consumptions.

References

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423).
2. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
3. UN General Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 21 October 2015, A/RES/70/1, United Nations. available at: https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf
4. Paris Agreement. United Nations, 2015. Conference of the Parties. Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 Addendum Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first session. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf
5. Conference of the Parties, Katowice, 2018. Website: https://cop24.gov.pl/
6. Covenant of Mayors for Climate & Energy Europe website. Available at: https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-initiative/origins-and-development.html
7. Bertoldi P. (editor), Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 1 - The SECAP process, step-by-step towards low carbon and climate resilient cities by 2030, EUR 29412 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79- 96847-1, doi:10.2760/223399, JRC112986
8. Bertoldi P. (editor), Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 2 - Baseline Emission Inventory (BEI) and Risk and Vulnerability Assessment (RVA),

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

EUR 29412 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-96929-4, doi:10.2760/118857, JRC112986

9. Bertoldi P. (editor), Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 3 – Policies, key actions, good practices for mitigation and adaptation to climate change and Financing SECAP(s), EUR 29412 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-96927-0, doi:10.2760/58898, JRC112986
10. Jekabsone, A.; Kamenders, A.; Rosa, M.; Kaselofsky, J.; Schule, R. Assessment of the Implementation of Sustainable Energy Action Plans at Local Level. Case Study of Latvia. *Environmental and Climate Technologies* **2019**, *23, n.2*, 36-46.
11. Cinocca, A.; Santini, F.; Cipollone, R. Monitoring methodologies and tools for the Sustainable Energy Action Plans to support the Public Administration. 73rd Conference of the Italian thermal Machines Engineering Association (ATI 2018), 12-14 September 2018, Pisa, Italy. *Energy Procedia* **2018**, *148*, 758-765.
12. Delponte, I.;Pittaluga, I.; Schenone, C. Monitoring and evaluation of Sustainable Energy Action Plan: Practice and perspective. *Energy Policy* **2017**, *100,* 9-17.
13. Gustafsson, S.; Ivner, J.; Palm, J. Management and stakeholder participation in local strategic energy planning – Examples from Sweden. *Journal of Cleaner Production* **2015**, *98,* 205-212.
14. SECAP of the Municipality of Assisi. Available at: https://www.pattodeisindaci.eu/about-it/la-comunit%C3%A0-del-patto/firmatari/piano-d-azione.html?scity_id=20353
15. 15° Censimento della Popolazione e delle Abitazioni, 2011, ISTAT. Available at: https://www.istat.it/it/censimenti-permanenti/censimenti-precedenti/popolazione-e-abitazioni/popolazione-2011
16. Koffi, Brigitte; Cerutti, Alessandro; Duerr, Marlene; Iancu, Andreea; Kona, Albana; Janssens-Maenhout, Greet (2017): CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union - Version 2017, European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: http://data.europa.eu/89h/jrc-com-ef-comw-ef-2017.
17. SECAPs of signatory municipalities from Covenant of Mayors website, Plans & Actions. Available at: https://www.covenantofmayors.eu/plans-and-actions
18. Caputo A. (ISPRA), Fattori di emissione armosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei, ISPRA Rapporti 317/2020, ISBN 978-88-448-0992-8

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Controllo Attivo del Rumore all'Interno della Cabina di un Trattore: Test Preliminari in Camera Semi-Anecoica

Francesco Mori[1,*], Paolo Bonfiglio[2], Patrizio Fausti[1], Francesco Pompoli[1], Andrea Santoni[1] e Pietro Nataletti[3]

[1] Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara, Via Saragat 1, 44100 Ferrara, Italia

[2] Materiacustica s.r.l., Via C. Ravera 15/A, 44122 Ferrara, Italia

[3] INAIL, Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, Via S. Gradi 55, 00413 Roma, Italia

***** Autore di riferimento. E-Mail: francesco.mori@unife.it

Abstract: Negli ultimi anni il controllo delle vibrazioni e del rumore ha attirato molta attenzione per diverse applicazioni industriali e agricole. Il controllo di questi fenomeni consente di preservare il comfort e la salute delle persone soggette a lunghi tempi di esposizione ad alti livelli rumore. Un esempio è il caso degli operatori agricoli, esposti a forti rumori per diverse ore al giorno. Per risolvere questo problema, il controllo attivo del rumore (ANC) rappresenta una soluzione valida per attenuare il disturbo nel campo delle basse frequenze, dove le soluzioni passive tradizionali non sono efficaci. Questo articolo descrive l'attività preliminare svolta nel contesto del progetto BRIC 2019 (tematica ID 14) per la valutazione in camera semi-anecoica dell'efficacia di un sistema di controllo attivo per la cabina di un trattore. Viene condotta un'analisi sperimentale completa con disturbi stazionari e transitori generati da una sorgente sonora simulata (dodecaedro), posizionata fuori dalla cabina, con componenti tonali e rumore a banda larga. Il sistema di controllo attivo è stato realizzato implementando un algoritmo adattivo su un dispositivo real-time, che processa i segnali rilevati da un microfono di riferimento e da due microfoni di errore all'interno delle orecchie di un manichino posto sul sedile, dove si vuole cancellare il disturbo. L'output dell'algoritmo viene inviato a due altoparlanti di controllo, posizionati dietro la testa del guidatore, producendo un segnale in controfase, che si sovrappone ed elimina il disturbo esistente. I risultati mostrano che il sistema è molto efficace per componenti tonali e rumore pseudo-casuale.

Keywords: Controllo attivo del rumore; Trattore; Signal processing.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

Negli ultimi anni il controllo delle vibrazioni e del rumore ha attirato molta attenzione per diverse applicazioni industriali e agricole. Il controllo di questi fenomeni consente di preservare il comfort e la salute delle persone soggette a lunghi periodi di esposizione al rumore ad alti livelli. Un esempio che ha acquisito un'importanza rilevante negli ultimi decenni è dato dal caso degli operatori agricoli, esposti per molte ore al giorno ad alti livelli di rumore generati dal trattore. Le tecniche passive tradizionali permettono l'attenuazione del rumore nel campo delle medio-alte frequenze, mentre risultano poco efficaci per il contrasto del disturbo a basse frequenze, di particolare interesse per il caso dei trattori agricoli. Una valida alternativa alle soluzioni tradizionali è rappresentata dal controllo attivo del rumore (ANC), in cui un dispositivo elettroacustico genera, grazie a un algoritmo adattivo, un segnale di uguale ampiezza e opposto in fase rispetto a un disturbo presente, eliminandolo per sovrapposizione degli effetti.

Uno dei primi studi di controllo attivo del rumore applicato ai trattori è stato proposto da Yoshida nel 1995 [1], in cui è stata analizzata l'efficacia di un sistema feedforward e di uno feedback, utilizzando un microfono di errore e due altoparlanti di controllo per cancellare il rumore alla posizione della testa dell'operatore. Successivamente Gulyas e altri nel 2002 hanno testato diversi sistemi di controllo attivo per una macchina mietitrice [2]. In particolare, hanno mostrato l'importanza della coerenza del segnale di riferimento con la sorgente di disturbo per due configurazioni feedforward e fenomeni di instabilità e amplificazioni ad alta frequenza per un sistema feedback, nonostante i migliori risultati. Lo schema da loro utilizzato è quello di un sistema MIMO (acronimo di Multiple-input and multiple-output) con due altoparlanti di controllo posizionati dietro la testa del guidatore e due microfoni di errore in prossimità delle orecchie. Altri studi più recenti hanno riguardato l'applicazione di una struttura feedback multicanale per un trattore cingolato senza cabina [3].

Questo articolo descrive l'attività preliminare svolta nel contesto del progetto BRIC 2019 (tematica ID 14) per la valutazione in camera semi-anecoica dell'efficacia di un sistema di controllo attivo all'interno di una cabina di trattore. Viene condotta un'analisi sperimentale completa con disturbi stazionari e transitori generati da una sorgente sonora simulata (dodecaedro), posizionata fuori dalla cabina, con componenti tonali e rumore a banda larga. Il sistema di controllo attivo è stato realizzato in configurazione feedforward con una struttura multicanale, implementando un algoritmo adattivo su un dispositivo real-time, che processa i segnali rilevati da un microfono di riferimento posizionato al di fuori della cabina e da due microfoni di errore all'interno delle orecchie di un manichino posto sul sedile, dove si vuole cancellare il disturbo. L'output dell'algoritmo viene inviato a due altoparlanti di controllo, posizionati dietro la testa del guidatore, producendo un segnale opposto in fase, che si sovrappone ed elimina il disturbo esistente.

Nella sezione 2 vengono descritti dal punto di vista teorico la configurazione scelta e l'algoritmo adattivo implementato. Nella sezione 3 viene presentato il setup sperimentale adottato e vengono discussi i risultati ottenuti. Infine, nell'ultima sezione vengono riportate le conclusioni di questa analisi preliminare e i futuri sviluppi.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2. Descrizione Teorica del Sistema di Controllo Attivo

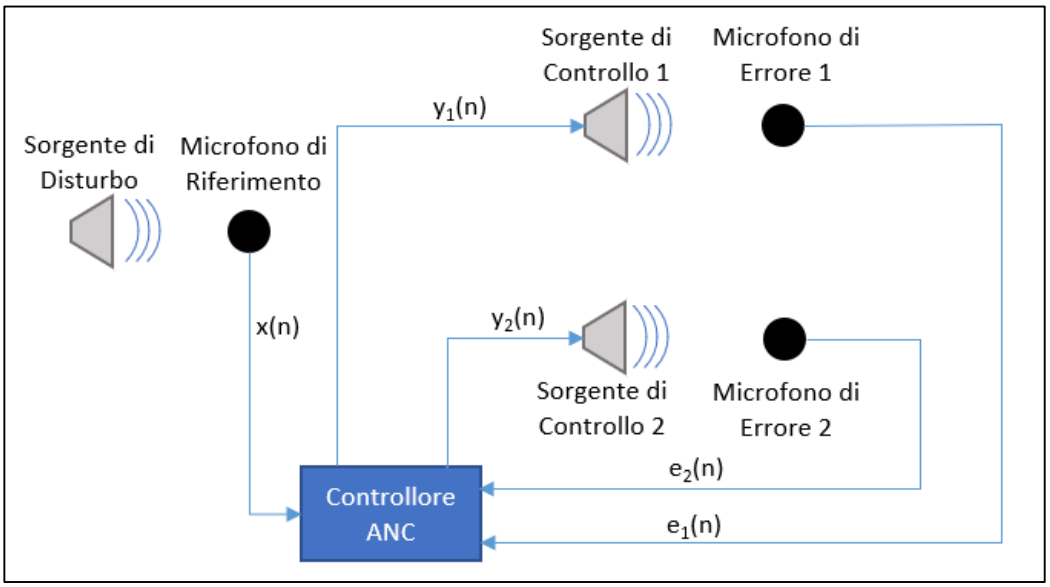
2.1. Tipologia di Sistema

La struttura ANC implementata è di tipo feedforward in configurazione MIMO 1x2x2, cioè possiede un microfono di riferimento, due altoparlanti di controllo e due microfoni di errore. Il sistema, illustrato in Figura 1, funziona nel seguente modo:

- Un microfono di input vicino alla sorgente di rumore misura un segnale di riferimento x(n) coerente con il disturbo primario, prima che raggiunga gli altoparlanti di cancellazione.
- Due microfoni di errore misurano i segnali di errore $e_1(n)$ ed $e_2(n)$ e definiscono la zona di quiete dove si vuole cancellare il rumore generato dalla sorgente di disturbo.
- Il sistema di controllo processa i segnali misurati mediante un algoritmo adattivo e calcola i segnali di output $y_1(n)$ e $y_2(n)$ che vengono inviati alle due sorgenti di controllo.
- Gli altoparlanti di controllo emettono i segnali calcolati che sono di uguale ampiezza, ma opposti in fase rispetto al disturbo che investe i microfoni di errore, in modo che la loro sovrapposizione cancelli il rumore esistente.

Questo tipo di sistema si basa sulla coerenza tra il segnale di riferimento e i segnali di errore misurati, determinando il massimo valore di attenuazione raggiungibile [4]. Per questo motivo in fase di progettazione la scelta della posizione dei sensori assume una rilevanza importante. Inoltre, questo sistema è soggetto alla legge di causalità, secondo la quale il ritardo nella propagazione tra il microfono di riferimento e le sorgenti di controllo deve essere tale da permettere di elaborare i segnali con l'algoritmo adattivo e di reintrodurre elettricamente i segnali anti-rumore nella zona di quiete definita dai microfoni di errore. In questa fase, per garantire una migliore prestazione e una maggiore stabilità, è importante tenere in conto anche dell'interazione tra i due segnali di controllo alla posizione di un dato microfono di errore.

Figura 1. Rappresentazione schematica del sistema feedforward.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2.2. Descrizione dell'Algoritmo

L'algoritmo implementato all'interno dell'unità di controllo per produrre i segnali anti-rumore è il classico algoritmo ai minimi quadrati con segnale di riferimento filtrato (FXLMS) adattato a un sistema multicanale. Come mostrato in Figura 2, il sistema fisico è costituito da un segnale di riferimento x(n), due segnali di errore $e_i(n)$ (i=1, 2) e due segnali emessi dalle sorgenti di controllo $y_j(n)$ (j=1, 2). Le funzioni di trasferimento dei percorsi primari $\underline{P}_i(z)$ descrivono la trasmissione del segnale di riferimento ai due microfoni di errore, dove vengono rilevati i disturbi $d_i(n)$. I segnali emessi dalle sorgenti di controllo si propagano attraverso i percorsi secondari $\underline{S}_{ji}(z)$ dalla sorgente j-esima al microfono i-esimo e si sovrappongono al disturbo esistente generando i segnali di errore misurati dai microfoni.

Per modellare correttamente il sistema fisico e garantire la stabilità del sistema, all'interno dell'unità di controllo è importante tenere in conto dei percorsi secondari. Queste risposte all'impulso vengono stimate con la procedura offline descritta nella sezione 2.3 e vengono salvate sottoforma di filtri FIR $\underline{S}_{ji}'(z)$, con i quali si calcolano i segnali di riferimento filtrati definiti secondo l'equazione (1):

$$x'_{ji}(n) = \sum_{m=0}^{M-1} s'_{ji,m}(n)x(n-m) \tag{1}$$

dove M rappresenta la lunghezza dei filtri dei percorsi secondari, assunta uguale per tutti i filtri.

Lo scopo dell'algoritmo implementato all'interno del sistema di controllo ANC è quello di minimizzare con una procedura iterativa che modifica i coefficienti dei filtri adattivi $\underline{W}_j(z)$ la funzione costo riportata nell'equazione (2):

$$\xi(n) = \sum_{i=1}^{2} e_i^2(n) \tag{2}$$

Con l'approccio ai minimi quadrati, questa procedura si traduce nella seguente espressione di aggiornamento dei coefficienti dei filtri adattivi:

$$w_{j,k}(n+1) = w_{j,k}(n) - \mu \sum_{i=1}^{2} e_i(n)x'_{ji}(n-k) \quad k = 0, 1, \dots, K-1 \tag{3}$$

dove k rappresenta il k-esimo elemento dei filtri adattivi di lunghezza K e μ è lo step-size che determina la velocità di convergenza e la stabilità dell'algoritmo.

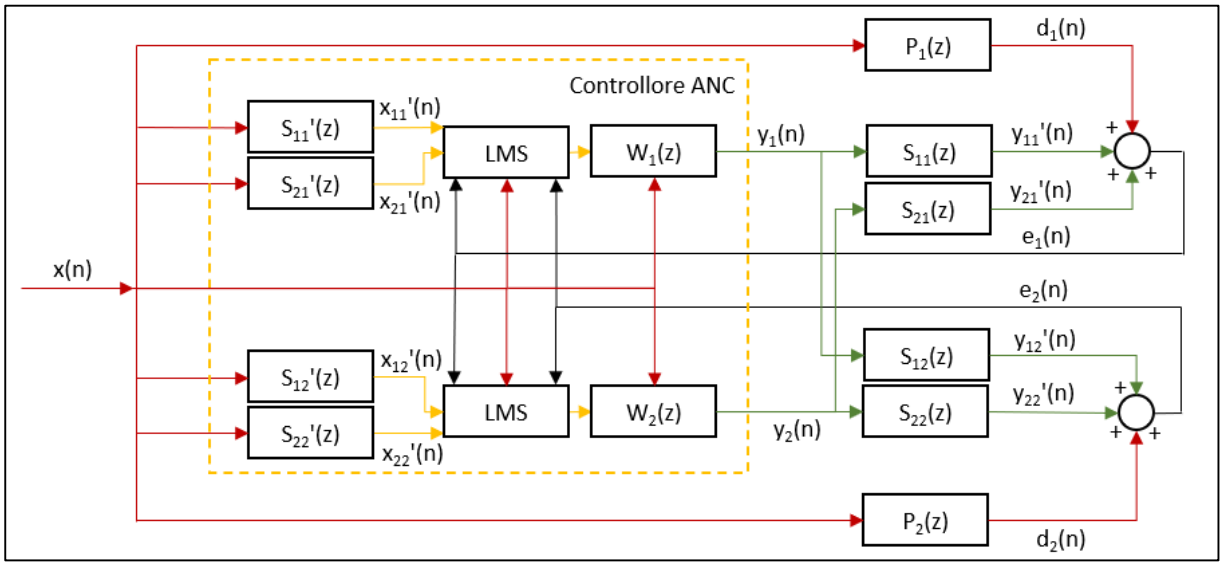
Dopo aver calcolato i coefficienti, gli output dell'algoritmo che guidano le sorgenti di controllo sono valutati con l'equazione (4):

$$y_j(n) = \sum_{k=0}^{K-1} w_{j,k}(n)x(n-k) \tag{4}$$

Questa procedura viene ripetuta per ogni generico istante n.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 2. Rappresentazione schematica dell'algoritmo FXLMS per un sistema multicanale.



2.3. Stima Offline dei Percorsi Secondari

Assumendo che le caratteristiche dei percorsi secondari $S_{ji}(z)$ siano invarianti nel tempo, è possibile ottenere una stima $S_{ji}'(z)$ dei filtri che caratterizzano i percorsi secondari prima dell'effettiva applicazione di controllo attivo. Con riferimento alla Figura 3, la procedura per la stima offline è la seguente [5]:

1. Con la sorgente di controllo j-esima si genera un campione di rumore bianco $y_j(n)$ che viene usato come input di riferimento per il filtro adattivo $S_{ji}'(z)$ e per l'algoritmo LMS per l'adattamento dei coefficienti;
2. Si rileva il segnale $e_i(n)$ con il microfono di errore i-esimo;
3. Si calcola la risposta del modello adattivo $r_i(n)$:

$$r_i(n) = \sum_{m=0}^{M-1} S'_{ji,m}(n) y_j(n-m)\,; \tag{5}$$

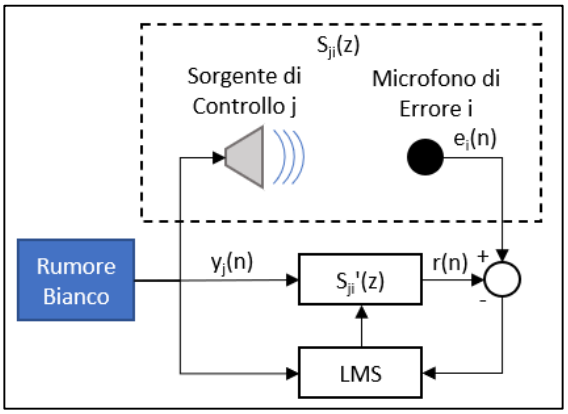
4. Si calcola l'errore di convergenza $e_i'(n) = r_i(n) - e_i(n)$;
5. Si aggiornano i coefficienti del filtro adattivo $S_{ji}'(z)$ usando l'algoritmo LMS:

$$S'_{ji,m}(n+1) = S'_{ji,m}(n) + \mu e'_i(n) y_j(n-m) \quad m = 0, 1, \dots, M-1; \tag{6}$$

6. Si ripete la procedura fino a raggiungere una buona convergenza. I coefficienti del filtro adattivo $S_{ji}'(z)$ vengono salvati e utilizzati per la procedura di controllo attivo descritta nella sezione 2.2. Dal momento che restano invarianti durante l'applicazione del controllo attivo, è importante notare che i percorsi secondari non considerano modifiche al sistema fisico, come variazioni geometriche, di temperatura e di condizioni al contorno nel caso di un ambiente confinato. Per ovviare a questo problema, è possibile ricorrere a una procedura di stima online oppure utilizzare la tecnica offline in modo periodico per aggiornare i percorsi secondari e tenere in conto delle variazioni del sistema [6].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 3. Rappresentazione schematica della procedura di stima offline**.**



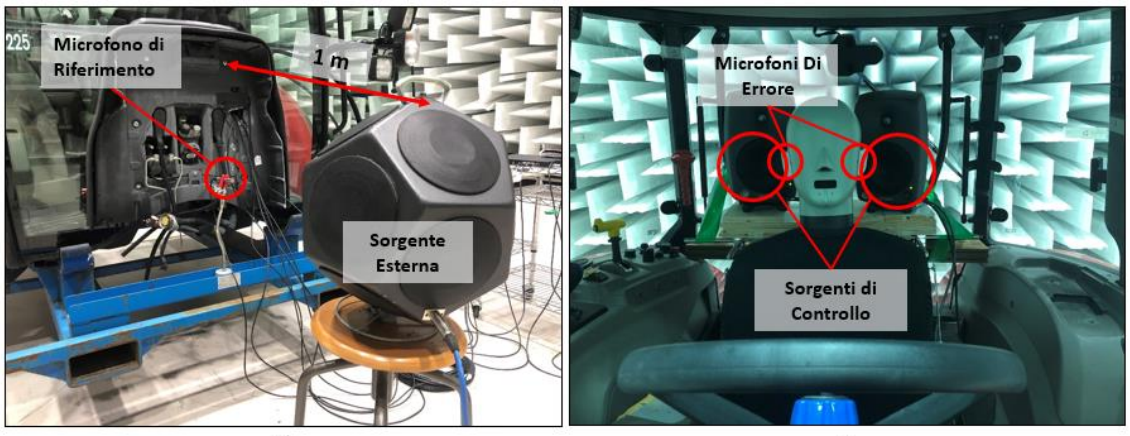
3. Prove Sperimentali

In questa sezione vengono descritte le prove sperimentali che sono state condotte in camera semi-anecoica sulla cabina di un trattore con il sistema di controllo attivo e l'algoritmo precedentemente illustrati.

3.1. Descrizione del Setup Sperimentale

Il setup sperimentale utilizzato è riportato in Figura 4. Una sorgente sonora omnidirezionale è stata posta all'esterno della cabina a circa un metro di distanza da essa per simulare il rumore prodotto dal motore del trattore; il segnale di riferimento viene misurato da un microfono posizionato esternamente davanti alla cabina. I microfoni di errore, che definiscono la zona di quiete, sono collocati all'interno delle orecchie di un manichino binaurale per test acustici, in modo da tenere in conto degli effetti di diffrazione legati alla presenza della testa. I due altoparlanti di controllo, dotati di amplificatore, sono posizionati su una mensola posteriore al sedile, all'altezza dei microfoni di errore. Tutto il sistema è guidato da un dispositivo real-time con FPGA (Field Programmable Gate Array) che campiona i segnali in ingresso e in uscita a una frequenza di 6400 Hz e processa i dati in modo deterministico mediante l'algoritmo adattivo FXLMS implementato.

Figura 4. Setup sperimentale: a) esterno alla cabina, b) interno alla cabina.



a) b)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

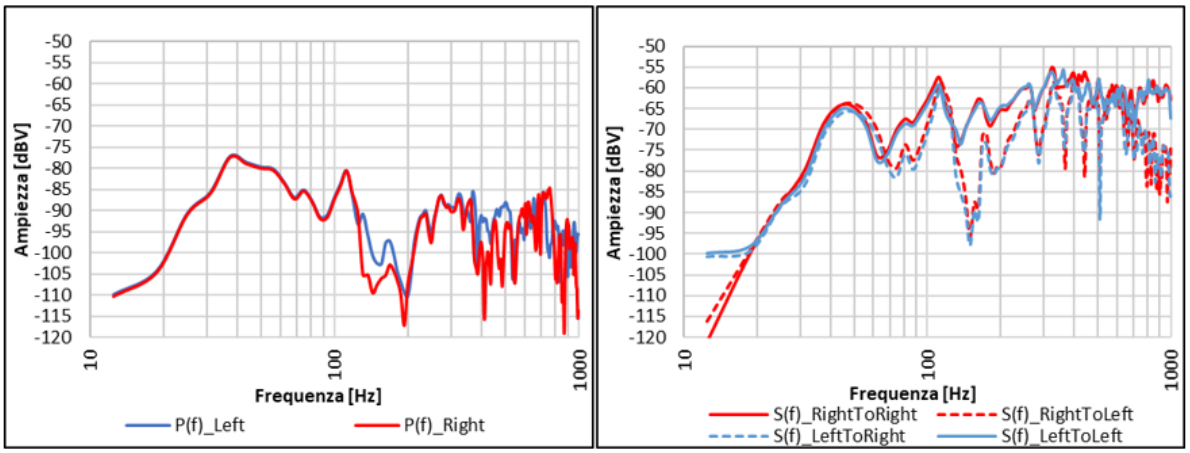
I segnali emessi dalla sorgente di disturbo sono i seguenti:

- toni puri a 100, 200, 400 e 1000 Hz;
- rumori pseudo-casuale con banda fino a 1000 Hz e periodo di 0.15 s e 0.30 s;
- rumore bianco fino a 1000 Hz;
- registrazione del motore di un trattore che viaggia a 40 km/h su strada.

3.2. Risultati della Stima Offline

In Figura 5 sono riportati i risultati della procedura di stima offline, effettuata assumendo dei filtri con 1024 elementi e uno step-size $\mu = 0.001$. Il grafico di sinistra mostra l'ampiezza dei percorsi primari P(f), che sono stati ottenuti generando rumore bianco con la sorgente primaria e rilevando il rumore con i due microfoni di errore (destro e sinistro). Sebbene queste funzioni di trasferimento non rientrino nella procedura di controllo attivo, danno un'importante indicazione sul livello sonoro presente all'interno della cabina a parità di potenza della sorgente di disturbo. In particolare, si può notare che nella banda 140 – 200 Hz è presente un minimo che comporta una riduzione del livello sonoro all'interno della cabina. Da un'analisi modale di un modello numerico della cabina del trattore è emerso che questo minimo è associato al fatto che la testa si trova in una posizione nodale per i modi a 146, 164 e 183 Hz. Come mostrato nei risultati dell'applicazione di controllo attivo, a parità di step-size, questo comporta una riduzione della velocità di convergenza per quella banda di frequenze. Il grafico di destra (Figura 5b), invece, mostra gli spettri in ampiezza dei percorsi secondari che verranno utilizzati sottoforma di risposte all'impulso nell'applicazione di controllo attivo. Dai risultati si può notare una somiglianza dei percorsi diretti (linea continua) e di quelli incrociati (linea tratteggiata), indice di una buona simmetria del problema.

Figura 5. Ampiezza dei percorsi a) primari e b) secondari stimati offline.



a) b)

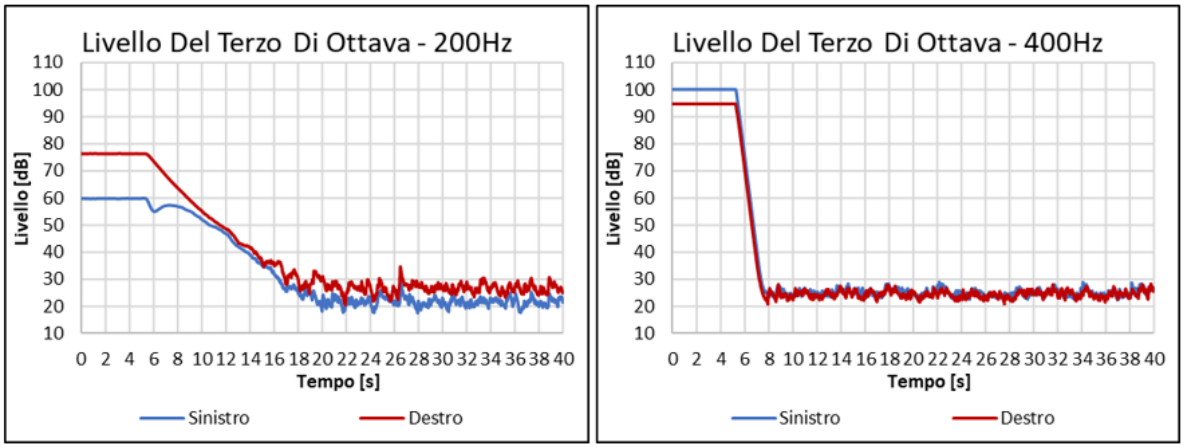
3.3. Risultati del Controllo Attivo

Una volta stimati i percorsi secondari con la tecnica offline, è stata valutata l'efficacia del sistema di controllo attivo per diversi tipi di segnale emessi dalla sorgente di disturbo. Tutti i test sono stati

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

condotti assumendo una lunghezza del filtro adattivo pari a 2048 elementi e uno step-size μ = 0.001. In Figura 6 sono riportati i risultati ottenuti per due toni puri a 200 Hz e 400 Hz. Come si può notare, a parità di potenza della sorgente, il livello iniziale a 200 Hz risulta inferiore rispetto a quello a 400 Hz. Questo si riflette sulla velocità di convergenza del sistema di controllo attivo, 4.6 dB/s per il tono a 200 Hz e 35.4 dB/s per quello a 400 Hz. I valori di attenuazione finale sono riportati in Tabella 1 per tutti i toni puri utilizzati. Ulteriori test, non riportati in questo articolo, hanno dimostrato l'efficacia del sistema di controllo attivo per toni puri con frequenze fino a un quarto della frequenza di campionamento, in questo caso 1600 Hz.

Figura 6. Risultati dei test con toni puri a) a 200 Hz e b) a 400 Hz.



a) b)

Tabella 1. Valori di riduzione finale per i test con toni puri a 100, 200, 400 e 1000 Hz.

Banda	100 Hz	100 Hz	200 Hz	200 Hz	400 Hz	400 Hz	1000 Hz	1000 Hz
Microfono	**Sinistro**	**Destro**	**Sinistro**	**Destro**	**Sinistro**	**Destro**	**Sinistro**	**Destro**
Livello Iniziale [dB]	98.9	98.3	59.7	76.3	100.1	94.7	91.1	90.1
Livello Finale [dB]	23.0	23.2	21.8	26.8	25.6	25.1	30.3	28.6
Riduzione [dB]	**76.0**	**75.1**	**37.9**	**49.6**	**74.5**	**69.6**	**60.8**	**61.5**

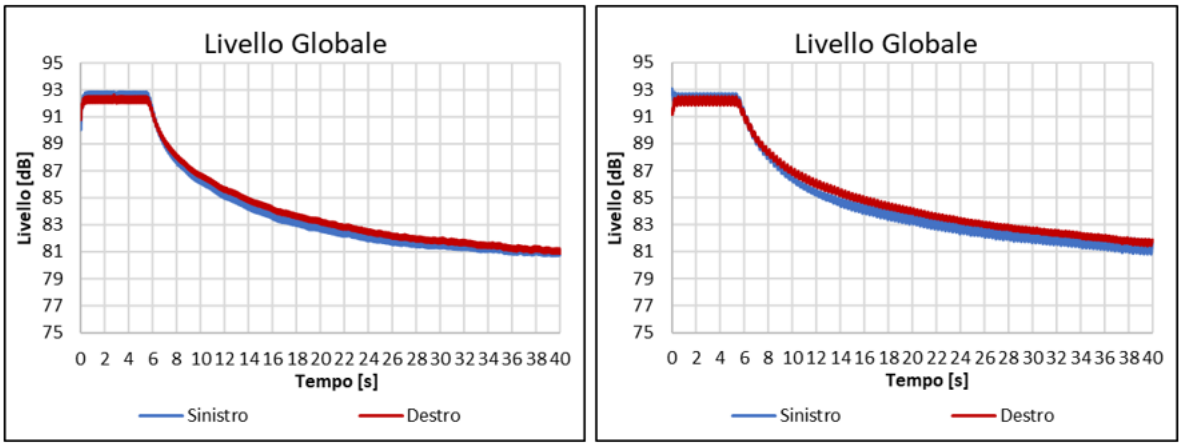
I test con segnali pseudo-casuali sono riportati in Figura 7. Questi segnali sono costituiti da un segnale a banda larga filtrato fino a 1000 Hz, ripetuto con una periodicità di 0.15 s e 0.30 s. Come si può osservare, maggiore è lunghezza del periodo, minore è la velocità di convergenza (valore iniziale di decadimento pari a 3.5 dB/s per il periodo di 0.15 s, 2.5 dB/s per quello da 0.30 s). In Tabella 2 sono riportati i valori di riduzione a 35 s dall'avvio del controllo attivo sia in decibel che in decibel con ponderazione-A.

Lo stesso test è stato condotto con un rumore bianco filtrato fino a 1000 Hz. In questo caso, come illustrato in Figura 8 e in Tabella 3, è difficile ottenere grandi livelli di riduzione a causa della complessità del segnale. Tuttavia, dall'analisi degli spettri con e senza controllo attivo è possibile concludere come questo sistema agisca in base alla forma dei percorsi primari, i quali influiscono sulla selezione dei campi in frequenza da cancellare. In questo caso, i terzi d'ottava sui quali il controllo attivo ha un

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

maggiore effetto sono quelle dei 125 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz e 1000 Hz. Il mancato effetto del sistema sulle bande inferiori ai 100 Hz è imputato alla limitazione della strumentazione utilizzata.

Figura 7. Risultati dei test con segnali pseudo-casuali con periodicità a) di 0.15 s e b) di 0.30 s.

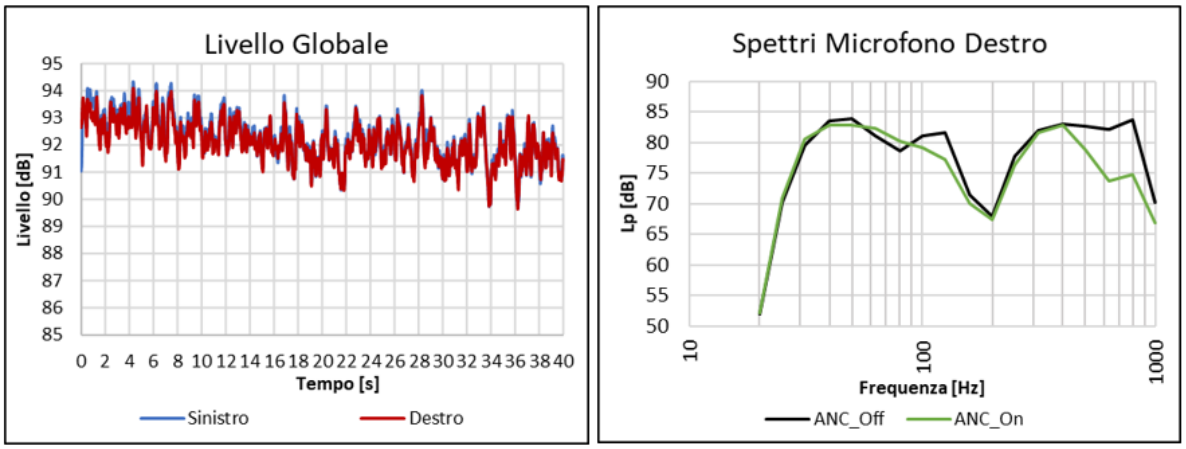


a) b)

Tabella 2. Valori di riduzione finale per i test con segnali pseudo-casuali con periodo 0.15 s e 0.30 s.

Periodo	0.15 s	0.15 s	0.30 s	0.30 s
Microfono	**Sinistro**	**Destro**	**Sinistro**	**Destro**
Livello Iniziale [dB]	92.3	92.1	92.5	92.1
Livello Finale [dB]	81.0	81.1	81.3	81.7
Riduzione [dB]	**11.3**	**11.0**	**11.2**	**10.3**
Livello Iniziale [dB(A)]	84.8	85.3	86.3	85.8
Livello Finale [dB(A)]	70.9	72.7	73.5	75.1
Riduzione [dB(A)]	**14.0**	**12.6**	**12.7**	**10.7**

Figura 8. Risultati dei test con rumore bianco: a) livello [dB] nel tempo, b) Spettro del microfono destro prima e dopo il controllo attivo.



a) b)

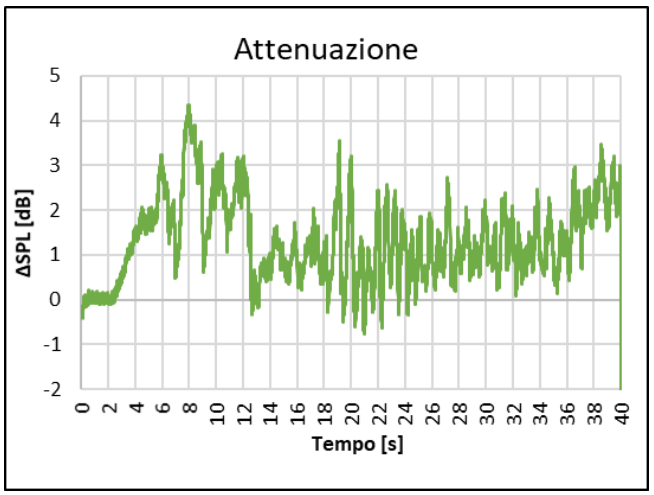
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 3. Valori di riduzione finale per i test con rumore bianco.

Microfono	Sinistro	Destro
Livello Iniziale [dB]	93.3	93.2
Livello Finale [dB]	91.7	91.7
Riduzione [dB]	**1.6**	**1.5**
Livello Iniziale [dB(A)]	87.1	87.5
Livello Finale [dB(A)]	82.7	84.4
Riduzione [dB(A)]	**4.3**	**3.0**

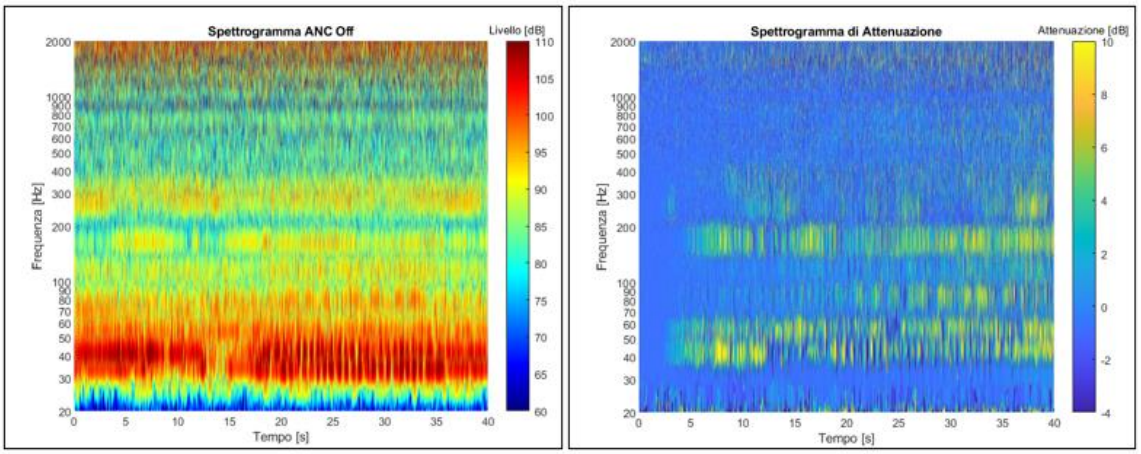
L'ultimo test riguarda il segnale di un trattore che viaggia su strada a 40 km/h, registrato con un microfono posto vicino al motore. In questo caso, trattandosi di un segnale transitorio, lo stesso segnale è stato riprodotto con e senza il controllo attivo in azione e l'attenuazione è stata valutata dalla differenza dei due segnali, come mostrato in Figura 9. A causa della transitorietà del rumore, l'attenuazione globale media è ridotta a 1.2 dB e raggiunge un valore di picco di 4.4 dB a 8 s. Questo risultato deve essere analizzato considerando sia il contenuto in frequenza del segnale, sia la forma dei percorsi primari. In Figura 10 viene riportato lo spettrogramma del segnale misurato senza controllo attivo, dove si può osservare la presenza di componenti dello spettro con forte stazionarietà a 40 Hz, 80 Hz e 160 Hz. La banda a 40 Hz, in particolare, corrisponde a un massimo all'interno dei percorsi primari ed è associata quindi a una elevata intensità sonora. La stabilità nel tempo di queste componenti e la forte intensità permettono al sistema di agire con una maggiore efficacia, come si può notare nello spettrogramma di attenuazione. Analizzando i risultati in terzi di ottava emerge che a 40 Hz, 80 Hz e 160 Hz si raggiungono dei valori di massima riduzione rispettivamente di 11.5 dB, 7.6 dB e 8.2 dB.

Figura 9. Attenuazione sul livello globale di pressione sonora relativo al segnale della registrazione del trattore.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 10. Spettrogrammi del test con segnale del trattore: a) segnale senza controllo attivo, b) attenuazione.



a) b)

4. Conclusioni

In questo articolo sono stati presentati i risultati preliminari di una sperimentazione in camera semi-anecoica di un sistema di controllo attivo multicanale per la cabina di un trattore. Dai risultati è emersa l'efficacia del sistema per segnali periodici con riduzioni anche superiori a 70 dB per componenti tonali e di oltre 10 dB(A) per segnali periodici a banda larga. Eliminata la periodicità, ma mantenendo la stazionarietà del segnale, il sistema è in grado di rimuovere fino a 3 dB(A) da un rumore bianco, mentre risulta meno efficace per segnali transitori. Nei prossimi sviluppi di questo studio si cercherà di processare il segnale di disturbo diviso per bande, a cui verrà applicato un valore di step-size differente in modo da uniformare la velocità di convergenza all'interno dello spettro.

References

1. Yoshida, T. Active noise control for tractor operator. *Japan Agricultural Research Quarterly* **1995***, 29,* 161-170.
2. Gulyas, T.; Pinte, G.; Augusztinovicz, F.; Desmet, W.; Sas, P. Active noise control in agricultural machines. *Proceedings of the ISMA 2002*, Leuven, Belgium, September 2002.
3. Pochi, D.; Fanigliulo, R. et al. First investigation on the applicability of an active noise control system on a tracked tractor without cab. *Journal of Agricultural Engineering* **2013***, XLIV(s2):e152,* 757-760.
4. Kuo, S.M.; Morgan, D.R.; Active noise control: a tutorial review. *Proceedings of the IEEE*, 1999, 87, (943-973), doi: 10.1109/5.763310.
5. Kuo, S.M.; Panahi, I.; Chung, K.M.; Horner, T.; Nadeski, M.; Chyan, J. Design of active noise control systems with the TMS320 Family. Texas Instruments, 1996.
6. Akthar, M.T.; Abe, M.; Kawamanta M. A method for online secondary path modeling in active noise control systems. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems,* 2005, 1, (264-267), doi: 10.1109/ISCAS.2005.1464575.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Stato dell'Arte del Controllo Attivo del Rumore applicato ai Mezzi di Trasporto

Francesco Mori [1,*], Paolo Bonfiglio [2], Patrizio Fausti [1], Francesco Pompoli [1] e Andrea Santoni [1]

[1] Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara, Via Saragat 1, 44100 Ferrara, Italia

[2] Materiacustica s.r.l., Via C. Ravera 15/A, 44122 Ferrara, Italia

* Autore di riferimento. E-Mail: francesco.mori@unife.it

Abstract: La riduzione del rumore all'interno del vano di un veicolo è diventato un obiettivo di grande rilevanza negli ultimi decenni, non solo per garantire il comfort delle persone che guidano un'auto e dei passeggeri, ma anche per preservare la salute dei lavoratori esposti al rumore ad alti livelli e per lungo tempo. Le tecniche passive tradizionali consentono di attenuare il rumore nel campo delle medio-alte frequenze, mentre risultano inefficaci a bassa frequenza, dove una valida alternativa è rappresentata dal controllo attivo del rumore. Questa soluzione in genere è fornita da un sistema di altoparlanti di controllo che generano un segnale con fase opposta rispetto al disturbo presente, dopo che i segnali rilevati da un sistema di sensori (come microfoni, accelerometri e tachimetri) sono stati processati mediante un algoritmo adattivo. In questo articolo viene presentata una rassegna dello stato dell'arte del controllo attivo del rumore applicato ai mezzi di trasporto. Vengono illustrate le tecniche per la cancellazione attiva del rumore dovuto alle sorgenti che contribuiscono al disturbo a bassa frequenza presente all'interno dell'abitacolo, come ad esempio lo scarico, l'aspirazione e gli ordini motore. Viene riportato inoltre il caso particolare di cancellazione del rumore strutturale irradiato dalle pareti della cavità mediante un sistema di attuatori che cancella le vibrazioni. Successivamente vengono riportati casi studio per problemi più specifici relativi alla salute dei lavoratori, come l'attenuazione del suono della sirena all'interno di un'ambulanza e la riduzione del rumore all'interno di macchine operatrici e macchine agricole.

Keywords: Controllo attivo del rumore; Automotive; Signal processing.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

Negli ultimi decenni si è assistito a una richiesta commerciale di veicoli più silenziosi che ha incoraggiato lo sviluppo di nuove soluzioni per l'attenuazione del rumore. Lo scopo prefissato è quello di ottenere una riduzione del rumore all'interno del vano di un veicolo, non solo per garantire il comfort delle persone che guidano un'auto e dei passeggeri, ma anche per preservare la salute dei lavoratori esposti al rumore ad alti livelli e per lungo tempo. Le tecniche passive tradizionali consentono di attenuare il rumore nel campo delle medio-alte frequenze, mentre risultano inefficaci a bassa frequenza, dove una valida alternativa alle soluzioni tradizionali è rappresentata dal controllo attivo del rumore (ANC).

Questa tecnica consiste in un dispositivo elettroacustico che elimina un suono indesiderato per sovrapposizione degli effetti con un segnale "anti-rumore" generato con uguale ampiezza e fase opposta rispetto al rumore presente. Il sistema di controllo in genere è composto da una serie di altoparlanti guidati da un algoritmo adattivo, in grado di cogliere le variazioni del disturbo, che processa alcuni segnali misurati da un sistema di sensori (come microfoni e accelerometri). La cancellazione attiva consente di raggiungere grandi riduzioni di rumore in particolare alle basse frequenze (inferiori a 600 Hz), dove è necessaria una bassa frequenza di campionamento che permette il processamento del segnale in tempo reale. Inoltre, questa attenuazione avviene in una regione di spazio chiamata "zona di quiete" che in genere ha dimensione di un decimo della lunghezza d'onda. Per questo motivo il sistema è efficiente alle basse frequenze.

Per alcuni tipi di problemi l'obiettivo non riguarda la semplice minimizzazione del rumore, ma la modellazione del segnale misurato verso un determinato target, eliminando le componenti sonore indesiderate ed enfatizzandone altre. In questo caso si parla di controllo attivo della qualità sonora (ASQC) o equalizzazione del rumore (ANE) e consente di migliorare la percezione del suono all'interno di un ambiente [1]. In questo articolo viene presentata una rassegna dello stato dell'arte del controllo attivo del rumore applicato ai mezzi di trasporto. Nella sezione 2 vengono descritti i principi base dei sistemi di controllo attivo e le principali tipologie che vengono utilizzate. Nella sezione 3 vengono illustrate le tecniche per la cancellazione attiva del rumore dovuto alle sorgenti che contribuiscono al disturbo a bassa frequenza presente all'interno dell'abitacolo, come ad esempio lo scarico, l'aspirazione e gli ordini motore. Viene riportato inoltre il caso particolare di cancellazione del rumore strutturale irradiato dalle pareti della cavità mediante un sistema di attuatori che cancella le vibrazioni. Infine, nella sezione 4 vengono riportati casi studio per problemi più specifici relativi alla salute dei lavoratori, come l'attenuazione del suono della sirena all'interno di un'ambulanza e la riduzione del rumore all'interno di macchine operatrici e macchine agricole.

2. Tipologie di Sistemi di Controllo Attivo

I sistemi di controllo attivo del rumore possono essere sviluppati come una delle seguenti tipologie:

- Controllo feedforward, in cui viene rilevato un segnale di riferimento coerente con la sorgente di disturbo, prima che raggiunga l'altoparlante di controllo;

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- Controllo feedback, in cui il sistema di controllo non utilizza un input di riferimento per la cancellazione, ma lo modella internamente.

Considerando a scopo illustrativo il caso di un condotto, un sistema feedforward funziona come rappresentato in Figura 1:

- Un sensore di input, in genere un microfono, vicino alla sorgente di rumore misura un segnale di riferimento, prima che raggiunga l'altoparlante di cancellazione.
- L'altoparlante di controllo utilizza questo input per generare un segnale di uguale ampiezza ma sfasato di 180°, che attenua il rumore primario nella posizione del microfono di errore.
- Il ritardo nella propagazione tra il sensore di riferimento e la sorgente di controllo attiva deve essere tale da permettere di elaborare il segnale con l'algoritmo adattivo e di reintrodurre elettricamente l'anti-rumore nella zona di quiete.
- Il microfono di errore, che identifica la posizione della zona di quiete, misura il segnale residuo che viene utilizzato per aggiornare i coefficienti del filtro adattivo per ridurre al minimo l'errore stesso.

In alcuni casi, il sensore di riferimento può essere rappresentato da un sensore non acustico, come un tachimetro, un accelerometro o un sensore ottico. Il vantaggio è quello di migliorare la stabilità del sistema eliminando la possibilità che il segnale di controllo si propaghi verso la sorgente di disturbo, alterando il segnale di riferimento.

Figura 1. Rappresentazione schematica di un sistema feedforward [2].

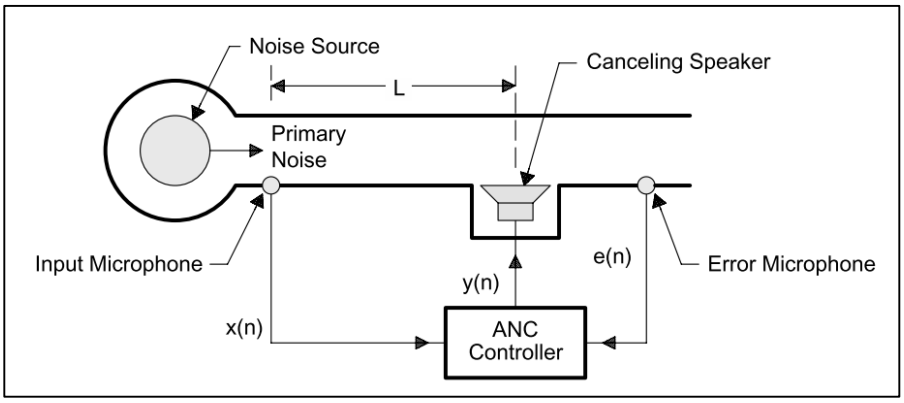
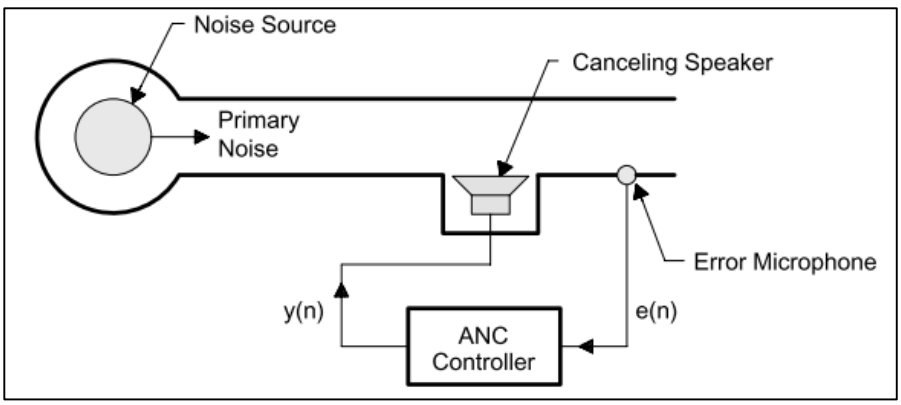


Figura 2. Rappresentazione schematica di un sistema feedback [2].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Al contrario, il sistema feedback ANC (Figura 2) utilizza solo un sensore di errore e una sorgente secondaria, senza un sensore di riferimento "a monte" come nei casi feedforward. Questo sistema diventa efficace quando non è possibile garantire la coerenza tra il segnale di riferimento e il segnale di errore nel sistema feedforward, per cui significa che la misura del segnale di riferimento sarebbe priva di senso. La modellazione interna consente di ricostruire un segnale di riferimento, ma in questo modo l'efficacia del sistema si riduce a problemi in cui il disturbo sia prevedibile.

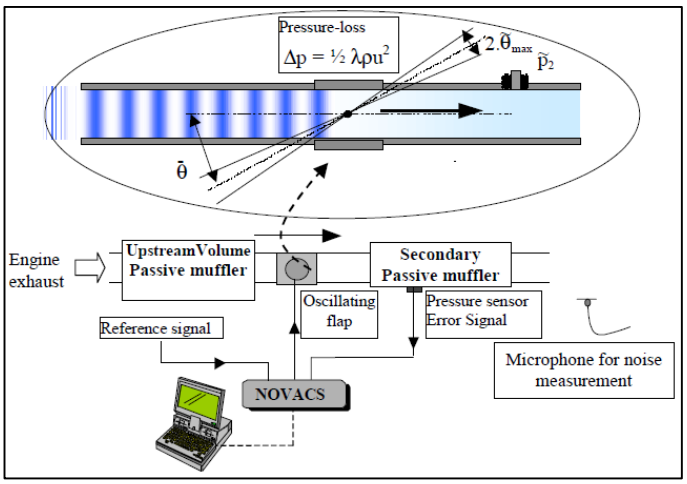
3. Applicazioni del Controllo Attivo del Rumore all'Interno dell'Abitacolo di un'Automobile

I sistemi precedentemente citati sono stati studiati negli ultimi decenni per essere applicati ai veicoli, con lo scopo di rendere più confortevoli i viaggi sulle automobili, dal momento che un interesse nel ridurre i consumi di carburante ha portato a realizzare veicoli più leggeri e di conseguenza più rumorosi. Nei seguenti paragrafi vengono riportati alcuni esempi di casi studio trovati in letteratura sull'applicazione del controllo attivo per la riduzione del rumore all'interno delle automobili. Le applicazioni sono state divise in base alla tipologia di sorgente sonora che si vuole cancellare.

3.1. Controllo Attivo dello Scarico

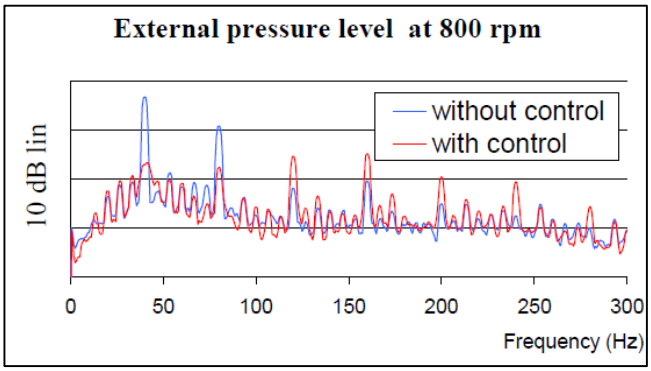
Il rumore emesso dallo scarico è una delle principali sorgenti di rumore emesso dalle automobili, che contribuiscono all'inquinamento acustico. Le soluzioni tradizionali prevedono l'impiego di silenziatori con materiali e geometrie che consentono di assorbire il rumore emesso, ma in generale funzionano in modo efficace nel campo delle alte frequenze. Integrando queste soluzioni con una tecnica di controllo attivo, è possibile intervenire anche alle basse frequenze, dove il motore ha una maggiore emissione sonora. Per questo tipo di problema, la presenza di temperature elevate e di gas corrosivi impone l'utilizzo di dispositivi elettromeccanici, piuttosto che di altoparlanti di controllo.

Figura 3. Sistema di controllo attivo del rumore con valvola [3].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

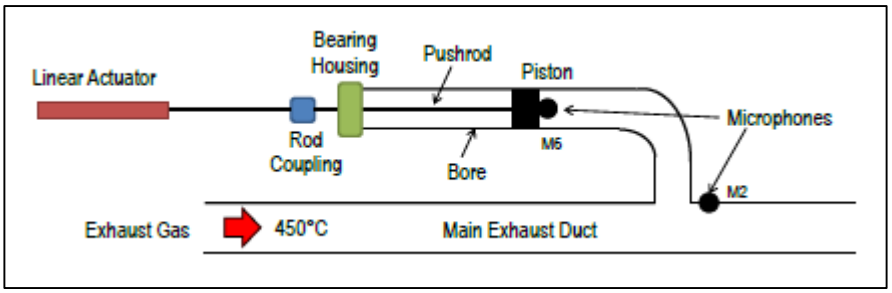
Figura 4. Analisi dello spettro con e senza controllo attivo del sistema con valvola [3].



Nel 2002 Fohr e altri hanno presentato un sistema feedforward di controllo attivo del rumore per lo scarico di un motore diesel a 6 cilindri, 11 litri, 382 HP [3]. Il dispositivo di controllo (Figura 3) è dotato di una valvola posizionata alla fine dello scarico che, oscillando, genera delle variazioni di pressione e consente di ridurre le fluttuazioni nel flusso di gas. I segnali di riferimento e di errore sono forniti da due sensori di pressione posizionati sulla linea di scarico prima e dopo la valvola. L'efficacia di questa soluzione è mostrata in Figura 4, limitata fino a 300 Hz a causa della rigidezza dell'ala, dove si osserva la possibilità di raggiungere 20 dB di riduzione sulla frequenza fondamentale e sulle prime armoniche.

Nel 2012 Craig e altri hanno sviluppato un tubo adattivo a quarto d'onda (Figura 5) per un motore diesel a 8 cilindri, 16 litri, 563 HP [4]. Il tubo fa parte di un sistema feedforward, in cui un pistone sul fondo del tubo viene mosso da un attuatore, dopo che l'unità di controllo ha processato i segnali di un tachimetro collegato al motore e di un microfono di errore posto a valle. Il sistema consente di avere riduzioni di oltre 20 dB lavorando sulle armoniche dispari della frequenza fondamentale del motore.

Figura 5. Sistema di controllo attivo del rumore con tubo a quarto d'onda [4].



3.2. Controllo Attivo dell'Aspirazione

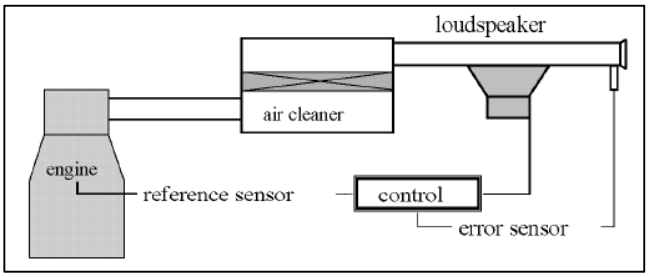
Il sistema di aspirazione dell'aria è una delle principali sorgenti di rumore all'interno di un veicolo e produce una componente sonora che si propaga per via strutturale, dovuta alle vibrazioni generate dal motore, e una, invece, aerea.

Nel 2000 Pricken ha proposto un sistema di controllo attivo in cui un altoparlante nel condotto dell'aria sporca produce un segnale in controfase dopo che il controllore ha processato il segnale di riferimento, calcolato partendo dal numero di giri del motore misurato con un tachimetro, e il segnale di errore catturato con un microfono all'uscita del condotto [5]. I risultati ottenuti su un motore a 4

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

cilindri 1.8 litri riportano una riduzione di 6-10 dB in un campo di velocità del motore superiore a 1500 rpm, per un campo in frequenza tra 50 e 450 Hz, dove sono presenti i primi otto ordini motore. Gli ordini motore non dominanti vengono smorzati al livello di rumore residuo.

Figura 6. Sistema di controllo attivo del rumore proposto da Pricken [5].



In un problema analogo, Jeong e altri nel 2002 hanno introdotto un altoparlante di controllo per ridurre il rumore di aspirazione di un motore diesel a 4 cilindri, 1.5 litri (Figura 7) [6]. Il sistema è di tipo feedforward e possiede un microfono di riferimento all'entrata del condotto e uno di errore all'uscita. L'algoritmo utilizzato è FXLMS con step-size normalizzato (FXNLMS) alla potenza del segnale di riferimento. Considerando il campo di applicazione fino a 500 Hz, dove sono presenti i primi ordini motore, per un caso stazionario la componente più rumorosa viene attenuata di 20 dB, mentre per un caso transitorio, come mostrato in Figura 8, l'attenuazione massima si riduce a 10 dB.

Figura 7. Sistema di controllo attivo del rumore proposto da Jeong [6].

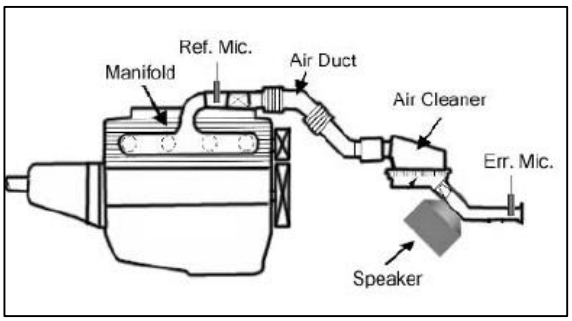
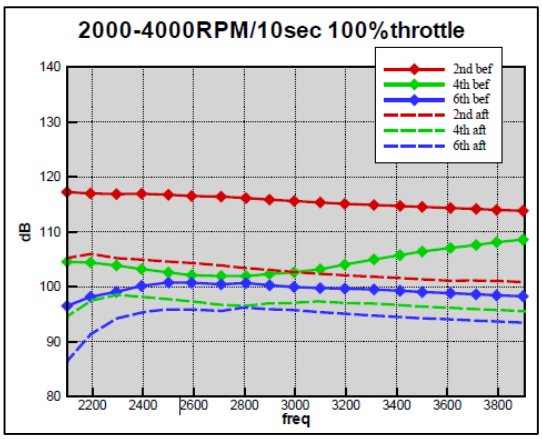


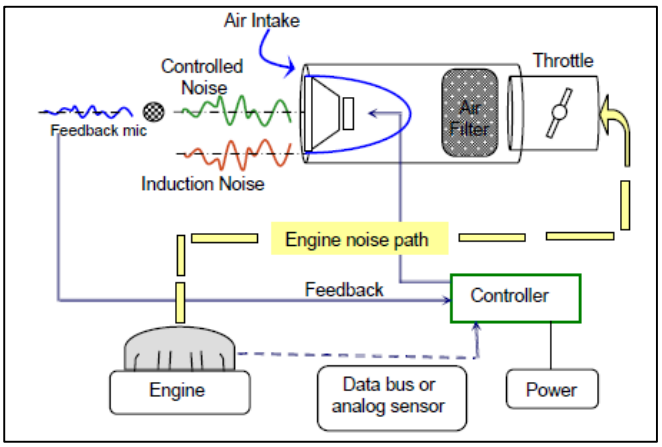
Figura 8. Ordini motore con e senza controllo attivo durante un'accelerazione di 200 rpm/s [6].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Nel 2005 Vaishya ha proposto un sistema in cui il segnale di riferimento è fornito da un tachimetro collegato al motore, mentre un microfono di errore posto vicino alla sorgente di controllo fornisce il feedback al controllore [7]. Questo sistema feedforward consente di controllare le armoniche della sorgente primaria fino a 800 Hz, con risultati di 30 dB di attenuazione sulla componente associata al terzo ordine motore alla posizione del microfono di errore, ridotta a 10 dB all'interno del vano del veicolo.

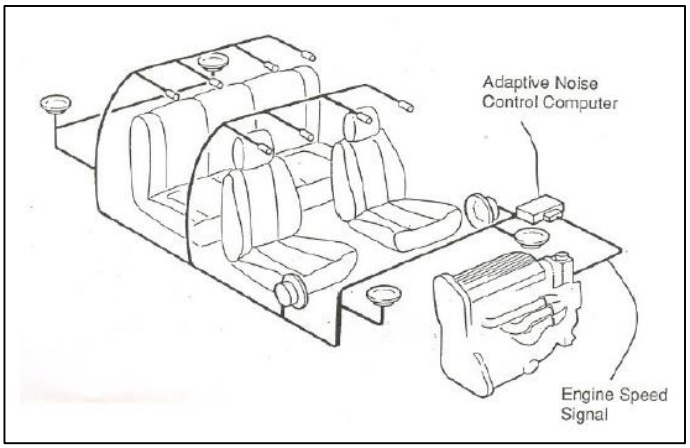
Figura 9. Sistema di controllo attivo del rumore proposto da Vaishya [7].



3.3. Controllo Attivo degli Ordini Motore

Gli ordini del motore consistono in una serie di componenti tonali a bassa frequenza che determinano fortemente la qualità sonora del veicolo; la corretta distanza tra questi ordini e la loro regolare progressione in ampiezza durante una accelerazione consentono di ottenere una qualità del suono del veicolo elevata; alcune di queste componenti possono dare origine a fenomeni indesiderati come il "booming", quando un ordine motore si sincronizza su una frequenza modale dell'abitacolo amplificando il livello di pressione sonora, pertanto risulta molto utile realizzare un sistema di controllo attivo che possa regolare l'ampiezza dell'armonica al variare della velocità di rotazione.

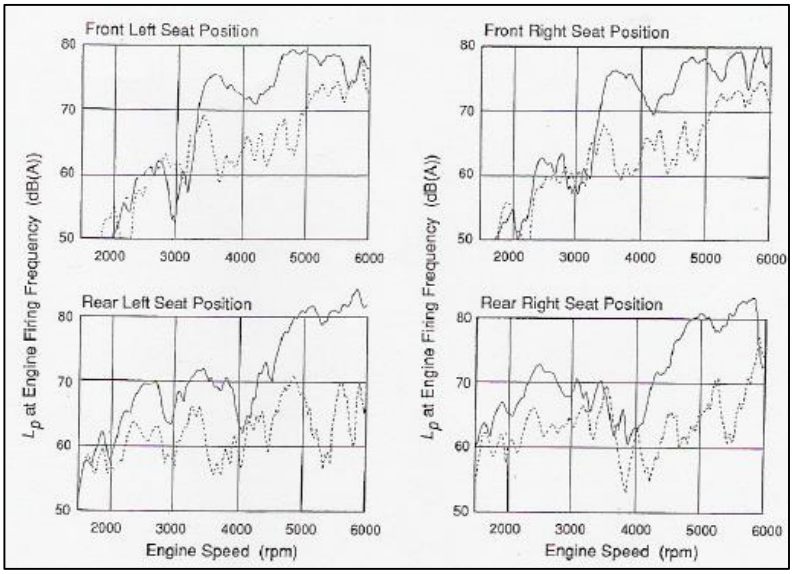
Figura 10. Sistema ANC proposto da Elliott [8].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

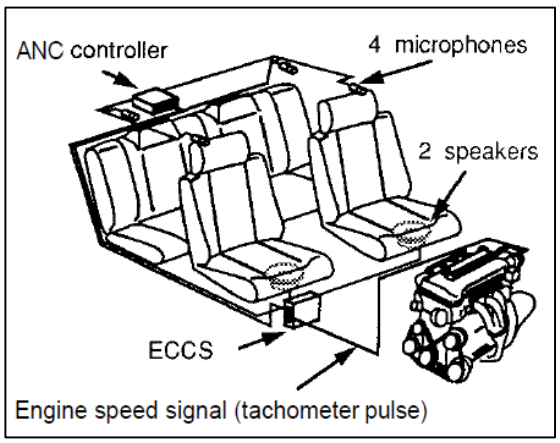
Il primo sistema di controllo attivo per l'automotive risale al 1988 quando Elliott e altri hanno sviluppato un sistema feedforward (Figura 10) in collaborazione con Lotus per l'attenuazione del rumore armonico generato dal motore a bassa frequenza [8]. Il sistema utilizza quattro altoparlanti posti nelle portiere e nel cruscotto per cancellare il disturbo in otto microfoni disposti a coppie in prossimità della posizione delle teste. Come mostrato in Figura 11, durante una fase di accelerazione dell'automobile sono stati rilevati circa 10 dB di riduzione per il secondo ordine motore sopra i 3000 rpm sui sedili anteriori, corrispondenti a un miglioramento di circa 4-5 dB(A) sul livello globale.

Figura 11. Livello in dB(A) del secondo ordine motore per ogni sedile con e senza sistema ANC [8].



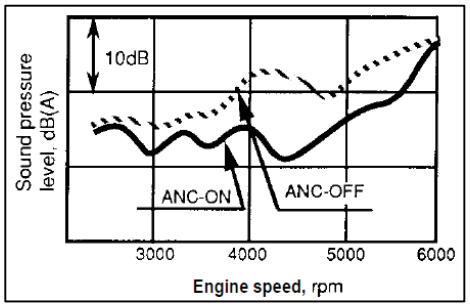
Nel 1992 Nissan ha realizzato la prima produzione del sistema ANC applicato a un veicolo [9]. L'algoritmo utilizzato è il classico FXLMS in un sistema multicanale con microfoni di errore posizionati a livello dei poggiatesta e due altoparlanti con amplificatore indipendenti dal sistema audio dell'auto. Il segnale di riferimento viene misurato direttamente dalla velocità del motore, in quanto l'obiettivo era cancellare il disturbo di booming sincrono al numero di giri del motore. Il risultato rilevato durante la fase di accelerazione è riportato in Figura 13.

Figura 12. Sistema ANC proposto da Hasegawa [9].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

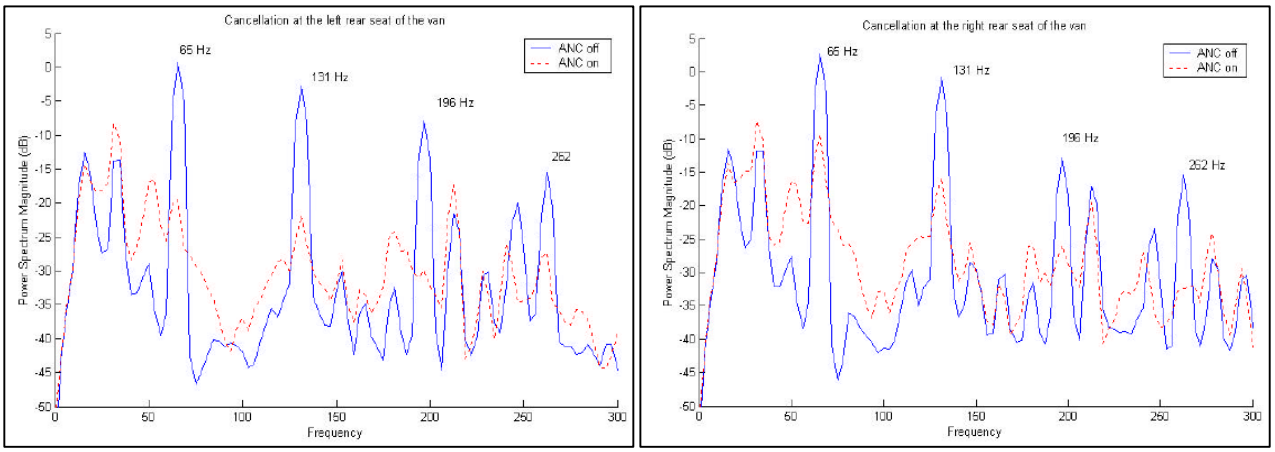
Figura 13. Livello di pressione alla posizione del guidatore per il secondo ordine motore [9].



Nel 2002 Ramos ha implementato su un piccolo Van (Figura 14) un sistema ANC multicanale 1x2x2 [10], composto da un sensore di riferimento, due microfoni di errore sui sedili posteriori e due altoparlanti. L'algoritmo utilizzato è leaky-FXLMS, una variante del classico FXLMS in cui si fornisce stabilità all'algoritmo introducendo un fattore di leakage nell'aggiornamento dei coefficienti adattivi per evitare una loro divergenza. A questo è stata aggiunta una modellazione del rumore residuo, introducendo un filtro in modo che il sistema agisca solo sulle bande in frequenza desiderate, in questo caso per attenuare le armoniche più importanti della frequenza di scoppio tra 40 e 400 Hz, mentre il motore si trova in condizioni stazionarie, evitando le armoniche poco udibili. I risultati mostrano una riduzione fino a 15 e 20 dB sulle principali armoniche prodotte dal motore (Figura 15).

Figura 14. Setup sperimentale usato da Ramos [10].

Figura 15. Analisi degli spettri sui sedili posteriori con controllo attivo acceso e spento [10].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Nel 2018 Lee e altri hanno sviluppato un codice che consente una convergenza più veloce durante l'adattamento alle variazioni in frequenza del motore [11]. In particolare, dal numero di giri del motore rilevati con un sensore è possibile determinare la lunghezza ottimale del filtro utilizzato nell'algoritmo FXLMS che riceve un input da quattro microfoni disposti sul soffitto e guida cinque sorgenti di controllo posizionate all'interno dell'abitacolo. Con questa ottimizzazione sono stati ottenuti 25 dB di attenuazione nel vano del veicolo, associata alla componente del secondo ordine motore (Figura 17), durante una fase di accelerazione di 1850 rpm/s.

Figura 16. Setup sperimentale usato da Lee [11].

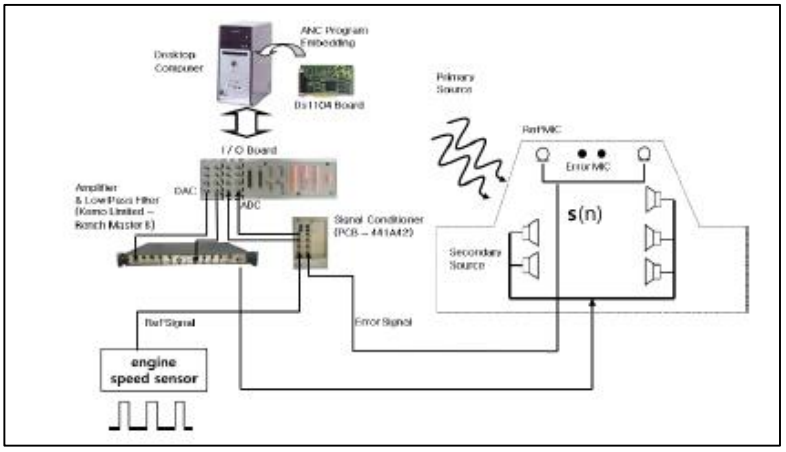
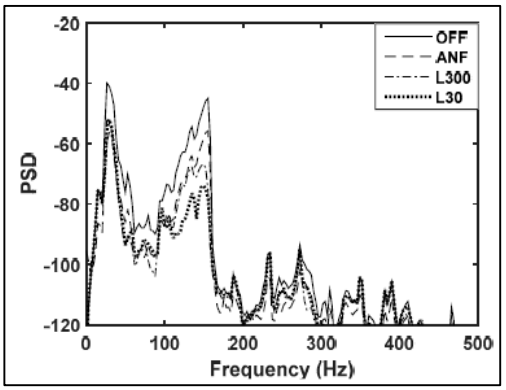


Figura 17. Densità spettrale di potenza alla posizione del guidatore senza controllo attivo (linea continua) e con controllo attivo e algoritmo ottimizzato (linea puntinata) [11].



3.4. Controllo Attivo del Rumore da Strada (Road Noise)

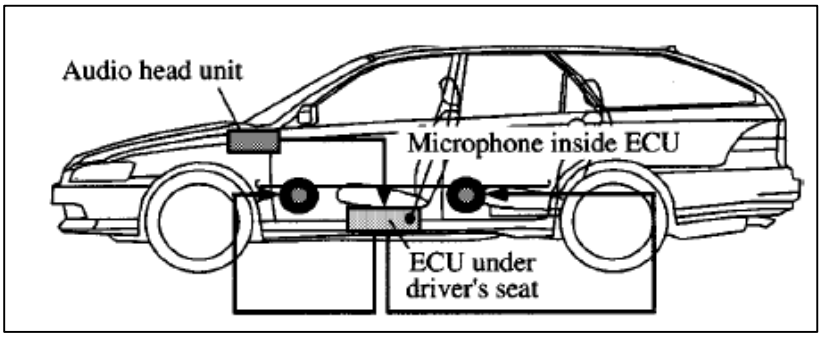
Il rumore da strada, a differenza delle sorgenti precedentemente citate, rappresenta un contributo a banda larga all'interno dell'abitacolo del veicolo.

Nel 2001 Sano ha integrato il sistema di controllo attivo con l'impianto audio del veicolo per la cancellazione del rumore da strada (Figura 18) [12]. Il sistema utilizzato è di tipo feedback e permette di eliminare 10 dB di disturbo sui sedili anteriori mediante gli altoparlanti di controllo presenti nelle portiere anteriori. Dal momento che l'obiettivo è un fenomeno di "drumming" a bassa frequenza (40 Hz), si può assumere che il campo sia uniforme in direzione verticale e per questo motivo il microfono

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

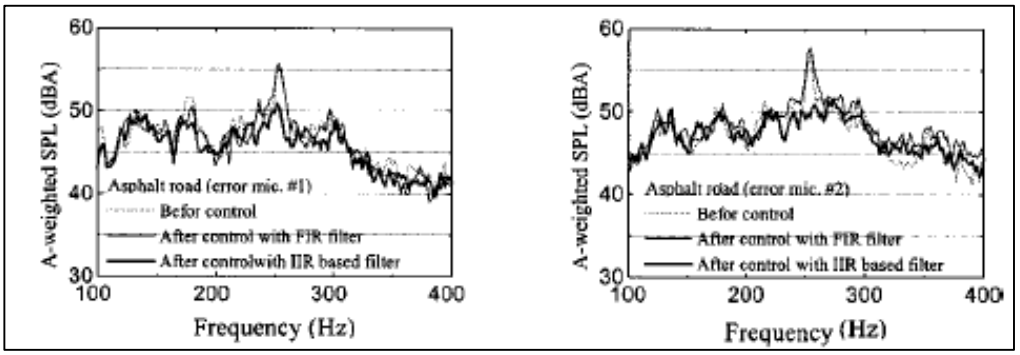
di errore è stato posizionato sotto il sedile. Un algoritmo feedforward con segnale di riferimento preso dallo stesso microfono di errore e le casse di controllo presenti nelle portiere posteriori consentono di evitare amplificazioni sui sedili posteriori.

Figura 18. Sistema ANC utilizzato da Sano [12].



Nel 2002 Oh ha proposto un sistema feedforward per la riduzione del fenomeno di booming generato dal rumore da strada, con quattro accelerometri sulle sospensioni per catturare il segnale di riferimento e due altoparlanti per cancellare il rumore ai microfoni di errore posti sui sedili anteriori [13]. L'algoritmo utilizzato è una variazione di FXLMS con implementazione di filtri IIR per migliorare la velocità e fattore di leakage per migliorare la stabilità. I test con veicolo in marcia a 60 km/h (Figura 19) hanno mostrato una riduzione di 6 dB(A) dovuto all'attenuazione di un fenomeno di booming presente a 250 Hz.

Figura 19. Analisi degli spettri di un veicolo a 60 km/h su una strada asfaltata [13].



Nel 2015 Zafeiropoulos ha sviluppato un sistema per la riduzione del rumore da strada che si propaga per via strutturale all'interno del vano di un veicolo [14]. Il setup è illustrato in Figura 20 ed è costituito da quattro microfoni di errore posizionati in prossimità dei poggiatesta, tre altoparlanti di controllo nelle due portiere anteriori e in quella posteriore sinistra, un subwoofer dietro i poggiatesta nella parte posteriore dell'auto e un accelerometro per catturare il segnale di riferimento posizionato di volta in volta su una sospensione. Questo sistema feedforward in configurazione MIMO implementa un algoritmo FXLMS nel dominio della frequenza e permette di raggiungere livelli di riduzione medi di 4 dB(A) quando vengono sollecitate le ruote anteriori, 5.6 dB(A) quando si sollecitano quelle posteriori

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

e 2 dB(A) quando vengono eccitate tutte contemporaneamente. In Figura 21 viene riportato a titolo di esempio lo spettro medio calcolato nel caso di sollecitazione delle quattro ruote, dove il sistema mostra la sua efficacia nel range 100-120 Hz, mentre non ha effetto intorno ai 200 Hz dove è presente una componente associata alla risonanza della cavità degli pneumatici. Per altre posizioni dell'accelerometro di riferimento, a parità di sollecitazione, il sistema è in grado di contrastare anche questo picco.

Figura 20. Esempio di setup utilizzato da Zafeiropoulos [14].

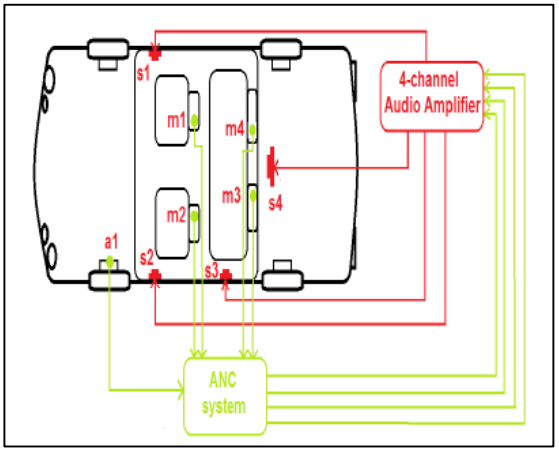
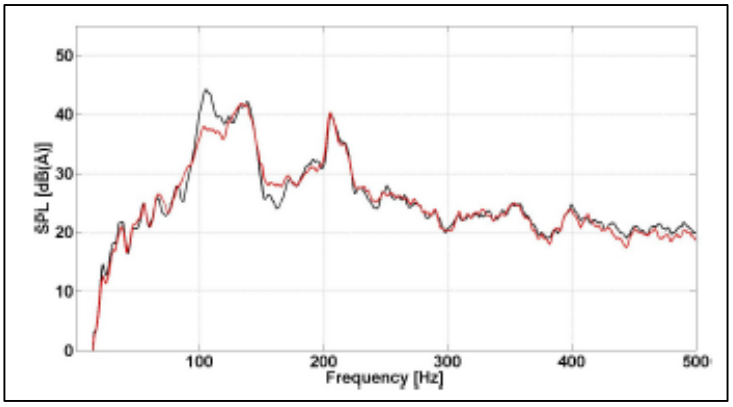


Figura 21. Esempio di setup utilizzato da Zafeiropoulos [14].

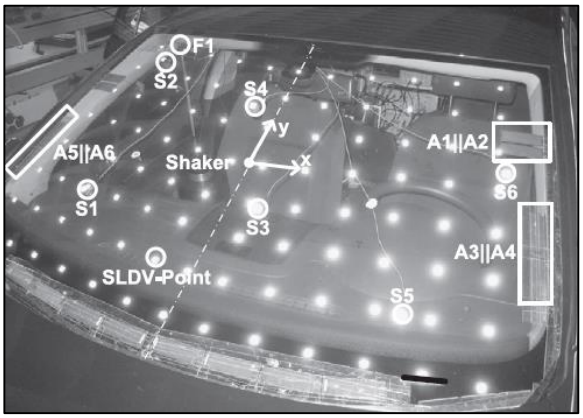


3.5. Controllo Attivo delle Pareti della Cavità

Misol nel 2012 ha proposto un sistema di controllo attivo dell'acustica strutturale (ASAC) per il parabrezza di un'automobile [15]. Il vetro, mostrato in Figura 22, è dotato di un sistema che può essere implementato come feedback o feedforward in cui, con tre coppie di attuatori piezoelettrici disposti ai lati del parabrezza e rilevando le vibrazioni con un set di sei accelerometri, è possibile cancellare la vibrazione indotta da uno shaker posto sul rinforzo anteriore del tetto, che sollecita in particolare i modi strutturali a 116 Hz e 145 Hz. Per il caso feedforward il segnale di riferimento è ottenuto da un trasduttore di forza posto vicino alla sorgente. La prestazione misurata con un microfono in diverse posizioni all'interno dell'abitacolo mostra una riduzione fino a 15 dB del livello di pressione sonora indotto dalle vibrazioni.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 22. Disposizione di attuatori e sensori usati da Misol [15].



4. Controllo Attivo per la Tutela della Salute dei Lavoratori

Alcuni lavoratori sono esposti ad alti livelli di rumore per lungo tempo all'interno della giornata lavorativa, per questo motivo negli ultimi decenni si sono cercate delle soluzioni per preservare il comfort e la salute di queste persone. La tecnologia del controllo attivo del rumore si è mostrata una valida alternativa rispetto alle soluzioni passive per ridurre il disturbo a bassa frequenza a cui sono espostiti questi operatori. Di seguito sono riportati alcuni esempi di applicazione dei sistemi di controllo attivo suddivise per tipologia di mezzo di trasporto.

4.1. Controllo Attivo sulle Ambulanze

Il suono della sirena di un'ambulanza è un sistema efficace per avvisare guidatori e persone dell'arrivo di un mezzo di soccorso, ma risulta fastidioso per le persone presenti all'interno dell'abitacolo e per i pazienti trasportati, poiché il livello di pressione sonora generato dalla sirena può superare anche la soglia di 80 dB all'orecchio del ricevitore.

Shimada e altri hanno proposto un sistema di controllo attivo applicato a delle cuffie con un algoritmo adattivo specializzato per l'attenuazione di rumori armonici, chiamato Delayed-X Harmonics Synthesizer (DXHS) [16]. Dal momento che non necessita di un segnale di riferimento, è un algoritmo robusto che richiede solo l'informazione della frequenza fondamentale del suono e del segnale di errore. La frequenza fondamentale viene identificata con una tecnica online, sviluppata per determinare anche le sue variazioni. Il livello di attenuazione raggiunto con questo sistema è di 20.9 dB.

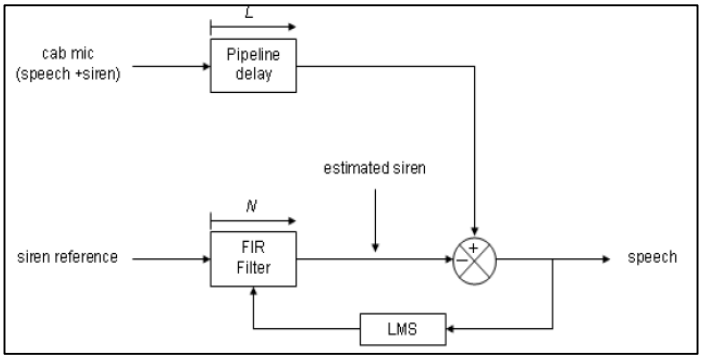
La sirena rende anche difficili le comunicazioni via radio tra l'operatore sul veicolo e la centrale di controllo. Per questo motivo Sherrat ha sviluppato un sistema di digital signal processing (DSP) per ridurre il disturbo generato dalla sirena trasmesso via radio [17]. Una volta catturato il segnale di riferimento direttamente dall'output della sirena, l'algoritmo implementato utilizza il tipico LMS, ma con step-size normalizzato alla potenza del segnale di riferimento (NLMS), per stimare il suono della sirena rilevato dal microfono della radio e per poter pulire la comunicazione da tale disturbo.

Per cancellare il suono della sirena all'interno del vano dell'ambulanza Campos e altri hanno introdotto un sistema con un microfono di errore e segnale di riferimento rilevato direttamente dalla sirena e opportunamente filtrato per selezionare l'input che si vuole cancellare (Figura 23) [18].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

L'algoritmo LMS consente di determinare l'antirumore da generare e permette di raggiungere un'attenuazione media di 10.5 dB, con valori di massima prestazione di 50 dB.

Figura 23. Schema proposto da Campos per la cancellazione del suono della sirena [18].



4.2. Controllo Attivo sulle Macchine Operatrici

Il disturbo interno alla cabina di una macchina operatrice è molto variabile in base allo scopo per cui è stata progettata la macchina. In generale, all'interno delle macchine operatrici il guidatore ha bisogno di una buona visibilità in tutte le direzioni, per questo motivo per mantenere un'elevata percentuale di superfici trasparenti non è possibile ricorrere a soluzioni passive.

Andrén e altri hanno sviluppato un sistema di controllo attivo per un carrello elevatore (Figura 24) [19]. Il campo acustico all'interno della cabina è diffuso a causa delle numerose riflessioni dentro lo spazio chiuso, con la presenza di onde stazionarie a certe frequenze associate ai modi di cavità. Dopo aver constatato che il disturbo presente si propaga principalmente per via aerea, gli esperimenti condotti da Andrén sono stati effettuati sulla sola cabina del carrello elevatore. La sorgente primaria utilizzata è un altoparlante posizionato dietro la cabina che emette un rumore di motore registrato. Il sistema di controllo attivo è composto da due altoparlanti di controllo posti dietro la testa dell'operatore e da quattro microfoni di errore allocati alla posizione della testa. Il segnale di riferimento utilizzato è un'onda sinusoidale corrispondente al terzo ordine del motore, ottenuta grazie a un tachimetro collegato al motore. Con questo sistema il rumore viene ridotto di circa 10 dB per diverse velocità del motore.

Figura 24. Setup sperimentale utilizzato da Andrén [19].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

In altri casi è necessario ridurre il rumore emesso dalla macchina verso l'esterno. Lin e altri hanno realizzato un sistema di cancellazione del rumore a bassa frequenza irradiato nello spazio libero da un camion da miniera (Figura 25) [20]. Il sistema ANC è costituito da due set di tre input e tre output in configurazione feedforward, con i tre microfoni di errore posizionati vicino alle sorgenti secondarie. Il segnale di riferimento è uguale per entrambi i set di controllo ed è misurato in corrispondenza del motore. Per il primo sistema ANC sono stati raggiunti oltre 20 dB di riduzione ai microfoni di errore per la componente a 46 Hz, mentre aggiungendo il secondo set si ottiene un miglioramento di circa 8 dB. La prestazione del controllo attivo è stata valutata su tutti i punti di misura disposti attorno al camion a distanza di 10 m, dove è stato rilevato un massimo di attenuazione di 8 dB (Figura 26). Valutando, invece, la capacità del sistema in base alla distanza per una data direzione, è possibile constatare che la riduzione vale 8 dB a 10 m e 2 dB a 30 m, a indicare l'efficacia del sistema anche su ampie distanze.

Figura 25. Camion da miniera oggetto dei test di Lin e punti di misura [20].

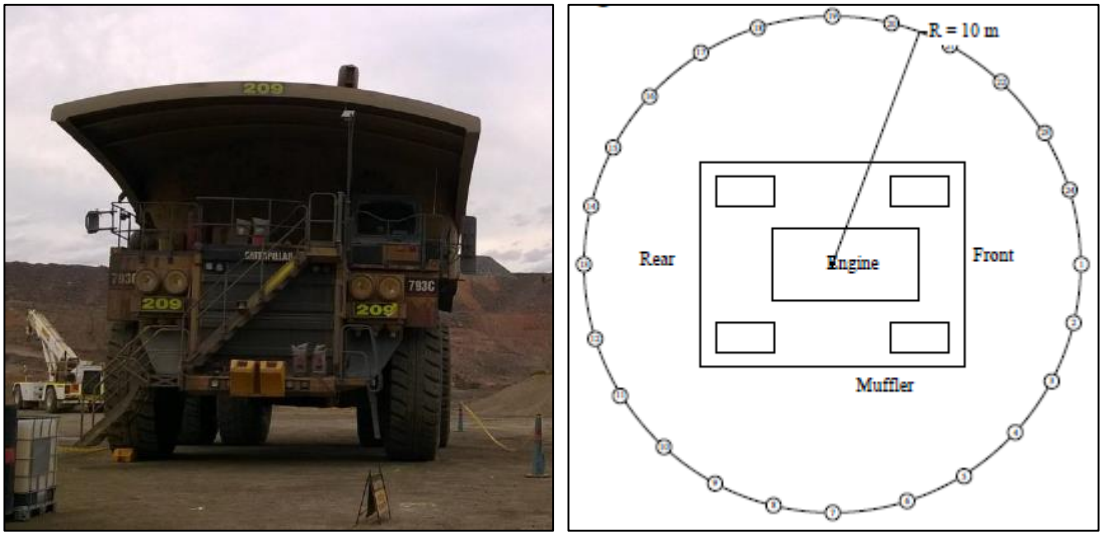
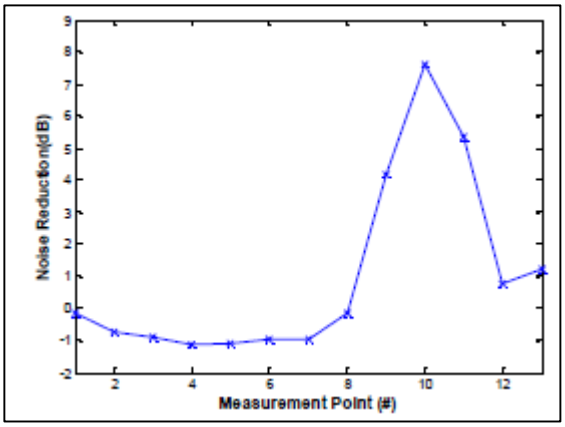


Figura 26. Attenuazione rilevata sui punti di misura attorno al camion da miniera [20].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

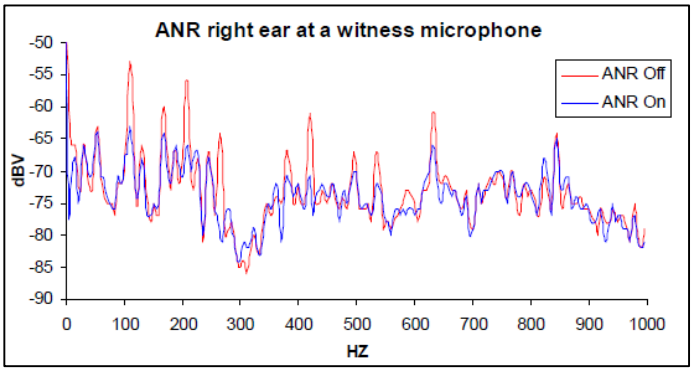
4.3. Controllo Attivo sulle Macchine Agricole

Gli operatori agricoli sono esposti per molte ore al giorno ad alti livelli di rumore generati dal trattore, per questo negli ultimi decenni è diventato un problema di importanza rilevante.

Yoshida ha realizzato due tipologie di controllo attivo del rumore con lo scopo di ridurre il rumore alla posizione della testa dell'operatore [21]: il primo utilizza un sistema feedforward, con un segnale di riferimento misurato da un microfono; il secondo è un sistema di feedback in cui l'input di riferimento è ricostruito con modellazione interna. Il sistema è composto da un DSP per operazioni real-time che implementa un algoritmo FXLMS, un microfono di riferimento per il sistema feedforward, uno di errore e due sorgenti di controllo. Per entrambi i sistemi la massima attenuazione rilevata è di circa 11 dB in un campo in frequenza fino a 500 Hz.

Carme e altri hanno prodotto un sistema ANC per la riduzione del rumore all'interno della cabina di un bulldozer [22]. Il sistema è di tipo feedforward e utilizza un algoritmo FXLMS per processare i segnali ricevuti da un microfono di riferimento allocato dietro il sedile del guidatore, posizione in cui è stata valutata una maggior stabilità del sistema, e da un microfono di errore posizionato sopra la testa del guidatore. I due altoparlanti di controllo sono stati allocati nella posizione utilizzata per il sistema radio e i risultati per il lato destro del guidatore sono rappresentati in Figura 27, dove si nota una riduzione sulle componenti fino a 700 Hz.

Figura 27. Risultati ottenuti da Carme sul bulldozer [22].



Gulyas e altri hanno testato diversi sistemi di controllo attivo per una macchina mietitrice (Figura 28) [23]. Il primo è un sistema feedforward con microfono di riferimento posizionato all'esterno sotto la cabina. Il secondo è un sistema feedforward con microfono di riferimento spostato all'interno della cabina sul lato frontale, data la buona coerenza del segnale. In questo caso è stata aggiunta una compensazione feedback per tenere in conto della componente di segnale emessa dall'altoparlante di controllo che investe il microfono di riferimento. Infine, è stato realizzato un sistema feedback, in cui il segnale di riferimento è ricostruito internamente. Il sistema in configurazione MIMO utilizza un algoritmo adattivo FXLMS ed è formato da un microfono di riferimento (nei casi feedforward), due altoparlanti di controllo posizionati dietro la testa del guidatore e due microfoni di errore vicino alle orecchie. L'analisi ha mostrato che la posizione del microfono di riferimento influisce sul livello di attenuazione raggiungibile (3 dB per il primo sistema, 4 dB per il secondo nella banda dei 100 Hz). I

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

migliori risultati sono stati ottenuti con controllo feedback (7 dB di riduzione) a causa della complessità del campo sonoro che rende difficile trovare un segnale di riferimento appropriato per i sistemi feedforward. Tuttavia, il sistema soffre di instabilità e amplificazioni ad alta frequenza tipiche del sistema feedback.

Pochi e altri hanno verificato l'applicabilità di un sistema ANC al caso di un trattore cingolato senza cabina [24]. Il sistema in configurazione feedback è costituito da un DSP, due microfoni di errore, due altoparlanti e un amplificatore (Figura 29). Sono state condotte diverse misure al variare della velocità del motore e il miglior risultato è stato ottenuto a 1400 rpm con una riduzione di 8.5 dB e 1.7 dB(A), mentre all'interno del range 1400 – 1700 rpm è stato raggiunto il massimo di riduzione di 2.5 dB(A), corrispondente a 7.7 dB.

Figura 28. Macchina mietitrice oggetto di studio di Gulyas [23].

Figura 29. Setup sperimentale utilizzato da Pochi [24].

5. Conclusioni

In questo articolo è stato riportato lo stato dell'arte sull'applicazione del controllo attivo del rumore ai mezzi di trasporto con diversi esempi e casi studio reali. La tecnologia mostra risultati interessanti per le principali sorgenti di rumore a bassa frequenza per il guidatore come gli ordini motore, l'aspirazione, lo scarico e il rumore di rotolamento. Più in generale, il sistema risulta efficace quando sono presenti delle componenti a banda stretta che hanno un'elevata coerenza rispetto al resto dello spettro. I vantaggi che conseguono all'impiego di questa soluzione sono quelli di migliorare il comfort delle persone che guidano e di preservare la salute dei lavoratori esposti ad alti livelli di rumore per diverse ore al giorno.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

1. Wang, L.; Gan, W.S.; Chong Y.K. New equalizing scheme of active noise equalization system in automobile cabin. Proceedings of the International Conference on Multimedia and Expo 2007, Beijing, China, 2007; IEEE; pp. 1203-1206.
2. Kuo, S.M.; Panahi, I.; Chung, K.M.; Horner, T.; Nadeski, M.; Chyan, J. Design of active noise control systems with the TMS320 Family. Texas Instruments, 1996.
3. Fohr, F.; Carme, C.; Peube, J.L.; Vignassa P.; Le Brazidec F. Active exhaust line for truck diesel engine. Proceedings of Internoise 2002, Dearborn, MI, USA, 2002.
4. Craig, R.A.; Howard, C.Q. Development of an adaptive quarter-wave tube attached to a large diesel engine. Proceedings of ACOUSTICS 2012, Fremantle, Australia, 2012.
5. Pricken, F. Active noise cancellation in future air intake systems. *SAE Technical Paper*, 2000, doi: 10.4271/2000-01-0026.
6. Jeong, W.; Kim, K.; Lee S.; Kim J. Application of active noise control to car intake system. Proceedings of Internoise 2002, Dearborn, MI, USA, 2002.
7. Vaishya, M. Unified strategy for active control of air induction sound. *SAE Technical Paper*, 2005, doi: 10.4271/2005-01-2535.
8. Elliott, S.J. A review of active noise and vibration control in road vehicles. *ISVR Technical Memorandum*, 2008, 981.
9. Hasegawa, S.; Tabata, T.; Kinoshita, A.; Hyodo, H. The development of an active noise control system for automobiles. *SAE Technical Paper*, 1992, doi: 10.4271/922086.
10. Ramos, P.; Salinas, A.; López, A.; Masgrau, E.; Practical implementation of a multiple-channel FXLMS active noise control system with shaping of the residual noise inside a van. Proceedings of ACTIVE 2002, University of Southampton, 2002.
11. Lee S.K.; Lee S.; Back J.; Shin T. A new method for active cancellation of engine order noise in a passenger car. *Applied Sciences* **2018**, 8, 1394.
12. Sano H.; Inoue T.; Takahashi A.; Terai, K.; Nakamura Y. Active control system for low-frequency road noise combined with an audio system. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 2001, 9, (755-763), doi: 10.1109/89.952494.
13. Oh, S.H.; Kim, H.S.; Park, Y. Active control of road booming noise in automotive interiors. *Journal of Acoustical Society of America* **2002**, 111, 180-188.
14. Zafeiropoulos, N. Active Noise Control in a Luxury Vehicle. PhD Thesis, University of Salford, Salford, UK, 2015.
15. Misol, M.; Algermissen, S.; Monner H.P. Experimental investigation of different active noise control concepts applied to a passenger car equipped with an active windshield. *Journal of Sound and Vibration* **2012**, 331, 2209-2219.
16. Shimada, Y.; Fujikawa, T.; Nishimura, Y.; Usagawa, T.; Ebata, M. An active control headset for crew members of ambulance. *Proceedings of IEEE, TENCON 99*, 1999, 1, (617-620), doi: 10.1109/TENCON.1999.818490.
17. Sherratt, R.S. Results of a DSP based adaptive cancellation filter system for the chirp, pulsar and

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

localiser sirens. Proceedings of IEEE Nordic Signal Processing Symposium, Kolmarden, Sweden, 2000.
18. Campos, R.M.; Caputo, R.; Santos, A.U. Active noise control inside the ambulance, doing a comparative study. Proceedings of the International Congress on Acoustics, Madrid, Spain, 2007.
19. Andrén, L.; Johansson, S.; Winberg, M.; Claesson I. Active noise control experiments in a fork-lift truck cabin. Proceedings of the 11th International Congress of Sound and Vibration, St. Petersburg, Russia, 2004.
20. Lin, Z.; Tao, J.; Qiu, X.; Pan, J. Implementation of an active noise control system on a mining truck. Proceedings of the 25th International Congress of Sound and Vibration, Hiroshima, Japan, 2018.
21. Yoshida, T. Active noise control for tractor operator. *Japan Agricultural Research Quarterly* **1995***, 29,* 161-170.
22. Carme, C.; Fohr, F.; Besombes, M. Active noise reduction in the cabin of an earth-moving machine. Proceedings of Internoise 2002, Dearborn, MI, USA, 2002.
23. Gulyas, T.; Pinte, G.; Augusztinovicz, F.; Desmet, W.; Sas, P. Active noise control in agricultural machines. *Proceedings of the ISMA 2002*, Leuven, Belgium, September 2002.
24. Pochi, D.; Fanigliulo, R.; Del Duca, L.; Nataletti, P.; Vassalini, G.; Fornaciari, L.; Cerini L.; Sanjust, F.; Annesi, D. First investigation on the applicability of an active noise control system on a tracked tractor without cab. *Journal of Agricultural Engineering* **2013***, XLIV(s2):e152,* 757-760.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

ANCHOR LIFE PROJECT: un sistema integrato di gestione del rumore portuale

Giuseppe Marsico [1,*], Giorgio Baldinelli [2], Riccardo Gabriele Di Meglio [3], Jaime Bustillo Galvez [4], Konstadinos Konstadakopoulos [5] and Simona Repetto [6]

[1] ISPRA, Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma (Italia)
[2] CIRIAF, Via G. Duranti, 67, 06125 Perugia (Italia)
[3] Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale, Scali Rosciano 6/7, 57123 Livorno (Italia)
[4] Autorità Portuale di Melilla, Avenida de la marina Española 4, 52001 Melilla (Spagna)
[5] Municipalità di Patrasso, Maizonos 108, 26221 Patrasso (Grecia)
[6] INGENIA S.r.l., Via N. Costa 7r, 16139 Genova (Italia)

* Autore di riferimento. E-Mail: giuseppe.marsico@isprambiente.it

Abstract: Obiettivo principale di ANCHOR LIFE è sensibilizzare, comunicare e diffondere il tema dell'inquinamento acustico proveniente dai porti che interessano i territori urbani limitrofi tra le Pubbliche Amministrazioni e i decisori della gestione del territorio, le Autorità portuali, le aziende private coinvolte, i cittadini residenti nelle città portuali e i ricercatori. Il processo sarà guidato dallo sviluppo e dall'applicazione di tre Best Practices for Noise Governance and Information, una per ciascuna autorità portuale partner del progetto, al fine di rafforzare le relazioni tra tutti gli attori, ovvero autorità portuali, aziende e comunità locali. In particolare, ANCHOR LIFE si propone di sviluppare tre attività principali: supportare "Figure di merito" gratificanti nella governance del rumore portuale nei porti di Livorno, Piombino e Portoferraio, per stimolare le aziende private ad adottare pratiche di riduzione del rumore in cambio di benefici economici o altri vantaggi; progettare e installare un sistema di monitoraggio del rumore "Smart" nel porto di Patrasso, costituito da una rete di microfoni a basso costo; predisporre una Linea Guida per la definizione di un approccio comune al monitoraggio e alla valutazione del rumore portuale, al fine di produrre Valutazioni di Impatto del rumore ambientale da inserire nei Sistemi di Gestione Ambientale dei porti, da applicare alla proposta di ampliamento del porto di Melilla.

Keywords: rumore, porti, awareness, environmental governance, smart monitoring systems, figure di merito, impatto ambientale, migliori pratiche.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

L'obiettivo principale di ANCHOR LIFE è sensibilizzare e diffondere il tema dell'inquinamento acustico dovuto ai porti tra le pubbliche amministrazioni, le Autorità portuali, le aziende private coinvolte nelle attività portuali, i cittadini residenti nelle città portuali e gli accademici. Al progetto partecipano come partner i centri di ricerca ISPRA e CIRIAF, la società di consulenza INGENIA S.r.l e tre enti pubblici che gestiscono importanti infrastrutture portuali europee: l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale (ADSMPTS), la Municipalità di Patrasso e l'Autorità Portuale di Melilla

Al fine di raggiungere gli obiettivi generali del progetto, saranno implementate le seguenti migliori pratiche per la governance e l'informazione in merito all'inquinamento acustico:

- Attuare una politica legata alle "Figure di merito" nella governance del rumore portuale, da applicare nei porti di Livorno, Piombino e Portoferraio, in grado di incoraggiare le aziende private ad adottare pratiche di riduzione del rumore in cambio di benefici economici o altri vantaggi;
- Progettare e installare uno Smart Port Noise Monitoring System (SPNMS) nel porto di Patrasso, costituito da una rete microfonica a basso costo;
- Preparazione di una linea guida per definire un approccio comune nella gestione del rumore portuale, per fornire valutazioni dell'impatto acustico da includere nei sistemi di gestione ambientale dei porti. Il metodo sarà applicato alla proposta di ampliamento del porto di Melilla nell'ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale;

Inoltre, nell'ambito delle attività di progetto, sarà condotta anche la replicazione e diffusione dei metodi e risultati ottenuti avvalendosi di una rete di Autorità portuali e stakeholder, "Followers Platform", al fine di promuovere uno sviluppo ambientale sostenibile in tema di controllo del rumore e valutare anche l'efficacia di questo processo di disseminazione attraverso un set di Key Performance Indicators (KPI).

Un altro aspetto rilevante del progetto è costituito dall'applicazione della direttiva 2002/49/CE, ovvero il raggiungimento di un elevato livello di tutela della salute e dell'ambiente contro il rumore come uno dei principali problemi ambientali nell'UE.

ANCHOR LIFE desidera sensibilizzare sulla gestione del rumore portuale, diffondendo un corretto approccio soprattutto in contesti acustici complessi. Questo porterà all'utilizzo di un metodo comune di gestione del rumore. I risultati del progetto saranno utili a livello nazionale o locale per l'implementazione di normative nazionali sul rumore portuale, attualmente considerati come normali impianti industriali sprovvisti di leggi o regolamenti specifici in quasi tutti gli Stati membri dell'UE.

2. Implementazione di politiche basate sulle "Figure di Merito"

L'identificazione delle migliori pratiche risulta necessaria per controllare e ridurre il rumore proveniente da sorgenti di rumore all'interno dei confini portuali. Inoltre, è fondamentale che questo tipo di governance coinvolga non solo i decisori ma, soprattutto, le società portuali o gli operatori

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

direttamente responsabili delle emissioni di rumore. In questo senso il progetto ANCHOR LIFE vuole considerare politiche efficaci e promuovere i loro risultati positivi all'interno della "Followers Platform" per essere facilmente replicati in altri contesti.

Ai fini di garantire standard ambientali elevati e duraturi nel trasporto marittimo, pratiche come il Green Award System o l'Environmental Ship Index sono tra le migliori governance ambientali nell'ambito portuale. Con l'incentivo di vantaggi finanziari e non finanziari da parte dell'Autorità portuale locale, gli stakeholder di tutto il mondo sono motivati a ridurre il proprio impatto sull'ambiente e ad aumentare i livelli di sicurezza. A seguito di un audit ufficiale da parte di enti certificati su aspetti operativi, ambientali e gestionali, ogni stakeholder può ricevere una certificazione e conseguentemente ottenere una notevole riduzione sulle tasse portuali.

Attualmente questo strumento è utilizzato in ambiti ambientali quali l'inquinamento atmosferico e agli aspetti legati alla sicurezza, con risultati estremamente positivi. Con gli stessi obiettivi, ANCHOR LIFE vuole estendere, con il coinvolgimento degli stakeholder portuali, questo metodo anche all'inquinamento acustico, implementando il seguente approccio:

- aumentare la consapevolezza del rumore sia nelle autorità portuali che negli stakholder;
- rendere le emissioni acustiche una questione di interesse per gli stakeholder del porto;
- regolamentare una parte delle tasse portuali ai livelli acustici e rende redditizio che le attività portuali diventino "silenziose";
- evitare soluzioni costose non sempre in grado di ridurre sufficientemente i livelli di rumore (es. alimentazione da banchina);
- rendere le operazioni portuali di cui sopra standard economicamente più interessanti.

L'obiettivo finale è ridurre il rumore per mezzo di una maggior consapevolezza di questo tipo di inquinamento da parte degli operatori portuali. L'analisi ex ante porterà all'introduzione della Figura di merito all'interno della politica delle concessioni portuali, mentre la valutazione ex post sarà utile per verificare come gli operatori portuali si sono conformati a questa politica.

L'obiettivo di ANCHOR LIFE durante questa attività è applicare tali migliori pratiche in campo acustico al porto di Livorno e ad altri due porti minori gestiti da ADSPMTS, ovvero i porti di Piombino e Portoferraio, quest'ultimo situato all'isola d'Elba.

3. Progettazione e installazione di uno Smart Port Noise Monitoring System

"ESPO/Ecoports Port Environmental Review 2016" sottolinea l'importanza per i porti di implementare un Sistema di monitoraggio ambientale per misurare, analizzare e affrontare gli impatti delle operazioni portuali. Il rumore è incluso nel sistema di monitoraggio di meno del 60% dei 91 porti considerati nella relazione, mentre lo è al 3° posto nell'elenco delle priorità ambientali dei porti dell'UE per il 2016. Il rapporto con la comunità locale è classificato al 4 ° posto.

ANCHOR LIFE, quindi, mira a progettare e testare un sistema di monitoraggio del rumore a basso costo, consentendo ai porti di gestire entrambe le suddette priorità. Questo sistema, denominato Smart Port Noise Monitoring System (SPNMS), consente di misurare il livello di pressione sonora in

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

tempo reale in località selezionate all'interno dell'area portuale, in corrispondenza delle principali sorgenti di rumore e dei ricettori maggiormente disturbati.

In particolare, un SPNMS è composto da stazioni di monitoraggio del rumore, costituite da un fonometro dotato di microfono MEMS (MicroElectrical-Mechanical System) e un trasmettitore wireless. Ogni posizione della stazione è stata definita in base ai risultati delle stazioni di monitoraggio del rumore esistenti, presenza di eventi rumorosi, caratteristiche morfologiche dell'area, presenza di schermi o barriere e ubicazione dei ricettori particolarmente sensibili, come scuole e ospedali.

Il Sistema di monitoraggio, inoltre, consentirà all'autorità portuale di:

- comprendere quali attività hanno le più alte emissioni di rumore. mediante analisi dei dati;
- inviare avvisi ai cittadini per informarli prima dell'inizio di attività rumorose;
- ridefinire il calendario delle attività portuali per evitare che vengano svolte le attività più rumorose in contemporanea;
- ridefinire il layout dei porti per modifiche future.

4. Definizione di un approccio comune per la valutazione dell'impatto acustico dei porti

Uno degli obiettivi di ANCHOR LIFE è aggiornare le linee guida fornite dal progetto LIFE NoMEPorts tenendo conto di quanto riportato dalla direttiva 2015/996/CE (CNOSSOS) che fornisce un approccio comune per le valutazioni previsionali nell'ambito delle mappature acustiche.

A tale scopo, le attività svolte ha fornito un approccio di Port Noise Impact Assessment (PNIA), che viene testato considerando come caso di studio l'ampliamento previsto del porto di Melilla e soggetto a Valutazione di Impatto Ambientale.

4.1. Definizione geografica e dei confini

Il primo passo per la definizione del PNIA è creare un modello digitale 3D del sedime portuale che includa i dati morfologici e topografici dell'area di studio e le principali strutture (edifici, infrastrutture, ecc.) che influenzano la propagazione del rumore.

Per quanto riguarda la definizione del confine, le linee guida di NoMEPorts prescrivono di considerare come area di studio l'intorno compreso dai livelli di L_{den} e L_{night} rispettivamente superiori a 55 dB(A) e 50 dB(A). Tuttavia, la ponderazione A sottostima gli effetti sulla salute dovuti al rumore a bassa frequenza di frequenza, che è caratteristico del rumore dei porti e si propaga a distanze maggiori rispetto al rumore ad alta frequenza. Verranno pertanto stabiliti livelli limite alternativi per la definizione dell'area di studio.

4.2. Raccolta dei dati di emissione delle sorgenti

L'ambiente acustico delle aree portuali è generato da un numero di sorgenti di rumore variabili nello spazio e nel tempo, come macchine da lavoro, traffico automobilistico, ferroviario, rampe banchina, movimentazione merci e navi. I livelli di pressione sonora generati da ciascuna sorgente sono stati rilevati mediante:

- schede tecniche dei produttori;

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- misure dirette;
- database delle sorgenti di rumore;
- stima da una sorgente di rumore analoga.

4.3. Mappatura del rumore

Gli algoritmi forniti dalla direttiva 2002/49/CE e il metodo CNOSSOS fornito dalla direttiva 2015/996/UE sono stati utilizzati per creare mappe acustiche nell'area di studio in termini di L_{den} e L_{night}. Un paragone tra le mappe ottenute utilizzando i due suddetti algoritmi è stato effettuato durante il progetto in per evidenziare le discrepanze.

4.4. Valutazione dell'impatto acustico.

I risultati ottenuti dalle mappature acustiche vengono utilizzati per valutare l'esposizione delle persone al rumore del porto e per identificare i punti caldi, ad es. aree in cui il livello di pressione sonora calcolato supera in modo significativo i limiti di legge locali (o altri limiti alternativi) e/o le aree nelle quali i livelli acustici ai ricevitori risultano critici.

Una volta identificati gli hot spot, vengono classificati mediante analisi comparativa tra indici di priorità analizzati per i piani d'azione sul rumore.

4.5. Gestione del rumore.

Laddove la valutazione dell'impatto acustico rivela la presenza di punti caldi, è necessario uno strumento per selezionarne le azioni più efficaci di mitigazione del rumore, raccolte in un Piano di Gestione del Rumore. La selezione è guidata da:

- analisi costi-benefici;
- collaborazione con “inquinatori”, cioè responsabili delle emissioni acustiche;
- partecipazione del pubblico, attraverso incontri e commenti dei cittadini

Le azioni di mitigazione che possono essere applicate nei porti possono essere suddivise in due categorie:

- Soluzioni tecniche e operative: modifica del layout del porto, sistemazione del traffico, rampe più silenziose e movimentazione merci, parco macchine più silenzioso, alimentazione elettrica a terra, assegnazione posti barca, barirere antirumore, insonorizzazione finestre-facciate.
- Soluzioni gestionali e finanziarie: ridefinizione degli orari delle attività portuali, limiti di velocità, miglioramento del traffico fluidità, tasse portuali differenziate (Figure di Merito), pianificazione urbanistica.

La metodologia proposta è sintetizzata in una “Guideline for a common Port Noise Impact Assessment method". Verrà affinato e sperimentato nel porto di Melilla, che attualmente sta subendo un significativo ampliamento che arriverà fino a 25 ha, con 2.000 metri di nuovi posti barca.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

1. http://anchorlife.eu/
2. Salomons, E., van Maercke, D., de Roo, F., “The Harmonoise Sound Propagation Model”, Acta Acustica united with Acustica, vol. 97, , 2011, 62-74.
3. Witte, J., Hemsworth, B., Paviotti, M., “Description of the Source Database”, IMAGINE technical report, 2007.
4. Rizzuto, E., Badino, A., Schenone, C., Borelli, D., Mayoral, A., Medina, E., Fernandez, J.M., “Harbour noise nuisance”, SILENV technical report, 2010.
5. Badino, A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E., Schenone, C., “Measurement of airbone noise emitted by a ship at quay”, Atti 22th International Congress on Sound and Vibration, Firenze, 12-16 luglio, 2015.
6. Draganchev, H., Valchev, S., Pirovsky, C., Georgiev, M., and Mihaylov, M. “Experimental and theoretical research of noise emitted by merchant ships in port”, Atti 21th International Congress on Sound and Vibration, Vilnius, Lituania, 8-12 luglio, 2012.
7. Badino, A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E., Schenone, C., “Holistic control of ship noise emissions”, Noise Mapping. Vol. 3, 2016, 107–119.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

The NEXT.ROOM: a novel test room specifically designed for deepening our knowledge on human comfort

Ilaria Pigliautile [1,2]*, Vittori Filippo [2] and Anna Laura Pisello [1,2]

[1] Department of Engineering, University of Perugia, Via G. Duranti 67, 06125 Perugia, Italy

[2] CIRIAF-Interuniversity Research Centre on Pollution and Environment Mauro Felli, Via G. Duranti 63, 06125 Perugia, Italy

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: Ilaria.pigliautile@unipg.it

Abstract: Building energy consumptions are strictly related to occupants' comfort perception. A main driver of occupants' behaviors and interactions with the building systems is their willing to spent time in comfortable spaces. The understanding of mechanisms behind human comfort perception is thus of primary importance. This combines multiple physical stimuli (thermal, lighting, acoustic, etc.), physiological responses of the human body, and psychological aspects of the subject. In this view, many laboratory experiments have been carried out throughout past decades in facilities specifically designed for assessing specific aspects of the wide picture. The NEXT.ROOM is a novel flexible facility for human comfort studies, built up in 2020 at CIRIAF (University of Perugia, Italy) for deepening the knowledge on multidimensional comfort by providing combinations of controlled physical stimuli to subjects physiologically monitored through wearables. This work presents the NEXT.ROOM in all its components, and the results of preliminary experimental campaigns devoted to characterize the facility by focusing on: (i) heating/cooling systems (transient, maximum and minimum air temperature value reachable in 2.5 hours of operation), (ii) lighting systems (3D mapping of illuminance level distribution in the room due to all the possible combination provided by the system and lamps spectral characterization), (iii) room acoustic (3D mapping of the background noise level due to the operation of the mechanical ventilation system). Provided information provide a useful manual of the NEXT.ROOM that will guide the design of future experiments on human comfort for assessing cross-modal interaction in a completely controlled, and known environment.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_028_pp_304

Keywords: Test room; human comfort; human-centric experiments; thermal comfort; visual comfort; acoustic comfort; indoor air quality; multi-domain comfort; Indoor Environmental Quality.

1. Introduction

People spend 85-90 % of their time indoors [1]. Human wellbeing in indoors have to be guaranteed while pushing forward a sustainable development [2]. Notwithstanding undeniable improvements in the quality of building interiors in the past decades, a range of health risks and discomfort issues associated with exposure to the indoor environment persists. Researchers have demonstrated the strong connection between the indoor environmental quality (IEQ) of a building and occupants' comfort, health, and productivity [3–5]. Moreover, building energy consumptions are largely affected by occupants' behavior [6], triggered by their perception of the surrounding environment. In this view, decoding human comfort is a crucial issue in building science for enhancing building design and operation from a sustainable perspective and through a human-centric approach [7].

The scientific community approaches human indoor comfort by coupling measurements of the physical environment (e.g., air temperature, sound pressure level, air pollutant concentrations, illuminance, etc.) and occupants' feedback collected via surveys and/or physiological monitoring [8]. Main procedures can be broadly categorized into two main methods: (i) in-field monitoring and (ii) laboratory experiments. The letter are less realistic than the in-field campaigns, but allow the researcher to directly control the environmental parameters of the investigated spaces and to isolate the contribution of a single environmental factor or a specific combination of multiple stimuli on subjective responses, for example overall comfort perception or productivity [9,10]. Moreover, laboratory experiments generally allow researchers to perform a more invasive investigation on human subjects and collect physiological signals that are less commonly monitored in-field.

Many research institutions have built their own environmentally controlled experimental facilities to perform human comfort-related experiments worldwide and throughout years. Each facility is designed according to its own purpose, presenting different dimensions, internal layouts, envelope characteristics, energy systems, and monitoring setup. The more versatile the design, the more adaptable the facility will be according to the research needs.

In this framework, the NEXT.ROOM (*next-generation of test room for human comfort studies*) have been designed and built up in May 2020 at CIRIAF laboratory, Italy. The facility presents two different conditioning systems (a radiant system and an HVAC system) for precisely controlling the thermal environment at both global and local scale. The lighting system comprises four LED panels and two RGB dimmerable reflectors for varying light intensity and spectrum (and consequently Correlated Color Temperature, CCT).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The main concept behind the NEXT.ROOM design and its systems characterization are here provided as a starting point for exploring human comfort in future experiments laying on potentialities of the chamber explored in these preliminary systems tests.

2. NEXT.ROOM, design concept

The NEXT.ROOM is located inside one of the CIRIAF laboratories, at the engineering campus of the University of Perugia, Italy. The rectangular no-conditioned space surrounding the facility is a 10.23x17.05x4.00 m volume separated from the external environment by concrete walls of 0.2 m thickness, with no insulation. One long side and one short side of the rectangular shaped laboratory are in contact with the exterior: the facility is located at a distance of 1 m from one of the long side exposed to the external climate condition fluctuation. 8 openings (2 French windows, 6 windows) allow to fill the gap between the internal and external climate condition if required by the conducted experiment. If all the openings are closed the boundary conditions given by the laboratory allow to have a less variable surrounding environment useful to reach in less time the desired internal conditions. The whole construction follows the ideal of flexibility, resilience and possibility to be continuously improved and modified. The logic of integrated design is a lead concept to reach the proposed target. The whole design is completely developed with dry technologies and it is theoretically possible to remove it leaving no sign of its passage.

Following subsections present the main systems devoted to the management and control of the NEXT.ROOM environmental conditions by taking into account different environmental domains.

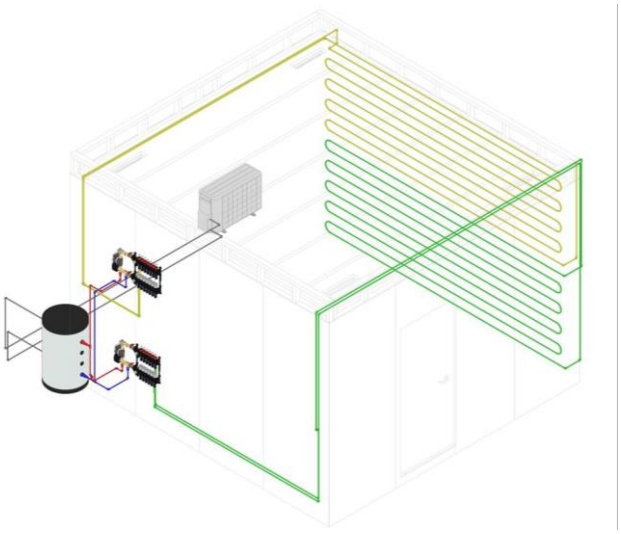
2.1. Heating/cooling systems

2.1.1. Radiant panel system

The radiant system is characterized by an air-to-water heat-pump able to perform both heitng and cooling. The heat- pump is located outside the laboratory. To avoid the fluctuation due to the machine's cycles, the internal circuit behavior is designed as independent from the external one thanks to a water buffer positioned inside the building, near one corner of the facility. 4 manifolds are installed to distribute the treated water in 7 independent pressurized circuits. Every internal surfaces can account on two separated radiant system lines able to work independently (2 for each surfaces, exception for the wall with the window on which 3 lines are installed). An example of a completed loop operated by a wall system is shown in Figure 1.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 1. Lighting and acoustic measurement grid points; pictures of the monitoring campaign on (b) light spectrum data collection and (c) background noise level detection.



2.1.2. HVAC system

The HVAP system has an air-to-air heat-pump with a coefficient of performance greater than 4 that exploits the external air to treat a fresh air volume. The system is able to perform both heating and cooling. The ventilation unit combines two heat recovery technologies. Passive heat recovery takes place via a counter flow heat exchanger that uses between 85% and 95% of the energy in the extracted air. Active heat recovery takes place via a heat pump that uses the residual energy. A couple of round ducts of 110 mm each take the fresh air from the external environment and expulse the exhaust air from the indoor of the NEXT.ROOM. After the treatment, the supply flow is taken to a ionizer section which purify the air volume which is then supplied in a plenum that distributes the air in four ducts of 90 mm which bring the air to the nozzles located near the interior side facing the internal portion of the laboratory. Two air extractors take the air from the indoor environment and by means of four round ducts close the loop ending to the heat pump. This system can control the inside air temperature, analyze the internal humidity and influence the level of pollution thanks to the ionizing section.

2.2. Lighting system

The lighting system aims to obtain a large number of possible situation in terms of indoor lighting within the experiment. To better simulate an office-like environment for experiments investigating the relation between productivity and multidimensional comfort, the lighting fixture chosen are four LED panels and two color changeable dimmable reflectors: the system can account on ten levels of dimmer, flanked by fourteen possible color combinations in addition to the with one. All the lighting fixtures can be controlled independently. The daylight can be completely shaded thanks to the shading system of the windows, giving the possibility to carefully control all the lighting parameters during the experiments.

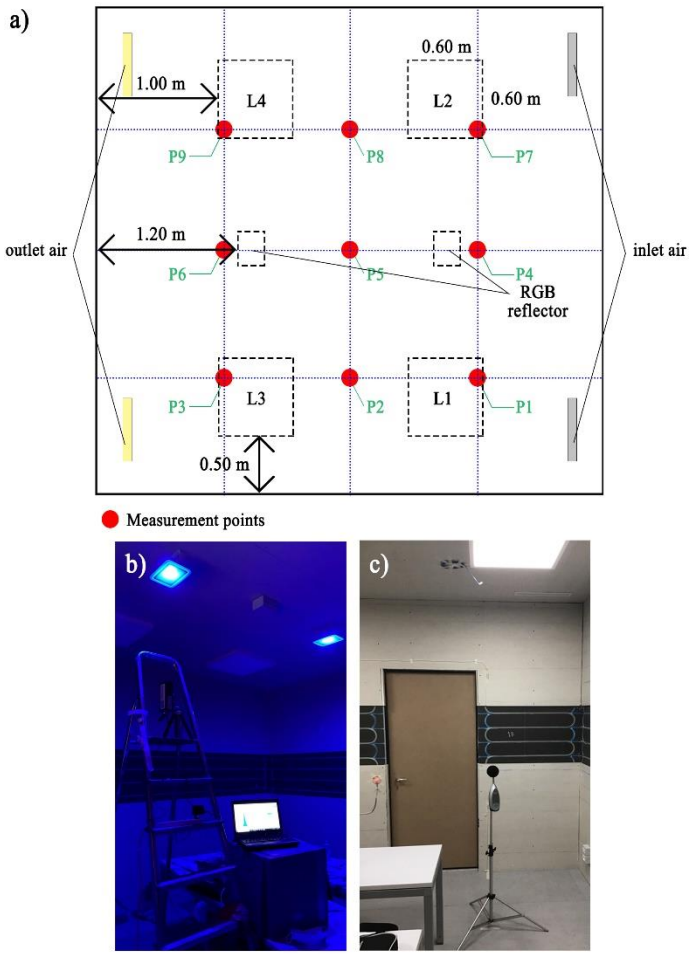
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. NEXT.ROOM, experimental characterization

The following subsections present the pursued procedure for experimentally characterizing all the systems devoted to the environmental control of the novel test room. Tested systems are the radiant panel system, the ventilation system, and the lighting system. Furthermore, the acoustic condition of the environment is also presented in terms of back ground noise pressure level at different points of the test room while operating the ventilation systems at different air velocity settings. No humans are involved in the start-up experiments.

The lighting system and the acoustic environment are both characterized by considering the same measurement grid presented in Figure 2a. Pictures in Figure 2b and Figure 2c present some moments of the campaign of data collection for the lighting and acoustic characterization of the NEXT.ROOM, as better specified in following subsections.

Figure 2. Lighting and acoustic measurement grid points; pictures of the monitoring campaign on (b) light spectrum data collection and (c) background noise level detection.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.1. Heating/cooling systems

Different tests were conducted for both the systems under different boundary conditions to assess system potentials in cooling down and heating up the confined space while operating at their operational range extremes. The air and radiant systems are tested in terms of transient, maximum and minimum value of internal temperature reachable in a 2.5 hours.

During systems tests internal conditions are monitored every 10 s in terms of air temperature, humidity, globe temperature, and air velocity almost in the center of the room and at 1.10 m height (the head height of a sitting person as recommended in ISO 7726 [11]). Data are processed in order to get a 5-minutes average profile for every parameter. Additionally, external conditions are continuously monitored by the fix weather station located on the rooftop of the building where the NEXT.ROOM is located [12]. Data of external air temperature and humidity are therefore provided for the whole tests duration as 10-minutes average value. Table 1 summarizes the average external temperature and humidity observed in the outdoors while performing conditioning systems tests according to the presented set points.

Table 1. External conditions and tested conditioning system set points.

Data	Starting time	Ta (out) [°C]	RH (out) [%]	Tested system	Set point [°C]
30/07/2020	10:10	31.7	32.8	Radiant	5
31/07/2020	10:00	31.2	32.9	Mechanical Ventilation	5
03/08/2020	10:00	28.3	53	Mechanical Ventilation	30
11/01/2021	09:00	2.5	67.4	Radiant	55

3.2. Lighting systems

The NEXT.ROOM lighting system was characterized in terms of both lights spectrum and illuminance levels associated to all the possible combinations of interest for human-related experiments that the installed systems allow. More specifically, light spectrum characterization of the RGB reflectors was done by means of a portable spectroradiometer getting spectral radiance distribution in the wavelength range from 230 nm to 1000 nm. The measurement was provided for all the 15 color lights provided by the installed product, each tested for the first five levels of intensity. Indeed, the spectroradiometer could not work with light intensity higher than level five. Light spectrum measurements were repeated five times for each combination of color light and intensity.

Illuminance was monitored by means of a portable lux meter on a nine points grid at the work plane level, 0.86 m, (as presented in Figure 2a) for all the combinations listed in Table 2. Illuminance measurements were collected three times for each grid-point and lighting combination for providing a more robust characterization of the system. The NEXT.ROOM window was shaded during all the test for limiting measurement disturbance due to external sources.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 2. Tested lighting combinations for illuminance measurements on the work plane.

N.	LED panels	RGB reflectors (both, same modality)	
		Light color	Light intensity level
1	All four panels switched off	White	1
3			5
4			10
5		Red	1
6			5
7			10
8		Green	1
9			5
10			10
11		Blue	1
12			5
13			10
14	All four panels switched on	White	1
16			5
17			10
18		Red	1
19			5
20			10
21		Green	1
22			5
23			10
24		Blue	1
25			5
26			10
27	1A/4 LED panels on	Switched off	
28	1B/4 LED panels on		
29	1C/4 LED panels on		
30	1D/4 LED panels on		
31	2(same side)/4 LED panels on		
32	2(diagonal)/4 LED panels on		
33	4/4 LED panels on		

3.3. Acoustic environment

The NEXT.ROOM environment was acoustically characterized in terms of background noise level due to the operation of the mechanical ventilation system at different fan speed velocities. Indeed, the sound pressure level within the NEXT.ROOM was monitored for five different internal conditions, with the mechanical ventilation system switched off and operating at the four available levels of inlet flow. Acoustic measurements were carried out through a class 1 sound level meter on the same 9-points grid adopted for the illuminance tests, but only at 1.10 m height, the head height of a sitting person.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

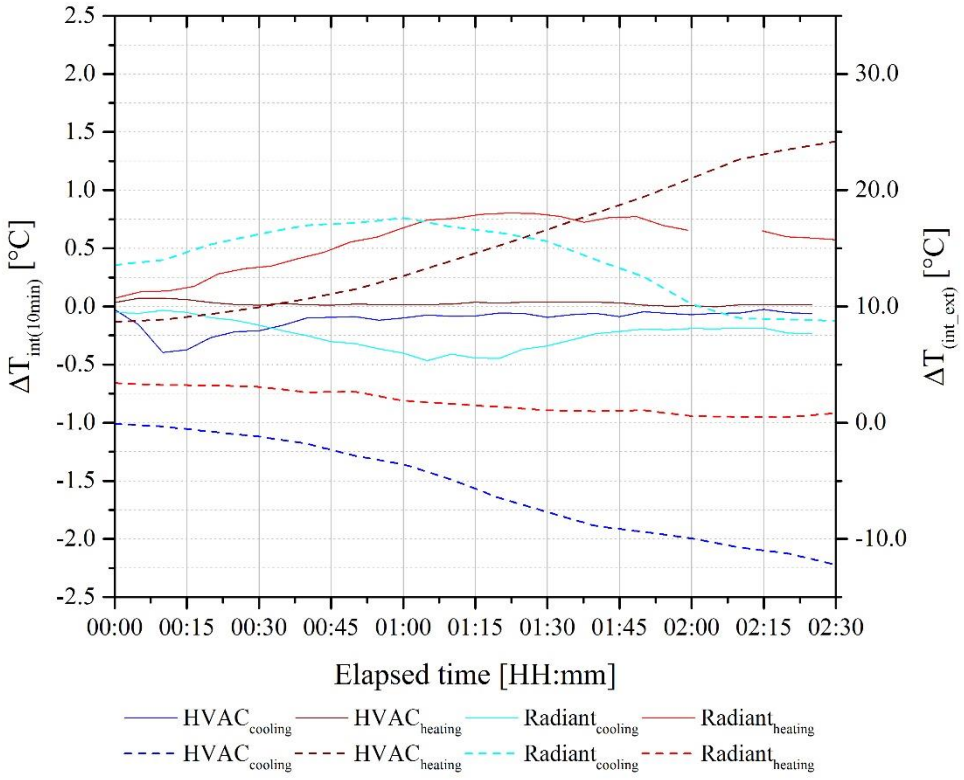
4. Results

Following subsection present experimental data collected for each system characterization tests previously described in section 3.

4.1. Heating/cooling systems

Graph in Figure 3 (left-axis) presents observed air temperature variation, in a movable time-window of 10-minutes interval, in the NEXT.ROOM during the performed tests lasting 2.5 hours each.

Figure 3. Temperature variation, in the movable 10-minutes interval, observed in the NEXT.ROOM due to systems operation and observed differences with respect to external temperature.



Observed differences between indoor and outdoor air temperature are also presented in the same graph and referred to the right-axis scale. Comparing the two cooling profiles, the HVAC system provided a more intense cooling contribution during the first 15 minutes of the test while the radiant system produced the strongest variation in 10 minutes after one hour. Results of the two heating tests cannot be directly compared since the HVAC heating test was performed during summer, with external temperatures really close to the system set point (as shown in Table 1). As expected, the NEXT.ROOM cannot easily heated during summer (such as cooled in winter) due to the operating principles of its condition systems. Nevertheless, small temperature gaps can be achieved thanks to the internal position of the test room, and therefore the internal position of the HVAC components. Further details on the conditioning systems tests are provided in the following subsections.

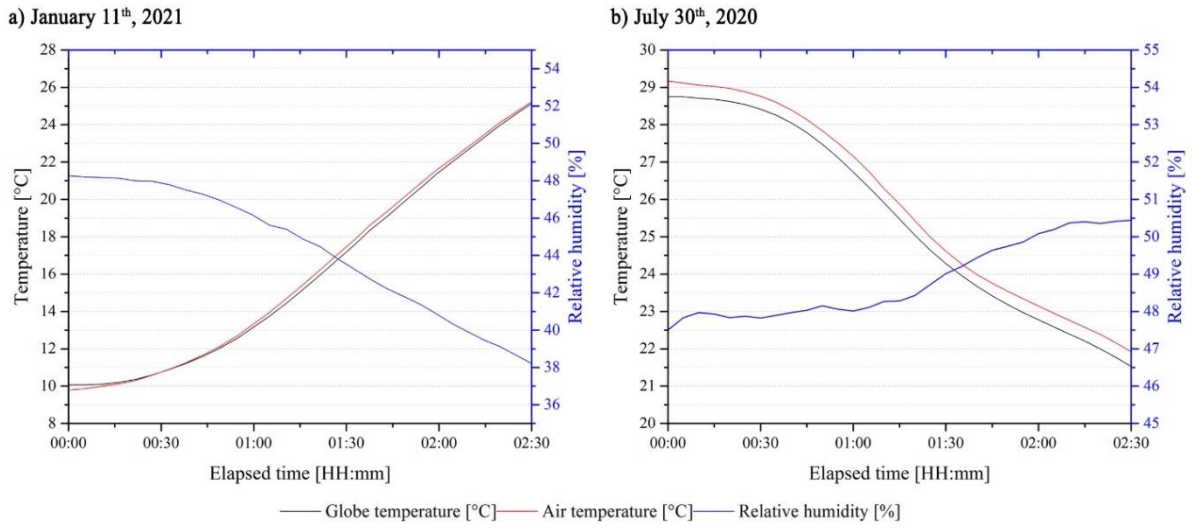
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

More specifically, subsection 4.1.1 shows achievable air temperature ramps thanks to the operation of the radiant system which fully cover all the internal surfaces of the NEXT.ROOM. Presented results for the radiant system concern both summer and winter tests (cooling and heating purposes, respectively). Subsection 4.1.2 focuses on temperature ramps observed while the mechanical ventilation system was operating. These results refer only to the summer tests since there is no data availability for the winter season.

4.1.1. Radiant panel system

The radiant system with its extreme set point (i.e. 5 °C) allowed to reach an air temperature delta of -7.38 °C (from 29.17 °C down to 21.79 °C) on July 30th when external air temperature ranged in between 29.25 °C and 34.26 °C (warming up). During winter, the reached air temperature delta was equal to 15.8 °C with an initial air temperature of 9.8 °C (at 9 a.m. of a winter day) and an observed air temperature of 25.6 °C after 2.5 hours of operation. Monitored internal air temperature and relative humidity profiles are shown in Figure 4.

Figure 4. Temperature and relative humidity profiles due to radiant system operation.

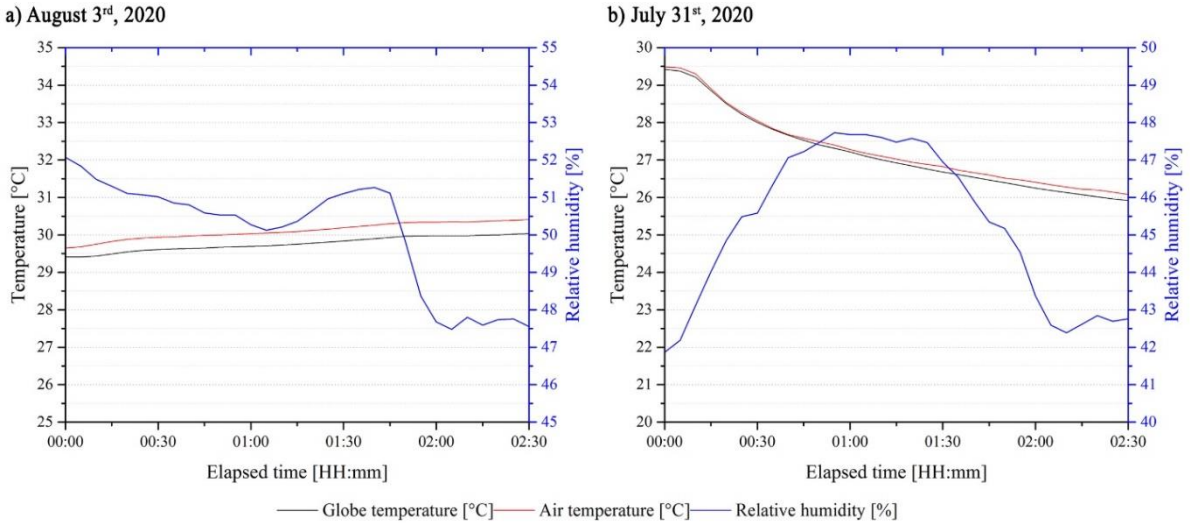


4.1.2. HVAC system

Air temperature and relative humidity profiles observed during the HVAC tests are presented in graphs of Figure 5. The air temperature decrease observed at the end of the 2.5 hours of the HVAC cooling summer test was equal to -3.4 °C (from 29.5 °C to 26.1 °C). The observed temperature variation due to heating mode in summer, when external air temperature was ranging in between 26.23 °C and 29.89 °C (warming up), was much lower, equal to +0.77 °C. Differently from the radiant system, the strongest contribution given by the HVAC system was observed during the initial part of the test (see Figure 3). Indeed, the maximum internal air temperature variation due to HVAC cooling, assuming the 10-minutes average movable window, was equal to -0.4 °C and it was observed 15 minutes after the test begun.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

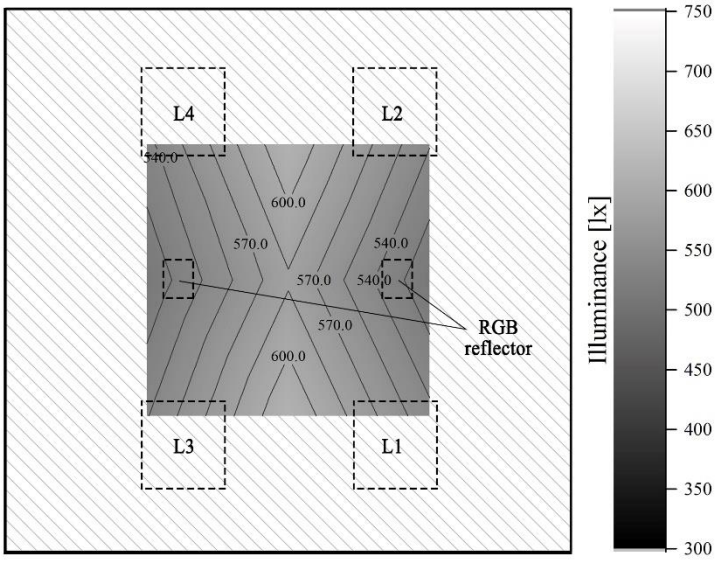
Figure 5. Temperature and relative humidity profiles due to mechanical ventilation system operation.



4.2. Lighting systems

The NEXT.ROOM lighting system was characterized in terms of illuminance level on the work plane while considering different combination of the system.

Figure 6. NEXT.ROOM illuminance map (four LED panels switched on).

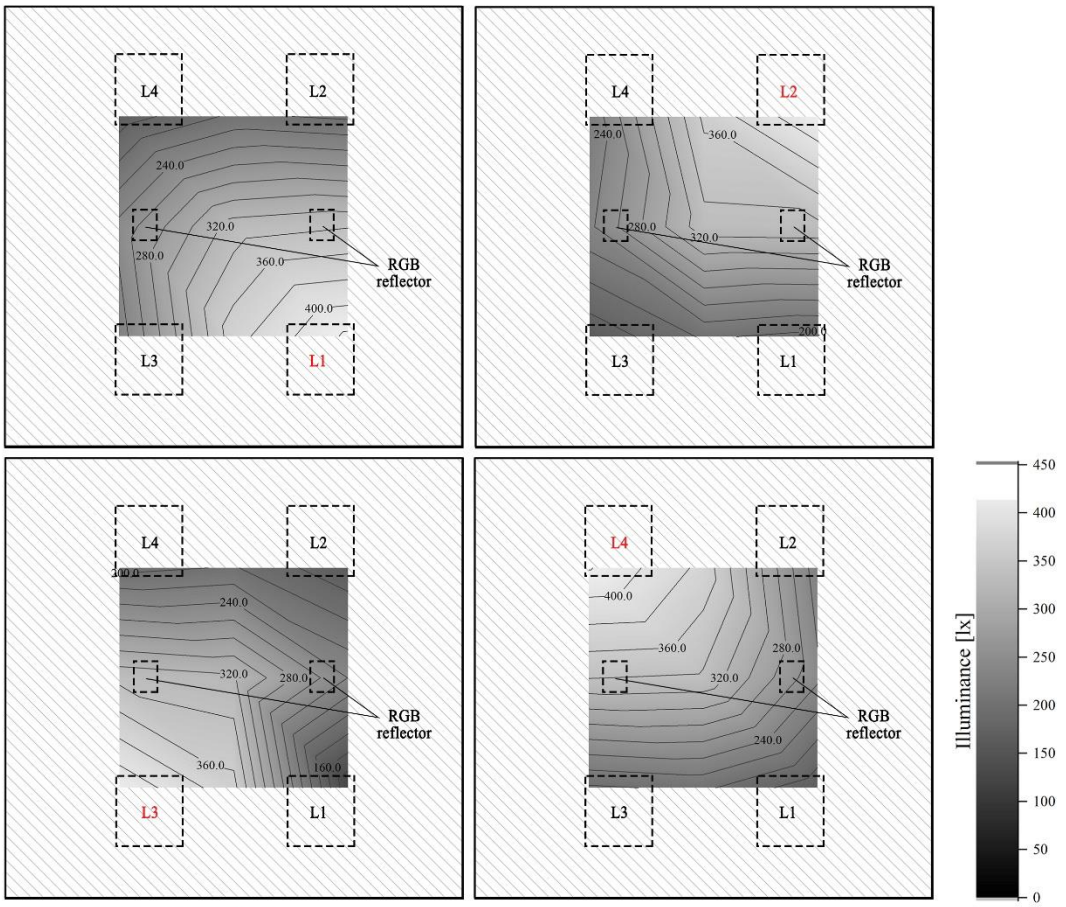


All the four LED panels switched on, the two RGB reflectors switched off

The map of Figure 6 shows the lighting level achieved in the middle of the test room by switching on all the installed LED panel, while keeping off the two RGB reflectors. This is the common operation mode of the lighting system when no specific visual stimuli are provided during a human comfort test and the window is shaded (so there is no daylight). The illuminance level is always above the 500 lx prescribed by standards for performing paper and computer tasks under visual comfort conditions [13].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 7. NEXT.ROOM Illuminance maps (two RGB reflectors on and one LED panel).

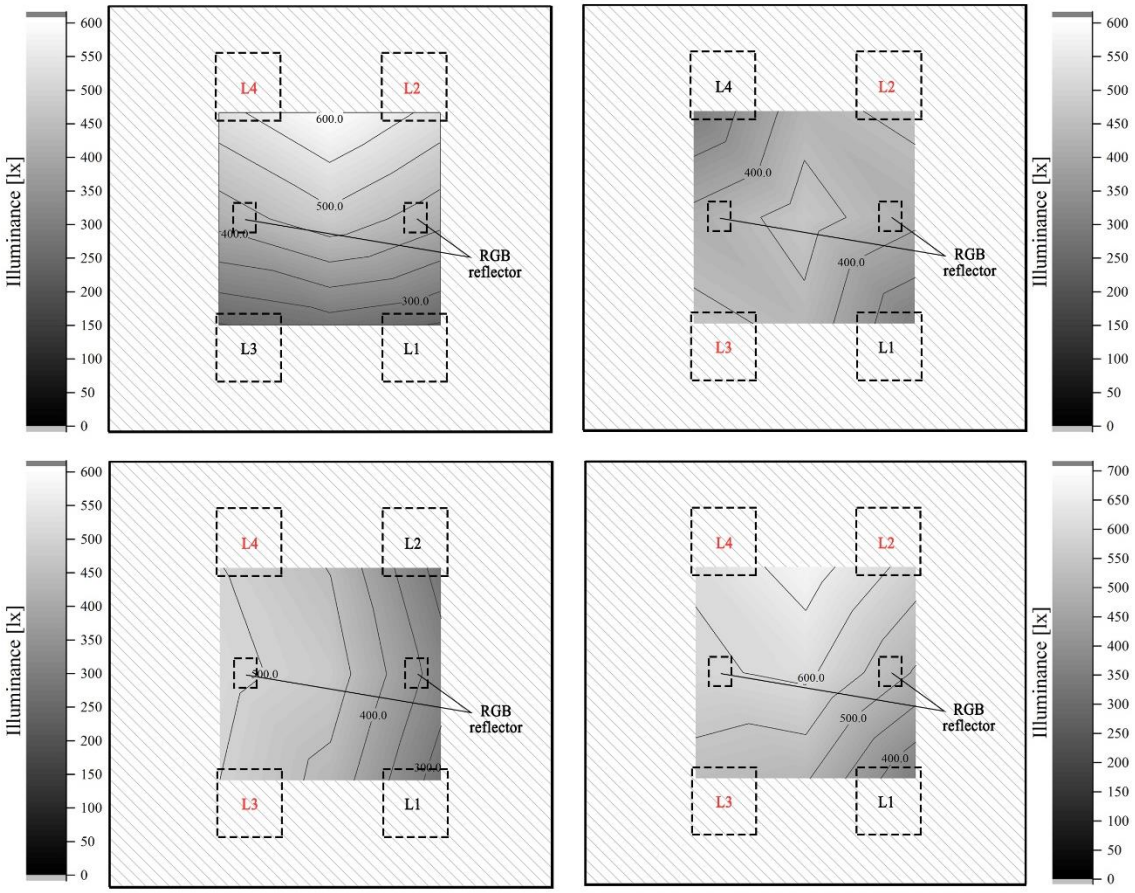


Single LED panel switched on, the two RGB reflectors switched on

Other combinations of the installed lighting system were tested as presented in Figures 7-9. More specifically, Figures 7 and 8 present the illuminance dis-homogeneity that ca be created in the NEXT.ROOM by switching on only one (Figure 7) or a few (Figure 8) of the LED panels. Graphically reported results refer to all the tests performed with both the RGB reflectors switched on (white light, medium intensity). Even if only one operating LED panel could not guarantee useful level of illuminance for common office tasks, the observed illuminance levels during the three-LED-on tests (Figure 8) and isolux spatial distribution provide interesting insight for performing tests with more than one subject exposed to slightly different boundaries in the visual domain while being exposed to exactly the same thermal/acoustic environment, for instance.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

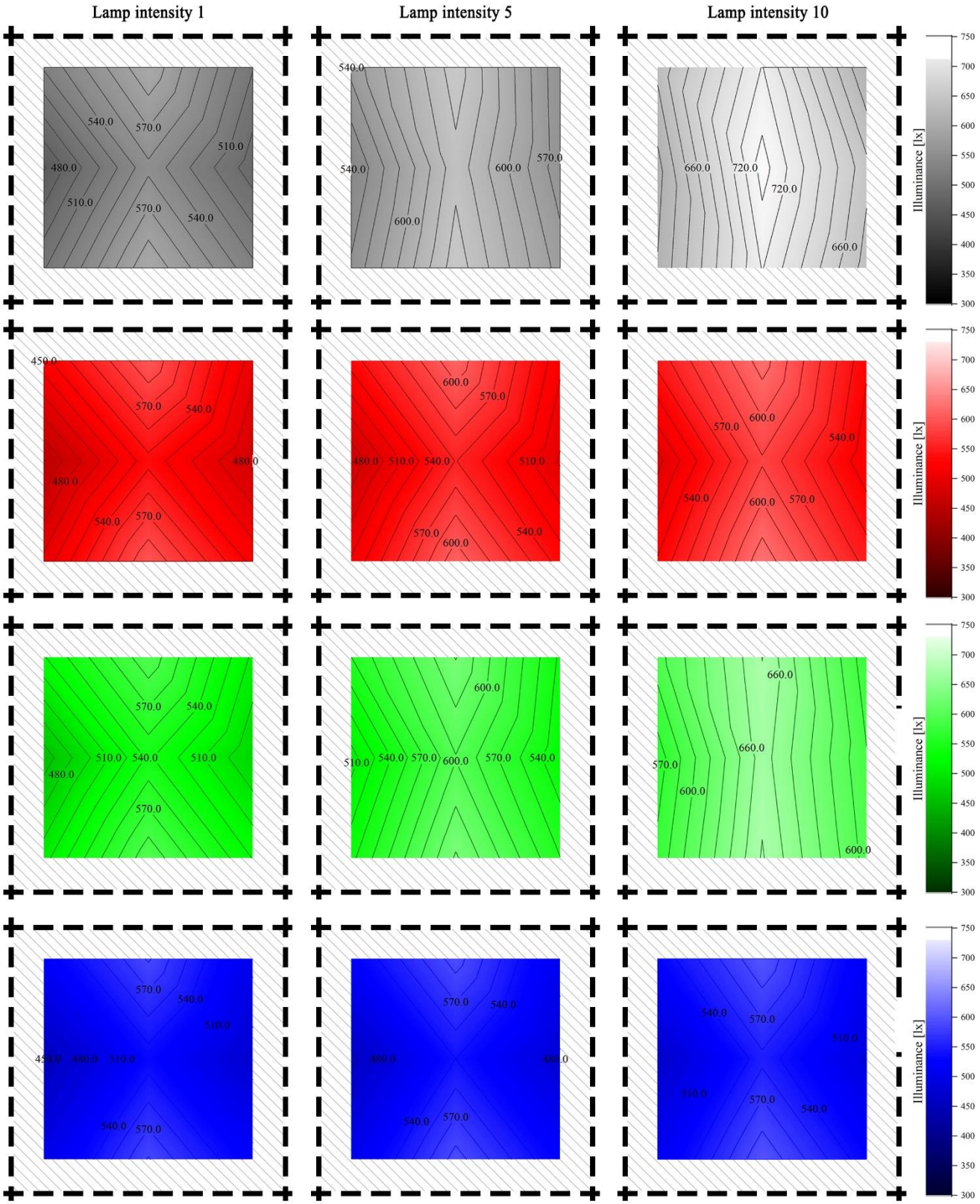
Figure 8. NEXT.ROOM Illuminance maps due to different operation modes of the lighting system.



Finally, maps of Figure 9 present the variation in the illuminance level at 0.83 m height obtained by varying the two features of the RGB reflectors: the light spectrum (here only presented four out of the 15 colors that can be settled), and the light intensity (here only presented three out of the 10 possible levels – minimum, medium, and maximum levels). Even if the two RGB reflectors were always coupled with all the four LED panels switched on, illuminance level is reduced when low intensity is selected. Furthermore, reflectors have a narrower view with respect to the LED panels and thus the additional power provided, with respect to the basic situation of the four-LED operating, is generally limited to a small area just below the lamps.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 9. NEXT.ROOM illuminance maps due to different operation modes of the RGB reflectors (associated to both the LED panels on).

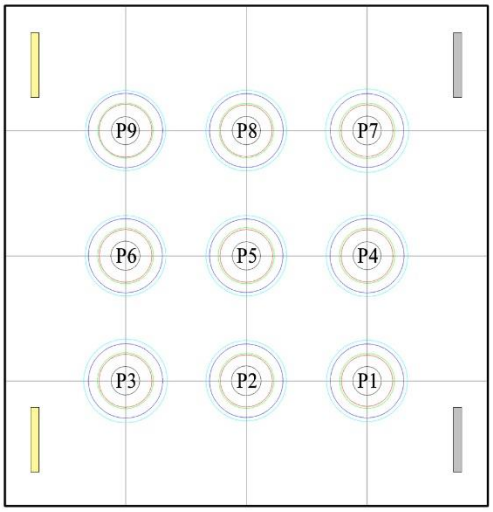


ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.3. Acoustic environment

Here the NEXT.ROOM background noise level is presented by mainly focusing on the effect of the HVAC system under different conditions of ventilation speed. A first measurement was performed with the HVAC system switched off. Under these boundary conditions, the spatial average of the detected noise level was of 23.4 dB(A) with a standard deviation of 0.50 dB(A). This value increased of 14.3 dB(A) in average after switching on the HVAC system on fan speed level 1. Level 2 and 3 of the ventilation speed are quite close and an average deviation of only 2.1 dB(A) was observed between the two, while moving from level 3 to level 3 the observed gap was equal to 13.3 dB(A). Finally, the spatial-average background noise level with the ventilation operating at its maximum velocity level was 58.7 dB(A) ± 0.92 dB(A) which was the highest observed standard deviation. The background noise data collecting in each point of the measurement grid are summarized in Figure 10.

Figure 10. NEXT.ROOM background noise level monitored at 1.10 m height and under different fan speed levels of the mechanical ventilation system



Grid point	Ventilation speed level [db(A)]				
	Off	L1	L2	L3	L4
P1	23.7	37.1	39.8	53.1	58.6
P2	24.3	37.7	39.7	52.8	57.9
P3	23.3	38.2	40.4	53.6	60.2
P4	22.8	37.6	39.9	53.3	59.0
P5	23.1	38.1	40.3	52.8	58.1
P6	23.9	38.0	40.1	53.3	58.2
P7	23.7	37.4	40.0	53.0	60.1
P8	23.1	37.5	39.3	53.1	58.1
P9	22.9	38.3	39.7	53.5	57.8

5. Conclusions

For better understanding what are the principles underlying human behavior in the built environment, a stronger knowledge of human perception and comfort have to be carried out both in-field (under real-life conditions) and in lab. Laboratory facilities for devoted to human comfort studies are the test rooms, enclosed spaces where tests on subjects can be performed while precisely controlling the whole environment (all its physical domains). The NEXT.ROOM is a new test room built up in 2020 at the CIRIAF research center, Italy. The facility was designed with the main aim to be flexible for performing different studies focusing on one-single aspect of the human comfort (e.g. providing thermal stimuli at the global such as at the local scale) but also on multiple-domains. This work presented the NEXT.ROOM in terms of both construction and technical details while also providing the outcomes of preliminary monitoring campaign tailored for characterizing installed systems and then test room potentials.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

[1] N.E. Klepeis, W.C. Nelson, W.R. Ott, J.P. Robinson, A.M. Tsang, P. Switzer, et al., The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants, J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol. 11 (2001) 231–252. doi:10.1038/sj.jea.7500165.

[2] L. Bellamy, P. Pancholy, A. Bolton, M. Pahlow, Use of a wellbeing framework for establishing building sustainability performance requirements in building regulations, in: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., IOP Publishing Ltd, 2020: p. 032068. doi:10.1088/1755-1315/588/3/032068.

[3] T. Akimoto, S. ichi Tanabe, T. Yanai, M. Sasaki, Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office, Build. Environ. 45 (2010) 45–50. doi:10.1016/j.buildenv.2009.06.022.

[4] M.A. Ortiz, S.R. Kurvers, P.M. Bluyssen, A review of comfort, health, and energy use: Understanding daily energy use and wellbeing for the development of a new approach to study comfort, Energy Build. 152 (2017) 323–335. doi:10.1016/J.ENBUILD.2017.07.060.

[5] P.M. Bluyssen, The indoor environment handbook : how to make buildings healthy and comfortable, London ; Sterling, VA : Earthscan, 2009. https://lib.ugent.be/catalog/rug01:001401719.

[6] Z. Yu, B.C.M. Fung, F. Haghighat, H. Yoshino, E. Morofsky, A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption, Energy Build. 43 (2011) 1409–1417. doi:10.1016/J.ENBUILD.2011.02.002.

[7] M. Jia, R.S. Srinivasan, A.A. Raheem, From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency, Renew. Sustain. Energy Rev. 68 (2017) 525–540. doi:10.1016/j.rser.2016.10.011.

[8] M.A. Ortiz, P.M. Bluyssen, Proof-of-concept of a questionnaire to understand occupants' comfort and energy behaviours: First results on home occupant archetypes, Build. Environ. 134 (2018) 47–58. doi:10.1016/j.buildenv.2018.02.030.

[9] M. Franke, C. Nadler, Towards a holistic approach for assessing the impact of IEQ on satisfaction, health, and productivity, Build. Res. Inf. (2020) 1–28. doi:10.1080/09613218.2020.1788917.

[10] S. Torresin, G. Pernigotto, F. Cappelletti, A. Gasparella, Combined effects of environmental factors on human perception and objective performance: A review of experimental laboratory works, Indoor Air. 28 (2018) 525–538. doi:10.1111/ina.12457.

[11] I. Standard, ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities, ISO Stand. (1998). doi:ISO 7726:1998 (E).

[12] A.L. Pisello, F. Cotana, A. Nicolini, C. Buratti, Effect of dynamic characteristics of building envelope on thermal-energy performance in winter conditions: In field experiment, Energy Build. 80 (2014) 218–230. doi:10.1016/j.enbuild.2014.05.017.

[13] EN ISO 12464-1-2011, Light and lighting - lighting of work places - part 1: indoor work places, (2011).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Prototipo del sedile a controllo attivo delle vibrazioni: storia delle prove sperimentali

Antonio Moschetto[1,*], Lindoro Del Duca[2], Pietro Nataletti[1] e Annalisa Fregolent[2]

[1] Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale dell'INAIL, via Fontana Candida 1, Monte Porzio Catone (RM).

[2] Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale (DIMA) dell'Università La Sapienza di Roma, Via Eudossiana 18, Roma.

***** Autore al quale deve essere indirizzata la corrispondenza: a.moschetto@inail.it

1. Introduzione

Il Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale dell'INAIL, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale dell'Università la Sapienza di Roma, ha sviluppato un prototipo avanzato di sedile idraulico a controllo attivo delle vibrazioni ad 1 grado di libertà verticale per la protezione dei conducenti di mezzi agricoli dalle vibrazioni trasmesse al corpo intero.

Il sistema AVC (Active Vibration Control) del sedile ha come obiettivo la riduzione delle vibrazioni a corpo intero (WBV), attutendo l'accelerazione verticale (Z) a basse frequenze (<10 Hz) percepita dall' operatore alla guida ad esempio di una macchina agricola [1-2]. L'attuazione del controllo è realizzata mediante un sistema idraulico come si evince dallo schema a blocchi seguente e dalla figura 2 dove si riporta una vista dall'alto del layout. Le specifiche sulla parte meccanica e sul controllo sono attualmente oggetto di brevetto.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 1. Schema a blocchi del sistema AVC.

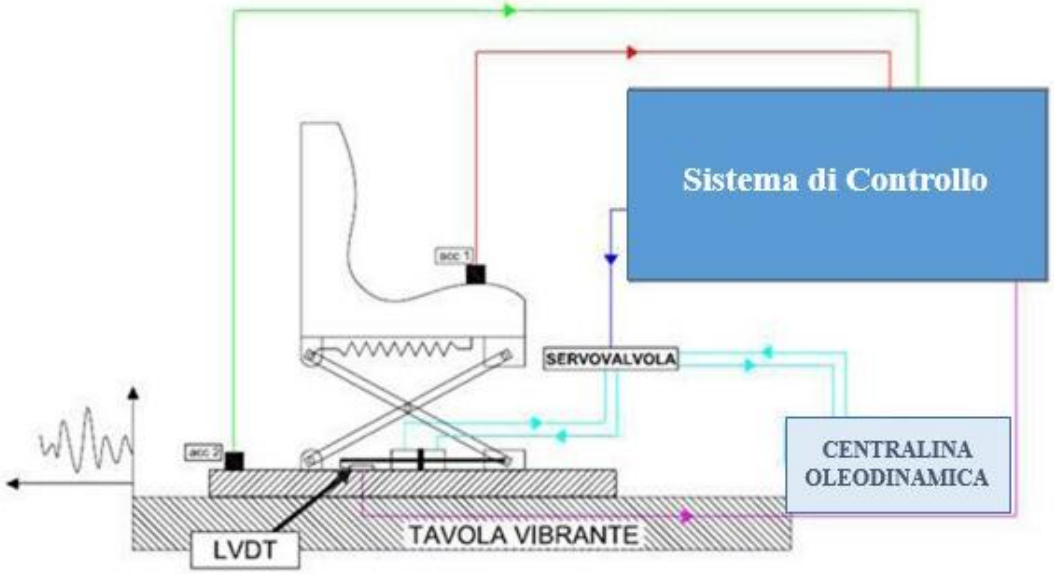
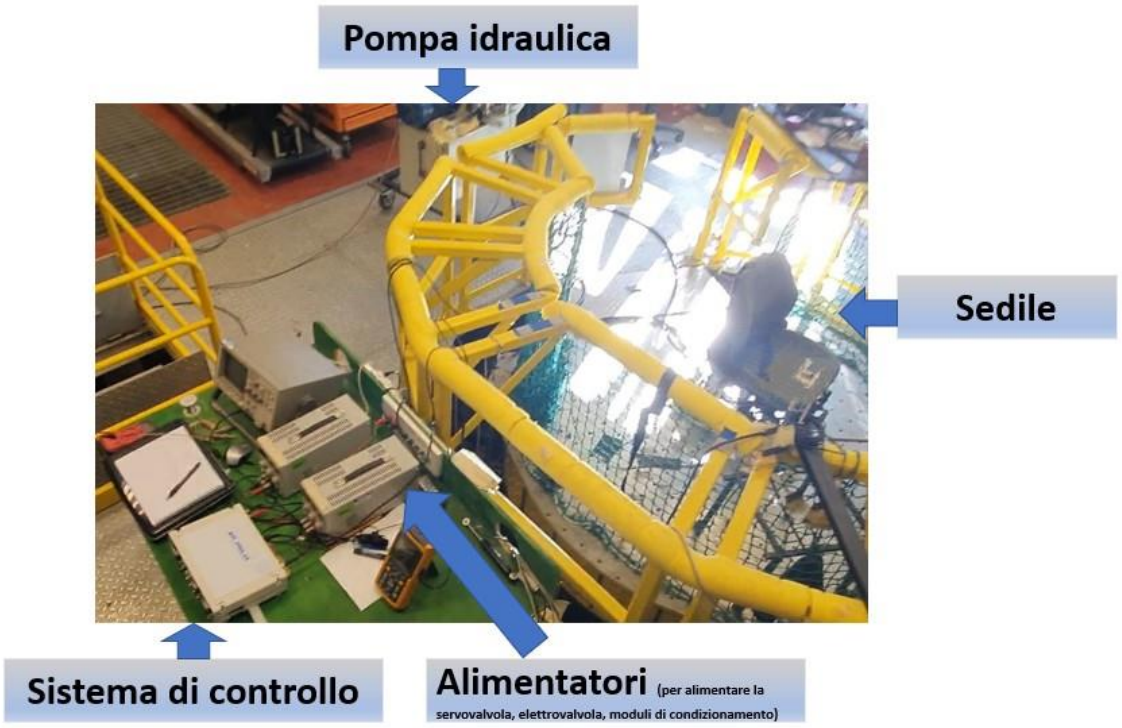


Figura 2. Vista dall'alto del layout.



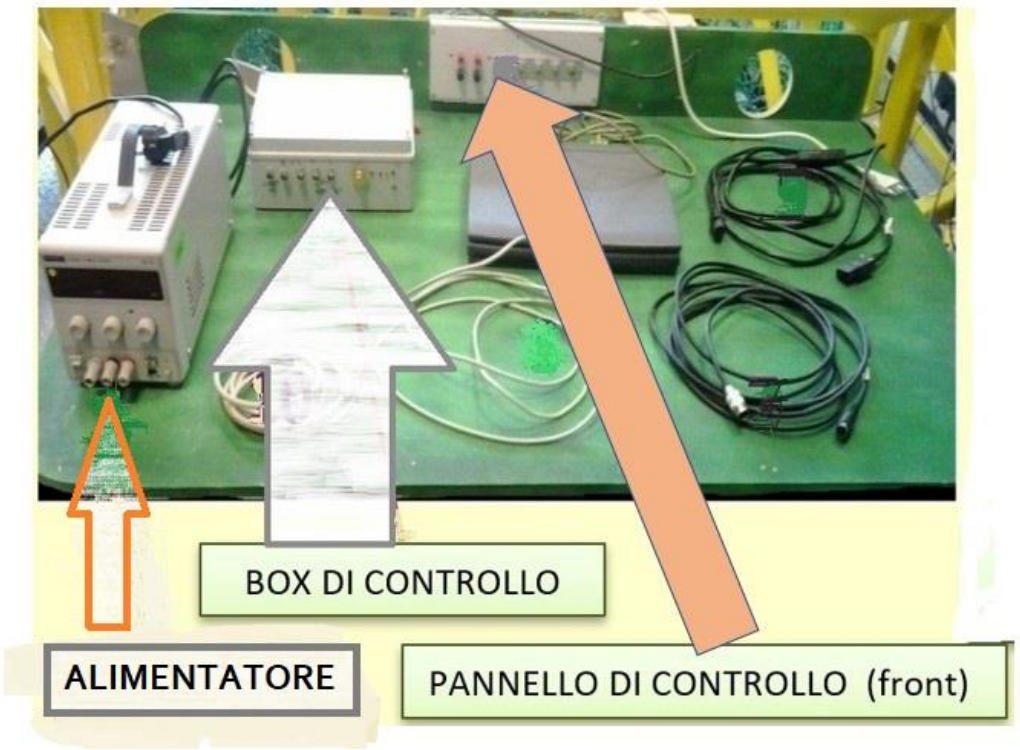
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2. Materiali e Metodi

Il sistema di controllo negli anni ha ricevuto e tuttora riceve continue modifiche con relative migliorie prestazionali.

Nella prima versione i segnali accelerometrici d'ingresso provenienti uno dal sedile e l'altro dalla base vibrante, venivano condizionati e inviati ad una scheda Motorola DSP56002, all'interno del Box di controllo nella Figura 3, dove si generava il segnale antivibrante sommato al segnale di controllo statico in uscita dalla scheda Arduino_2. Il segnale risultante di cancellazione uscendo dal Box di controllo, arrivava al pannello di Controllo e poi al sedile per gestire la servo valvola e dunque l'attuatore.

Figura 3. Prima versione del sistema di controllo.



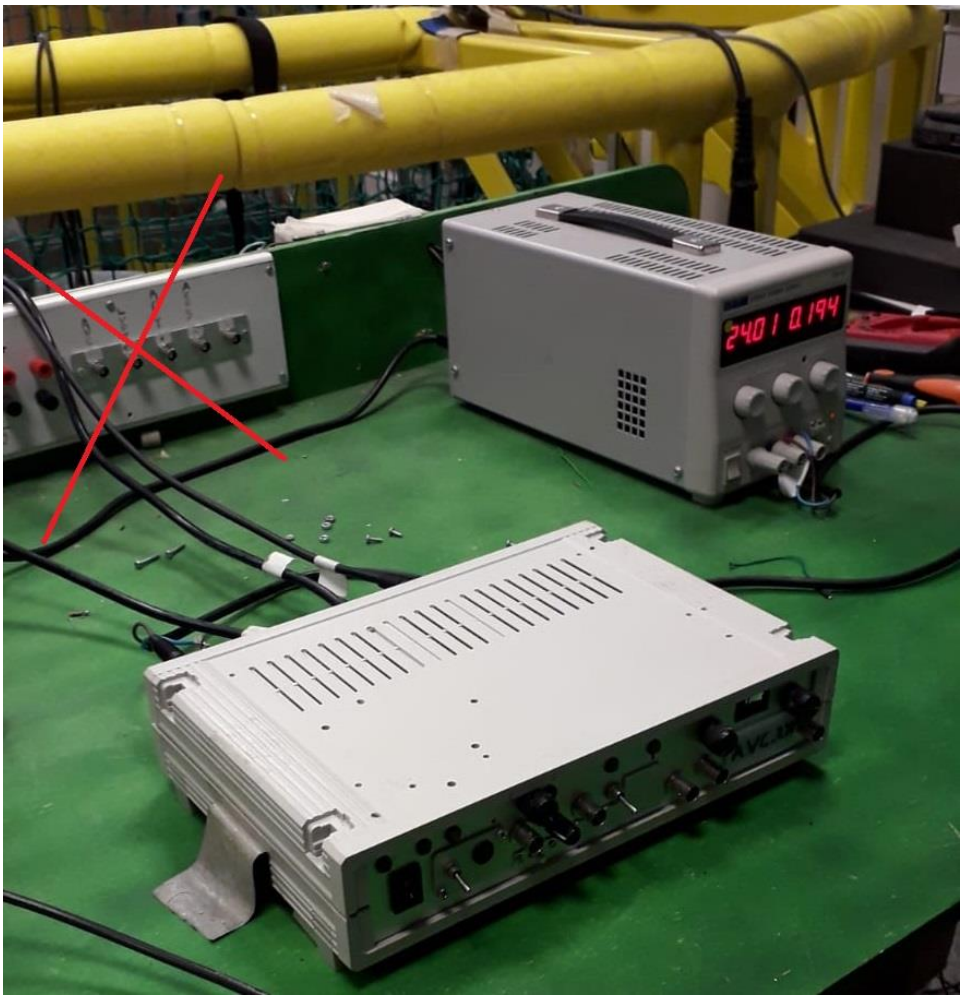
Nell'ultima versione il segnale di contro vibrazione viene generato e controllato da un DSP basato su schede commerciali XMOS e Arduino_2 basate su algoritmi di tipo adattivo. La scheda XMOS effettua l'elaborazione dei due segnali e genera il segnale antivibrante. La scheda Arduino_2 acquisisce i segnali provenienti dal sensore LVDT ed in base a questi genera il segnale di controllo statico, controllo necessario per assicurare al pantografo del sedile sempre la corsa massima. Il segnale di controllo statico in uscita viene sommato al segnale antivibrante, mediante un sommatore analogico.

Il segnale finale in uscita dalla scatola di controllo arriva, tramite un cavo a 8 pin, direttamente al sedile e va a comandare il passaggio dell'olio mediante la servovalvola.

Nella Figura successiva viene rappresentato il nuovo sistema di controllo dove, rispetto alla versione precedente, viene bypassato il pannello di controllo.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 4. Ultima versione del sistema di controllo.



Con l'ultima versione del sistema di controllo, oltre ad avere un collegamento elettrico diretto con il sedile, sono state effettuate alcune migliorie sia dal punto di vista sia Hardware che Software.

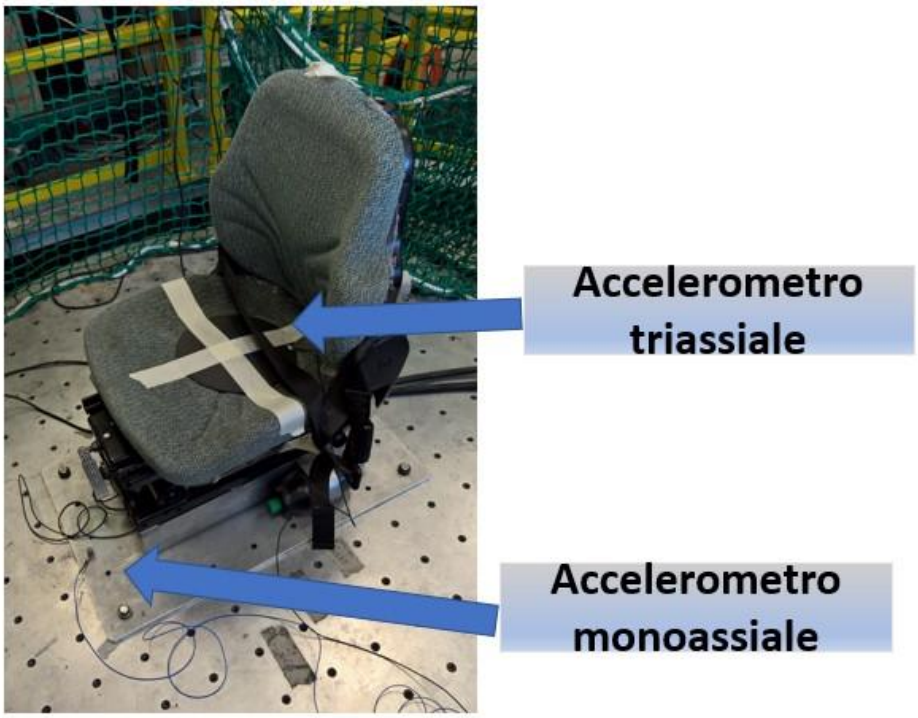
A livello di Hardware, tra le varie modifiche ad esempio è stato implementato un circuito di condizionamento dei segnali accelerometrici in ingresso che ha permesso di allargare la banda alle basse frequenze (meno di 2Hz). Anche a livello software è stato possibile enfatizzare le basse frequenze implementando un filtro digitale.

I test sul sedile, effettuati dal 2016, sono avvenuti nel laboratorio Vibrazioni del Centro Ricerche INAIL di Monte Porzio Catone, tramite la tavola vibrante a 6 gradi di libertà MAST della MTS.

Le prove atte a verificare l'efficacia del sistema di controllo attivo, tramite il calcolo della trasmissibilità del sedile, hanno previsto delle sollecitazioni sinusoidali e randomiche a varie frequenze e con diverse ampiezze; durante ogni prova è stato collocato un accelerometro triassiale sulla seduta del sedile in parallelo ad un accelerometro mono-assiale sul pianale della tavola, come mostrato in figura 5.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 5. Set up sperimentale di misura.



Nello specifico, per quanto riguarda i test effettuati relativi alla prima versione del sistema di controllo, dai valori accelerometrici dell'asse Z del sedile con il sistema AVC acceso e dai valori dell'asse Z del pianale della tavola vibrante, sono stati ricavati i diversi valori di trasmissibilità del sedile.

Il protocollo di misura ha previsto la generazione con la tavola vibrante di segnali sinusoidali in un range di frequenze 1 Hz – 5 Hz (step 0,5 Hz) e ampiezza 10 mm picco-picco con contemporanea acquisizione dei segnali accelerometrici.

Successivamente, è stato generato un segnale randomico con frequenza 2 Hz – 5 Hz e ampiezza 10 mm RMS con la contemporanea acquisizione dei segnali accelerometrici.

Per quanto concerne l'ultima versione del sistema di controllo, la caratterizzazione del sistema ha previsto il seguente set up di misura: con la Tavola Vibrante sono stati mandati dei segnali sinusoidali in un range di frequenza 1 Hz – 5 Hz (step 1 Hz) e ampiezza ±15 mm e sono stati acquisiti i segnali accelerometrici dei valori dell'asse Z del pianale della tavola ed i segnali accelerometrici dell'asse Z del sedile sia con il sistema AVC acceso sia con il Sistema AVC spento; in questo modo si è potuto ottenere la reale attenuazione delle vibrazioni per le varie bande in frequenza di interesse.

Per quanto riguarda le prove con segnali randomici, con la tavola vibrante è stato generato un segnale nel range 1,5 Hz – 5 Hz con un'ampiezza di 12 mm RMS e acquisendo i segnali accelerometrici dell'asse Z del sedile AVC acceso ed il pianale della tavola vibrante, è stata calcolata la trasmissibilità del sedile.

3. RIsultati

Di seguito sono riportati i risultati delle prove sperimentali relative alla prima versione del sistema di controllo.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Nella tabella 1 sono indicati i valori di trasmissibilità globale del sedile, in accordo con il valore SEAT [3], rispettivamente per ogni segnale sinusoidale mandato dalla tavola vibrante.

Tabella 1. Valori di trasmissibilità globale per i vari segnali sinusoidali.

Segnale generato dalla tavola vibrante: sinusoidale	Trasmissibilità globale
Frequenza: 1 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	1,037
Frequenza: 1,5 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	1,554
Frequenza: 2 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,699
Frequenza:2,5 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,526
Frequenza: 3 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,296
Frequenza: 3,5 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,334
Frequenza: 4 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,278
Frequenza: 4,5 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,217
Frequenza: 5 Hz Ampiezza: 10 mm p-p	0,219

Nel caso della sollecitazione randomica sono riportati in tabella 2 i valori della trasmissibilità banda per banda, dall' analisi in 1/3 di ottava, per il sedile con il sistema AVC acceso.

Tabella 2. Trasmissibilità banda per banda, nel caso di segnale randomico, del sedile con la prima versione di sistema di controllo.

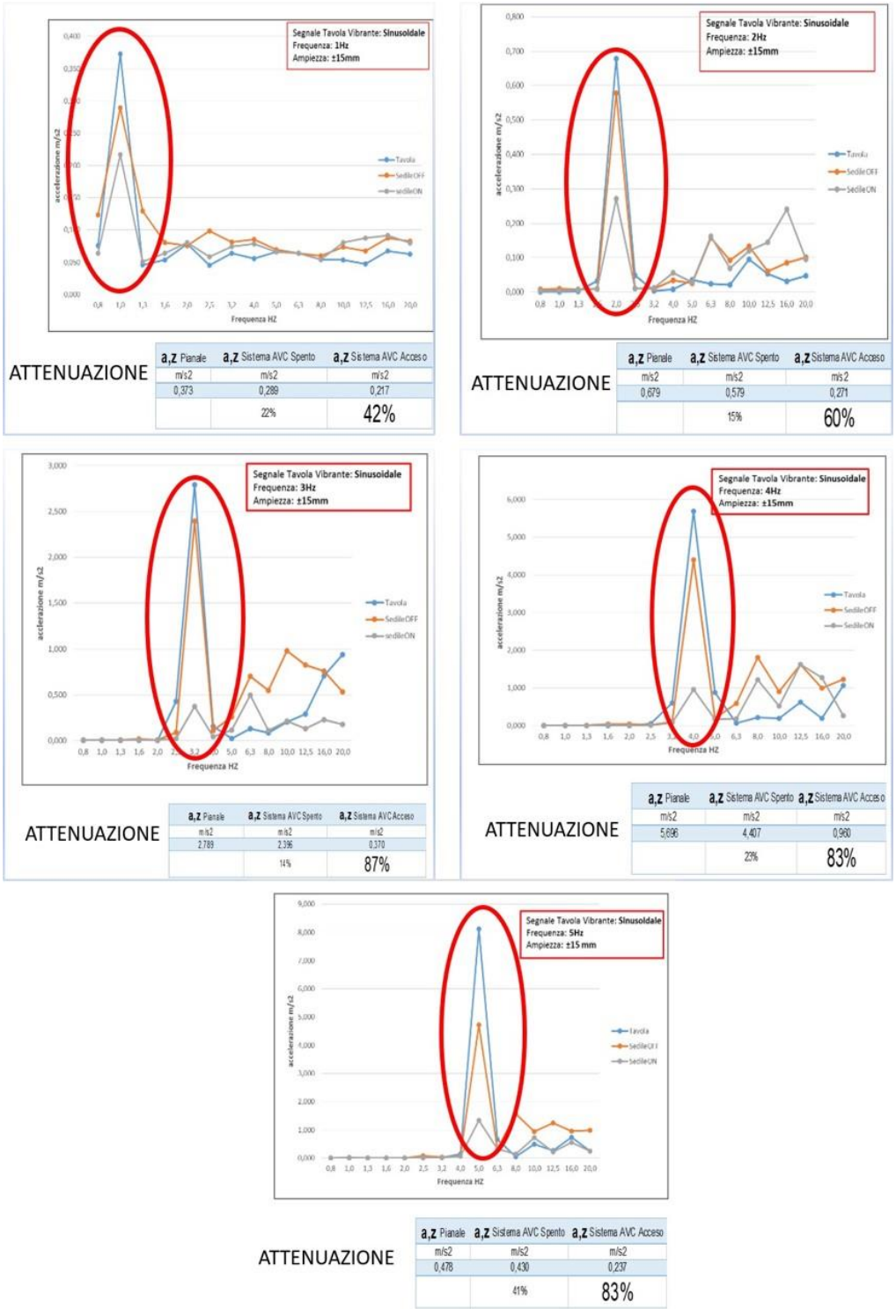
Frequenza(Hz)	a,z Sedile con sistema AVC acceso (m/s2)	a,z Pianale (m/s2)	Trasmissibilità Banda per banda a,z seat/a,z platform
1,6	0,092	0,054	1,696
2	0,642	0,527	1,219
2,5	1,305	1,545	0,844
3,15	1,121	1,556	0,720
4	0,764	1,294	0,590
5	0,582	1,259	0,462

I risultati, atti a verificare invece l'efficacia del sistema AVC composto dalla scheda XMOS e ARDUINO_2, sono illustrati rispettivamente nelle Figure 6 e 7 ed in tabella 3

Nello specifico in figura 6 sono riportati dei grafici in cui si evidenzia dall'analisi in frequenza l'efficacia di cancellazione (attenuazione) del sistema alle varie frequenze di eccitazione dei segnali sinusoidali generati dalla tavola vibrante. Nell'asse delle frequenze in bande di 1/3 di ottava sono confrontati i valori accelerometrici dell'asse Z del sedile con il sistema AVC acceso (**sedile ON** in grigio sul grafico), l'asse Z del sedile con il sistema AVC spento (**sedile OFF** in arancio sul grafico) ed il pianale della Tavola Vibrante (**Tavola** in blu sul grafico).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

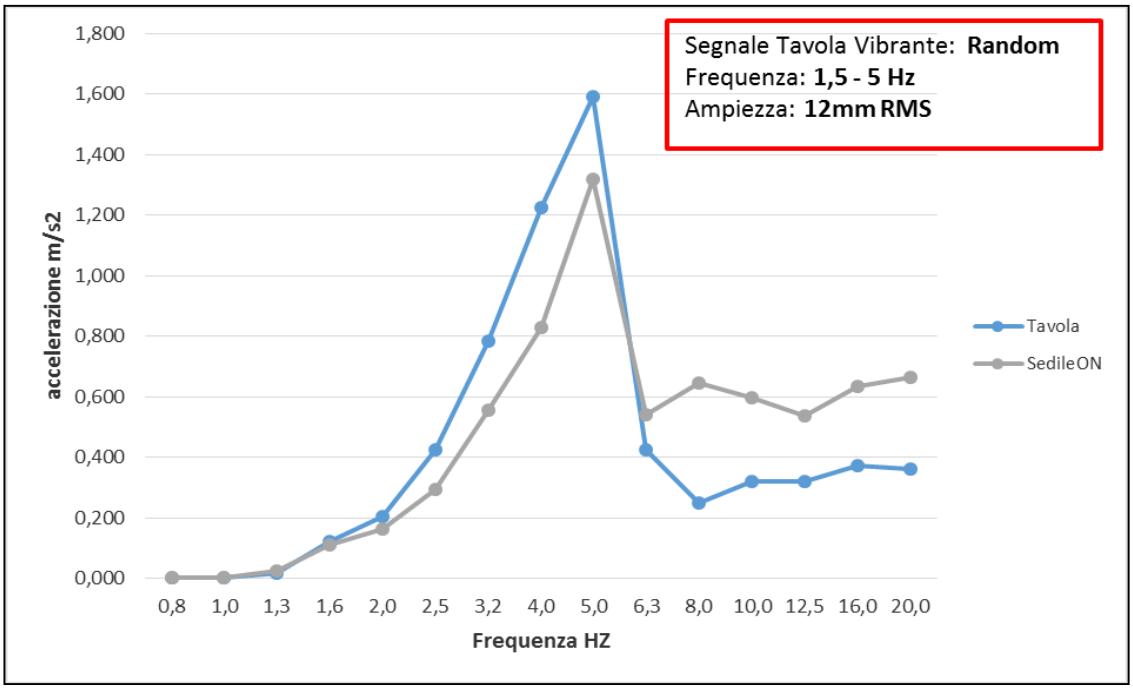
Figura 6. Attenuazione del sistema AVC per i vari segnali sinusoidali generati dalla tavola vibrante.



In figura 7 ed in tabella 3 sono illustrati i risultati delle prove con segnali randomici; Nell'asse delle frequenze in bande di 1/3 di ottava (figura 7) sono confrontati i valori accelerometrici dell'asse Z del sedile AVC acceso (**sedile ON** in grigio sul grafico) ed il pianale della tavola vibrante (**Tavola** in blu sul grafico).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 7. Analisi in frequenza dei due segnali accelerometrici (sedile con AVC acceso e Pianale tavola) durante sollecitazione randomica.



In tabella 3 sono indicati i valori di trasmissibilità, per bande di terzi di ottava, del sedile con il sistema AVC in funzione.

Tabella 3. Trasmissibilità banda per banda, nel caso di segnale randomico, del sedile con l'ultima versione del sistema di controllo.

Frequenza (Hz)	a,z Sedile con sistema AVC acceso (m/s2)	a,z Pianale (m/s2)	Trasmissibilità Banda per banda a,z seat/a,z platform
0,8	0,003	0,001	3,285
1	0,002	0,001	1,990
1,25	0,026	0,017	1,541
1,6	0,110	0,122	0,901
2	0,162	0,205	0,790
2,5	0,293	0,424	0,690
3,15	0,556	0,785	0,707
4	0,828	1,225	0,676
5	1,319	1,590	0,829
6,3	0,543	0,424	1,280
8	0,646	0,250	2,585
10	0,597	0,321	1,859
12,5	0,538	0,322	1,669
16	0,634	0,374	1,695
20	0,663	0,361	1,839

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Il valore di trasmissibilità globale, in accordo con il fattore SEAT, nell'intervallo 0,8 Hz – 20 Hz è di 0,933 mentre assume valore di 0,704 nell'intervallo 1,6 Hz- 5 Hz

4. Conclusioni

Dalle misure sperimentali effettuate sul sedile si evince come il lavoro svolto in questi anni sul sistema di controllo sia a livello hardware che software abbia portato delle migliorie nelle performance. Si può notare come nell'ultima versione del sistema di controllo, nel caso di segnali sinusoidali emerge un'efficace riduzione delle vibrazioni alle basse frequenze, evidenziandone la capacità di controllare anche la frequenza di 1 Hz. Il sistema risponde in maniera efficace, in modo incoraggiante per la futura sperimentazione sul campo, anche nel regime di sollecitazione randomico; dall'analisi in 1/3 di ottava è emerso che si ottengono confortanti risultati di attenuazione delle vibrazioni, con valori di trasmissibilità sotto il valore 1, nel range di frequenze 1,5 Hz – 5 Hz.

Riferimenti

1. Antonio Moschetto; Pietro Nataletti; Massimo Del Duca; Diego Annesi; Alessandro Lunghi; Angelo Tirabasso; Raoul Di Giovanni. Un nuovo sedile a Controllo Attivo delle Vibrazioni per proteggere i lavoratori agricoli dalle vibrazioni. 34° Congresso Nazionale di Igiene Industriale e Ambientale Ortona (CH) 21- 23 giugno 2017.Atti di convegno
2. A. Moschetto; P. Nataletti1; M. Del Duca2; D. Annesi. Prima caratterizzazione del nuovo sedile a controllo attivo delle vibrazioni sviluppato dall'Inail per proteggere I lavoratori agricoli dalle vibrazioni. 3° Seminario Acustica e Industria TECNICHE INNOVATIVE PER IL CONTROLLO DEL RUMORE E DELLE VIBRAZIONI DEI PRODOTTI INDUSTRIALI 15 Febbraio 2018. Poster
3. UNI EN 13490:2009 ''Vibrazioni meccaniche - Carrelli industriali - Valutazione in laboratorio e specifica delle vibrazioni trasmesse all' operatore dal sedile''e UNI EN ISO 7096:2020 '' Macchine movimento terra - Valutazioni di laboratorio delle vibrazioni trasmesse al sedile dell'operatore''

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Application of physiological measurements for thermal comfort assessment

Silvia Angela Mansi [1,*], Camillo Porcaro[2,3,4,5], Ilaria Pigliautile[6], Anna Laura Pisello[6] and Marco Arnesano [1]

[1] Università Telematica eCampus, 22060 Novedrate (CO), Italy
[2] Institute of Cognitive Sciences and Technologies (ISTC) - National Research Council (CNR), Rome, Italy.
[3] Centre for Human Brain Health and School of Psychology, University of Birmingham, Birmingham, UK
[4] S. Anna Institute and Research in Advanced Neurorehabilitation (RAN) Crotone, Italy
[5] Department of Information Engineering, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy
[6] CIRIAF – Centro interuniversitario sull'inquinamento e l'ambiente Mauro Felli, Dipartimento di Ingegneria, Università di Perugia, 06125 Perugia, Italy

* Corresponding author: silviaangela.mansi@uniecampus.it

Abstract: A wearable device to acquire electroencephalographic (EEG) signals was used to investigate changes in the EEG frequency domain at different indoor temperatures. Twenty-three participants were enrolled and the EEG signals were recorded during a rest condition with open eyes (i.e. a condition without any specific task) using three different ambient temperatures cold (16°C), neutral (24°C), and warm (31 °C) in a climate chamber. Beta and gamma bands showed significant differences across the three different temperatures. In particular, pairwise comparisons revealed differences in TP9 and TP10 electrodes between cold and neutral conditions for beta and gamma bands and between the cold and warm conditions in the gamma band. A significant difference was found between cold and neutral conditions for the gamma band in TP10 as well. The preliminary results presented in this study bring to the conclusion that wearable devices could be used for EEG measurements applied to thermal comfort assessment. Nevertheless, given the low data quality provided by such devices, a pre-processing procedure is required to make data free from artefatcs and reliable for the analysis. Future developments will include other physiological parameters in conjunction with the EEG to investigate the percepetion in indoor environments.

Keywords: electroencephalogram (EEG); wearable device; thermal comfort.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduction

Electroencephalography (EEG) is a non-invasive measurement able to record the electrical activity of the brain at the scalp level.

EEG measures the voltage fluctuations resulting from ionic current within the neurons of the brain [1] through electrodes applied on the scalp at specific positions according to the International 10–20 system.

Since EEG is strictly connected to the sensory and cognitive process, it is reasonable to think that environmental thermal changes detectable from changes in EEG signals might affect human performances [2]. Studies showed how frequency changes of EEG signals are linked to outer thermal state variation. Lv and colleagues [3] correlated the EEG frequency bands to the neutral and warm air temperatures. They showed higher delta-band activity in warm condition. Yao and colleagues [4] measured EEG signals from 20 subjects exposed at low, neutral, and high temperatures, showing that the relative EEG power of the beta band was significantly higher in the cold and warm environment compared to the neutral condition. Young and colleagues [5] showed a positive correlation between the EEG theta band and thermal sensation and a negative one for the beta band. Lim [6] found a connection between the EEG and thermal comfort, alpha/beta ratio (RAB) increased in a comfortable environment, the opposite trend was highlighted by the relative beta (RB). Several studies revealed [7], [8] [9] how EEG frequencies change in conjunction with body temperature variations and where the ambient temperature influences EEG PSDs (Power Spectral Density). Young J. Son et al. [5] investigated a correlation between psychological and physiological measures to evaluate thermal comfort. Their results showed an increase of theta band and a decrease of the beta band according to the thermal pleasure. Meng Wu et al. [10] classified thermal comfort under different conditions, showing an increase of delta and a decrease of beta power in warm environment. Minghui Zhu [11] examined changes in EEG responses during a cognitive activity at different air temperatures. Findings indicated a high value of relative delta and a low value of relative theta, alpha, and beta at high temperatures.

In a previous EEG study, signal recording was done using traditional cap or medical devices; these devices are able to provide good quality of data, but they required long time of applications and often they are perceived unpleasant by the users. This issues are solved by the advent of wearable sensors. They offer several advantages: they are low cost, simple to be used, their comfortable design allows to reduce the time of application and, more importantly, they considerably attenuate the obstructiveness of measurements, making the experimental time not unpleasant for the participants. However, they are strongly prone to collect environmental noise, which means that acquired data need to be pre-processed before they became reliable for the analysis. New methodologies for cleaning wearable sensor data are currently underway [12].

This study aims to demonstrate that EEG wearable sensors, when used in conjuction with signal processing, can be used as non-intrusive measurement system in the field of thermal comfort assessment in indoor environments.

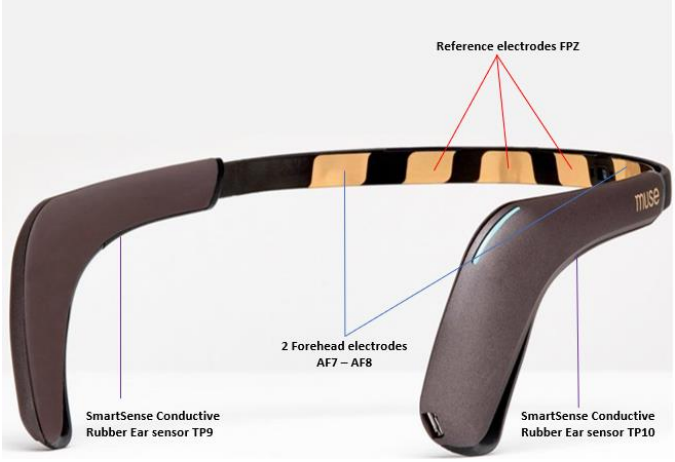
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2. Materials and Methods

2.1. Measurements of EEG

In this study, the EEG signal acquisition was done using a commercial wearable device: Interaxon MUSE headband [13]. It records the brain activity from 4 recording electrodes. The reference electrodes are located on the forehead and the input electrodes are two front (left and right of the reference: AF7, AF8) and two posteriors, above each ear (TP9 and TP10) (Figure 1). The device acquires signals at 256 Hz sampling frequency. The commercial scope of Muse is to monitor the meditation state of users, but many studies demonstrated its ability to be applied in research experimental context [12]–[14]. The applicability of MUSE is quick and simple, due to the presence of dry electrodes. Data were collected using Mind Monitor app [15] for mobile phone, the communication is through BLE, the raw signal and the absolute value of frequency bands for each channel are cpmputed.

Figure 1. MUSE 2 headband, overview of sensors



2.2. EEG data processing

An on- board digital signal processing (DSP) module of Muse allows noise filtering (0.1- 45 bandpass and notch at 60Hz), eye blink and jaw clench artefacts removal, Fast Fourier Transform (FFT) on the raw data using a 256-samples window, with a step of 22 samples. Five frequency bands are obtained: delta: 0.1-4 Hz; theta: 4-7.5 Hz; alpha: 7.5-12 Hz; beta: 12-30 Hz and gamma: 30-45 Hz. The average power in these bands is real-time computed in hardware and sent alongside an indicator of data quality from each sensor [16].

2.3. Participants

Twenty-three healthy volunteers were enrolled for the experiment, during wintertime from January to February 2021. This group included 9 males and 14 females. All volunteers were locals, they were PhD students at ''University of Perugia'', where the experiment took place. None of them had a pathological history. Personal information were collected with a survey filled by all subjects at the end

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

of each test. Table 1 summarizes the information about the participants involved in the campaign. The average clothing thermal insulation was 1.1 clo, tipycal for winter clothes; the metabolic rate of partecipants was 1.1 met according to standard ISO 7730 [17]. The second part of the survey aims at collecting data about the thermal perception. In particular, the sensation vote for each thermal condition is given through a 7-points scale going from -3 to 3, where 0 corresponds to neutrality.

Table 1. Details of the subjects participating in experiments.

Information	**Mean ± SD**
Total number of Subjects	23 (9 males and 14 females)
Age (years)	27-32
Height (cm)	162±12
Weight (kg)	50.7 ± 15.3
Occupation	PhD students

2.4. Experimental condition

The 6-day experiment was carried out in a controlled climate chamber. The air velocity was always around 0.1 m/s, and the relative humidity of air was not dependently controlled, while the air temperature was set at 16 °C (cold), 24°C (neutral), and 31°C (warm) according to the thermal sensation perceived by the partecipants collected with survey (Table 2).

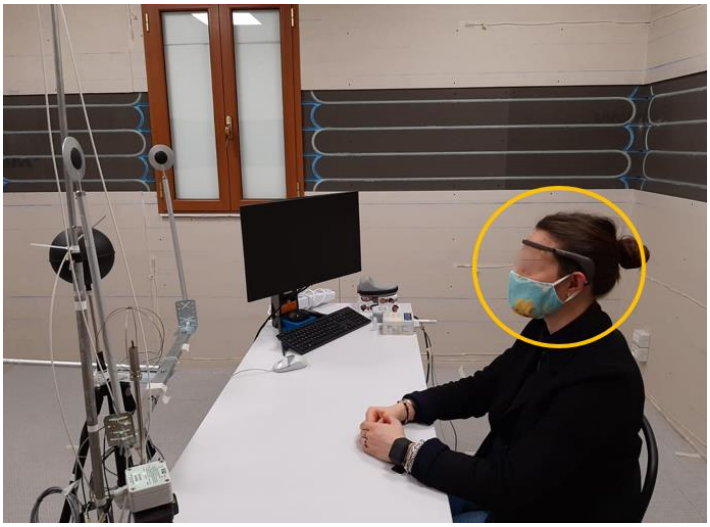
Table 2. Mean values and STD of physical parameters inside the climate chamber.

Measured Parameter	**16**	**24**	**31**
Air Temperature (°C)	16.7 ± 0.3	24.3 ± 0.5	31.4 ± 0.5
Relative Humidity (%)	25.9 ± 0.5	20.1 ± 0.2	18.2 ± 0.4
Air velocity (m/s)	0.1 ± 0.02	0.07 ± 0.04	0.09 ± 0.03
Mean radiant Temperature (°C)	16.4 ± 0.6	23.9 ± 0.5	30.2 ± 0.4
C02 concentration (ppm)	487± 12	492 ± 4	502 ± 6

A stringent schedule for the experiment was adopted. The measurements were done from 10:00 to 13:00 in the morning and 15:00 to 18:30 in the afternoon. Subjects were asked to sit down and keep relaxed, no activity was allowed. The experimental procedure was carried out in a sequential manner, 2 days for each condition were dedicated. Each experiment lasted 20 min, 15 min for thermal adaptation (the previous study affirmed that people need 15 min to adapt to a new environment [18]) and 5 for recording data. (Figure 2).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 2. Measurements of EEG signals with Muse headband Interaxon in climate chamber

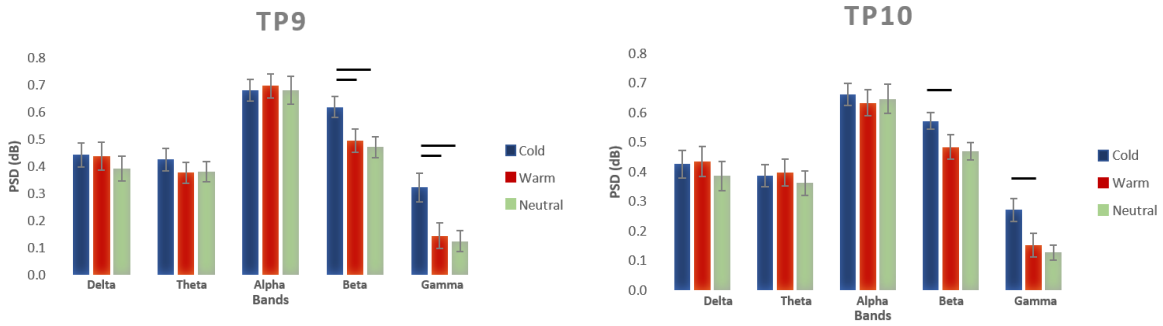


3. Results

Since the data were not normally distributed the Kruskal-Wallis H non-parametric test was performed. Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise test was performed to test differences between thermal conditions.

A Kruskal-Wallis H test showed that there was a statistically significant difference in TP9 and TP10 beta band among conditions ($\chi2(2) = 6.659$, $p = 0.036$; $\chi2(2) = 5.792$, $p = 0.05$ respectivelly). Significant differences were found in gamma bands for TP9 and TP10 as well ($\chi2(2) = 8.352$, $p = 0.015$; $\chi2(2) = 6.925$, $p = 0.031$ respectivelly) (Figure 3).

Figure 3. Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons among electrodes and conditions. The horizontal black line indicates a pairwise significant test (see table 2).



The Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons showed that Cold condition (C) was different from Neutral condition (N) for TP9 in the beta band (W=-3.371; P=0.045) and in gamma band (C vs.N: W=-3.6506; P=0.027) and (C vs. Warm (W): W=-3.4021; P=0.043). In TP10 C was different from N in beta band (W=-3.153;P=0.044), gamma band showed C vs. N difference (W=-3.588; P=0.030) as well (Table 2).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 2. Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons results

Beta TP9		**W**	**p-value**
C	**N**	**-3.371**	**0.045**
C	W	-2.812	0.115
N	W	0.761	0.853
Beta TP10			
C	**N**	**-3.153**	**0.044**
C	W	-2.718	0.132
N	W	-0.077	0.99
Gamma TP9			
C	**N**	**-3.6506**	**0.027**
C	**W**	**-3.4021**	**0.043**
N	W	0.761	0.853
Gamma TP10			
C	**N**	**-3.588**	**0.03**
C	W	-2.812	0.115
N	W	0.761	0.853

4. Discussion

Results presented in this study show that EEG signals significantly changed in temporoparietal beta and gamma bands. These results are in line with H. Oi et al. study [19], they used the fMRI technique to investigate which brain lobe was involved in thermal perception, they discovered that at low temperatures the brain part mostly activated were the left dorsal posterior insula, putamen and amygdala. Similar results were also found by Yao Y et al [4]. On the other side, this is somewhat inconsistent with other ones. For example, Lan et al. demonstrated [20] that the delta band increases in neutral conditions. More research is needed to examine the further link between EEG and thermal perception and whether EEG can be used as an indicator of thermal comfort, more importantly, if it is sufficient to measure only this physiological signal to identify some thermal effects or it is needed a combination with some others (e.g. environmental data), some studies are currently moving towards that direction [21].

5. Conclusions

Different indoor temperatures caused measurable changes in EEG signals. Temporal electrodes showed significant differences across thermal conditions, especially in beta and gamma bands. For the left temporal electrodes there are statistically differences between cold and netral conditions in beta bads and between cold – neutral and cold – warm condition in gamma band. For the right temporal electrode in beta and gamma bands the difference is consistent only between the cold and neutral conditions. In the field of thermal comfort, it is important to consider the aspect of the measurement's intrusivity; medical devices usually introduce a bias in the subject well being that could lead to an incorrect evaluation of the thermal sensation. Wearable thechonlogies and they comfortable design considerably reduce the measurement's intrusivity, but at the same time they are prone to register

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

artefacts and to provide low signal-to-noise ratio. This issue can be handled by using pre-processing procedure aimed at data cleaning and arctifacts removal. An uncertainty analysis will be conducted, in future developments, to evaluate the impact of EEG uncertainty on thermal comfort measurements.

6. Acknowledgements

The research has been supported by the Italian Ministry of Research through PRIN 2017 program, within the framework of NEXT. COM (Prot. 20172FSCH4) "Towards the NEXT generation of Multiphysics and multidomain environmental COMfort models: theory elaboration and validation experiment". The author also acknowledges the constructive feedback from project colleagues.

References

[1] S. Sanei and J. A. Chambers, *EEG Signal Processing*. 2013.

[2] E. Başar, “A review of alpha activity in integrative brain function: Fundamental physiology, sensory coding, cognition and pathology,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 86, no. 1, pp. 1–24, 2012, doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.07.002.

[3] B. Lv, C. Su, L. Yang, and T. Wu, “Effects of stimulus mode and ambient temperature on cerebral responses to local thermal stimulation: An EEG study,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 113, pp. 17–22, 2017, doi: 10.1016/j.ijpsycho.2017.01.003.

[4] Y. Yao, Z. Lian, W. Liu, and Q. Shen, “Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures,” *Physiol. Behav.*, 2008, doi: 10.1016/j.physbeh.2007.09.012.

[5] Y. J. Son and C. Chun, “Research on electroencephalogram to measure thermal pleasure in thermal alliesthesia in temperature step-change environment,” *Indoor Air*, 2018, doi: 10.1111/ina.12491.

[6] J. R. Lim, G. H. Baek, and E. S. Jeon, “Analysis of the Correlation between Thermal Sensations and Brain Waves via EEG Measurements,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 8, pp. 6069–6075, 2018.

[7] T. Deboer, “Electroencephalogram theta frequency changes in parallel with euthermic brain temperature,” *Brain Res.*, 2002, doi: 10.1016/S0006-8993(02)02247-3.

[8] T. Deboer and I. Tobler, “Temperature dependence of EEG frequencies during natural hypothermia,” *Brain Res.*, 1995, doi: 10.1016/0006-8993(94)01299-W.

[9] K. Kanosue *et al.*, “Brain activation during whole body cooling in humans studied with functional magnetic resonance imaging,” *Neurosci. Lett.*, 2002, doi: 10.1016/S0304-3940(02)00621-3.

[10] M. Wu, H. Li, and H. Qi, “Using electroencephalogram to continuously discriminate feelings of personal thermal comfort between uncomfortably hot and comfortable environments,” *Indoor Air*, 2020, doi: 10.1111/ina.12644.

[11] M. Zhu, W. Liu, and P. Wargocki, “Changes in EEG signals during the cognitive activity at varying air temperature and relative humidity,” *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2020, doi: 10.1038/s41370-019-0154-1.

[12] E. Ratti, S. Waninger, C. Berka, G. Ruffini, and A. Verma, “Comparison of medical and consumer wireless EEG systems for use in clinical trials,” *Front. Hum. Neurosci.*, 2017, doi:

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

10.3389/fnhum.2017.00398.

[13] O. E. Krigolson, C. C. Williams, A. Norton, C. D. Hassall, and F. L. Colino, “Choosing MUSE: Validation of a low-cost, portable EEG system for ERP research,” *Front. Neurosci.*, 2017, doi: 10.3389/fnins.2017.00109.

[14] A. E. Youssef, H. T. Ouda, and M. Azab, “MUSE: A Portable Cost-efficient Lie Detector,” in *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference, IEMCON 2018*, 2019, doi: 10.1109/IEMCON.2018.8614795.

[15] “https://mind-monitor.com/.” .

[16] T. Karydis, S. L. Foster, F. Aguiar, and A. Mershin, “Performance characterization of self-calibrating protocols for wearable EEG applications,” *8th ACM Int. Conf. PErvasive Technol. Relat. to Assist. Environ. PETRA 2015 - Proc.*, 2015, doi: 10.1145/2769493.2769533.

[17] “ISO 7730:2005-Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria.”.” .

[18] A. Ghahramani, G. Castro, B. Becerik-Gerber, and X. Yu, “Infrared thermography of human face for monitoring thermoregulation performance and estimating personal thermal comfort,” *Build. Environ.*, vol. 109, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.09.005.

[19] H. Oi *et al.*, “Neural correlates of ambient thermal sensation: An fMRI study,” *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1038/s41598-017-11802-z.

[20] L. Lan, Z. Lian, and L. Pan, “The effects of air temperature on office workers’ well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings,” *Appl. Ergon.*, 2010, doi: 10.1016/j.apergo.2010.04.003.

[21] I. Pigliautile, S. Casaccia, N. Morresi, M. Arnesano, A. L. Pisello, and G. M. Revel, “Assessing occupants’ personal attributes in relation to human perception of environmental comfort: Measurement procedure and data analysis,” *Build. Environ.*, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106901.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Governance e resilienza in territori fragili. Analisi degli impatti socio-economici e ambientali derivanti dall'impiego delle biomasse da manutenzione boschiva nell'area del Sud-Ovest Orvietano

Luca Fondacci[1,*], Andrea Nicolini[2], Franco Cotana[2], Mattia Manni[3], Leandro Lunghi[2]

[1] Comitato scientifico Ciriaf-CRB, Università di Perugia – Dipartimento Architettura Università di Ferrara, Italia - via G.Duranti 67, 06125 Perugia – Via della Ghiara 36, 44121 Ferrara

[2] Ciriaf-crb Università di Perugia - via G. Duranti 67, 06125 Perugia

[3] Università per Stranieri di Perugia

***** Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: luca.fondacci@unipg.it

Abstract: Le aree interne sono centri di piccole dimensioni, diversificati e ricchi di potenzialità, ma distanti dai maggiori poli urbani, che rappresentano il 53% dei comuni, ospitano il 23% della popolazione e occupano il 60% del territorio nazionale. Tuttavia da decenni sono sottoposte a seri cali demografici, della occupazione e dell'offerta dei servizi essenziali, quali istruzione, salute, mobilità e tutela dell'ambiente, in quest'ultimo caso con pesanti conseguenze in termini di dissesto idro-geologico e degrado del patrimonio culturale e paesaggistico. La Strategia nazionale delle aree interne-Snai ha l'obiettivo di definire un modello di sviluppo integrato per il rilancio socio-economico-spaziale di queste aree basato sui concetti di governance territoriale e resilienza. Questo articolo presenta la struttura della ricerca avviata il I° Febbraio 2021 presso il Ciriaf-CRB, parte integrante del progetto per il piano di azione *Adattamento ai cambiamenti climatici ed azioni di resilienza nelle Aree Interne del Sud-Ovest dell'Orvietano*-ACARO e volta a definire un modello di gestione delle biomasse in grado di contribuire all'attuazione della Snai. Come area pilota è stato individuato il bosco ceduto della Partecipanza Agraria di Castel Viscardo Viceno, in destra idraulica del fiume Paglia. Lo studio intende verificare la disponibilità di biomassa e le potenzialità di recupero, manutenzione e valorizzazione energetica. L'analisi inoltre intende verificare sperimentalmente la possibilità di caratterizzare le biomasse presenti nel fiume Paglia (fanghi e detriti) per inserirle all'interno della filiera produttiva dei laterizi. Lo studio si propone pertanto come un piano strategico territoriale-ambientale volto ad offrire

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_032_pp_336

all'area interna del Sud-Ovest orvietano opportunità di sviluppo innovativo ed eco-compatibile.

Keywords: aree interne, valorizzazione biomasse residuali, pianificazione strategica del territorio, governance, resilienza,

Introduzione

La natura *place-based,* mirata cioè ai luoghi, della Politiche di Coesione 2014-2020 fa riferimento a tre profili di territorialità: a) la specificità territoriale delle risorse naturali e istituzionali, delle preferenze, delle conoscenze individuali, b) il ruolo svolto dai collegamenti materiali e immateriali tra luoghi, c) la conseguente necessità di interventi da adattare ai luoghi [1-2]. Le politiche *place-based* sono le più indicate per promuovere interventi integrati mirati a innescare cambiamenti, perché oltre ad essere basate sulla conoscenza dei luoghi, sono verificabili e misurabili con riferimento ai dati e di conseguenza sottoposte a monitoraggio e rendicontazione [3-4]. Tali politiche puntano a creare opportunità di sviluppo attraverso una maggiore attenzione alle risorse endogene dei territori e mediante una *governance multilivello* in cui assumono particolare rilievo la resilienza dei *network* locali, cioè la capacità dei sistemi territoriali di saper fronteggiare e rigenerarsi dagli effetti perturbanti prodotti da un evento negativo.

Il Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e sull'Ambiente Mauro Felli-CIRIAF, dell'Università degli Studi di Perugia con la sua sezione Centro di Ricerca sulle Biomasse-CRB è partner scientifico del progetto per la realizzazione del piano di azione *Adattamento ai Cambiamenti Climatici e di Resilienza nelle Aree interne del Sud-Ovest Orvietano-ACARO.* Il progetto è finanziato con i fondi del Piano di Sviluppo Rurale per l'Umbria 2014-2020 (PSR), in particolare dalla Misura 16 - Sottomisura 16.5 - Intervento 16.5.1 "Sostegno per azioni congiunte per la mitigazione del cambiamento climatico e l'adattamento ad esso e sostegno per approcci comuni ai progetti e alle pratiche ambientali in corso".

Come mostra il seguente schema, Figura 1, il progetto Acaro è centrato su 3 focus area della priorità 5 - *Incentivare l'uso efficiente delle risorse ed il passaggio ad una economia a basse emissioni di carbonio e resiliente al clima* - della politica di sviluppo rurale comunitaria e precisamente:

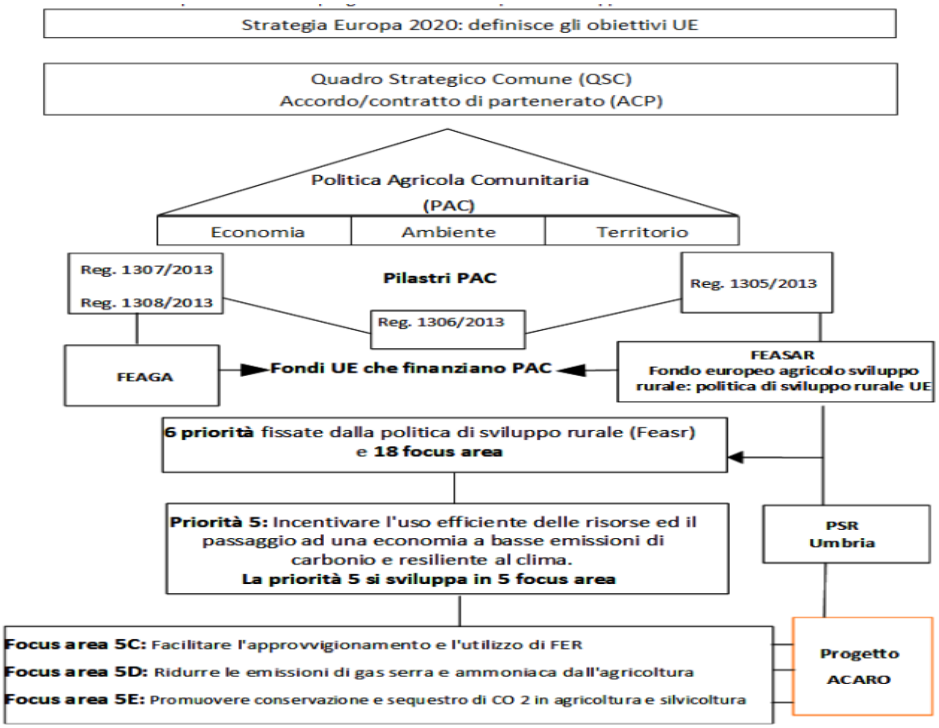
- 5c: facilitare l'approvvigionamento e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (FER), di bioprodotti, di scarti e di residui di altre materie prime non alimentari ai fini della bioeconomia,
- 5d: ridurre le emissioni di gas serra e ammoniaca dall'agricoltura,
- 5e: promuovere la conservazione e il sequestro di CO2 in agricoltura e silvicoltura.

Il progetto Acaro è incentrato sulla definizione di una strategia comprensoriale per la manutenzione pianificata e integrata di aree forestali al fine di mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Si tratta di un argomento molto delicato perchè coinvolge l'aspetto degli interventi di tutela di foreste e boschi con quello della messa in sicurezza dal rischio di incendio. Per raggiungere questo obiettivo si prevedono azioni dedicate alla gestione delle sistemazioni idraulico forestali per aumentare la

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

resilienza dei boschi e la consapevolezza tra i decisori pubblici e privati del territorio sui rischi degli incendi forestali in un contesto di cambiamento climatico.

Figura 1: Inquadramento del progetto ACARO nella politica di sviluppo rurale dell'UE 2014-2020



Fonte: ns elaborazione su dati dell'European Network for Rural Development (ENRD)

Il progetto è sviluppato da una Associazione Temporanea di Scopo-ATS che vede un partenariato pubblico privato composto dai Comuni di Orvieto, Allerona, Castel Viscardo, Ficulle, Porano, dall' Azienda Agraria San Faustino srl, dalla Comunanza Agraria di Viceno, da Ecoazioni snc, Landscape Srl, con Capofila Alta Scuola di Orvieto, ed in Convenzione con il Ciriaf-CRB e l'Istituto di ricerche sugli ecosistemi terrestri del CNR di Porano, partner scientifici del progetto.

Il progetto di ricerca del CIRIAF-CRB *Governance e resilienza in territori fragili. Analisi degli impatti socio-economici e ambientali derivanti dall'impiego delle biomasse da manutenzione boschiva nell'area del Sud-Ovest Orvietano*, ha l'obiettivo di verificare l'impiego delle biomasse da manutenzione boschiva presenti nelle aree selezionate dal progetto come volano per la valorizzazione socio-economica dell'area interna del Sud Ovest dell'Orvietano. La ricerca punta a realizzare un modello di *governance* territoriale che in un'ottica spazialista possa contribuire a rispondere in maniera resiliente al cambiamento climatico, riducendo la vulnerabilità del territorio e contrastando i fenomeni di declino e marginalizzazione propri delle aree interne del nostro Paese. La ricerca è stata avviata il I° Febbraio 2020 e per tale ragione il presente scritto è sostanzialmente di presentazione delle prime attività svolte. L'articolo è diviso in 3 parti. Nella prima parte si contestualizza il concetto di *governance* all'interno delle politiche dell'Unione europea. La seconda parte spiega perché le aree interne siano oggetto di una relativa strategia nazionale. La terza e ultima parte, presenta le attività previste dalla ricerca Ciriaf-CRB.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

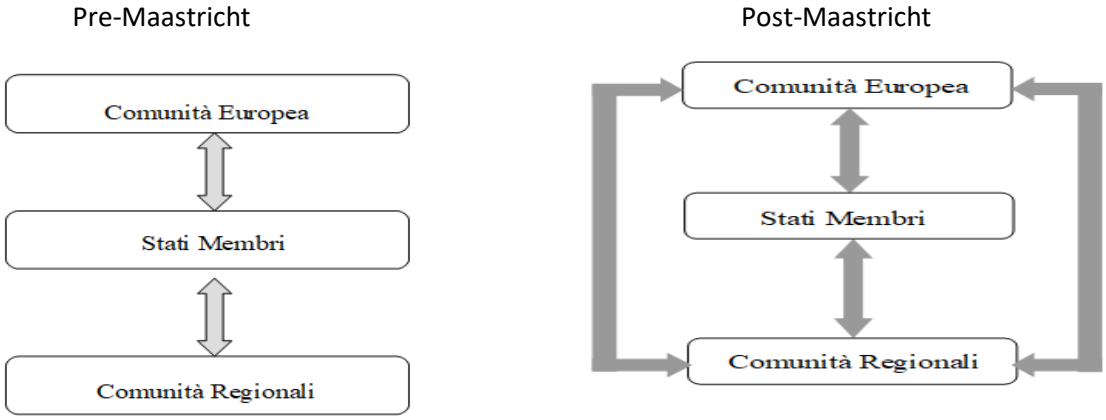
1. Il concetto di *governance* alla base della dimensione territoriale dell'UE

Il Trattato sul funzionamento dell'Unione europea-Tfue rafforza la dimensione territoriale dell'Unione europea facendo riferimento esplicito al principio dell'autonomia, introducendo l'obiettivo della coesione territoriale e inserendo la dimensione regionale e locale nel rispetto del principio di sussidiarietà. Recita, infatti, l'art. 174 del Trattato:

Per promuovere uno sviluppo armonioso dell'insieme dell'Unione, questa sviluppa e prosegue la propria azione intesa a realizzare il rafforzamento della sua coesione economica, sociale e territoriale. In particolare l'Unione mira a ridurre il divario tra i livelli di sviluppo delle varie regioni ed il ritardo delle regioni meno favorite. Tra le regioni interessate, un'attenzione particolare è rivolta alle zone rurali, alle zone interessate da transizione industriale e alle regioni che presentano gravi e permanenti svantaggi naturali o demografici, quali le regioni più settentrionali con bassissima densità demografica e le regioni insulari, transfrontaliere e di montagna. Fonte: [5]

In virtù del principio di sussidiarietà, l'Unione Europea interviene nei settori che non sono di sua esclusiva competenza, soltanto se e ed in quanto gli obiettivi dell'azione prevista non possono essere conseguiti dagli Stati membri, né a livello centrale né a livello regionale e locale. Il principio di sussidiarietà, come noto formalizzato nel Trattato di Maastricht del 1992, ha consentito di articolare i poteri e gli strumenti amministrativi dell'Unione secondo l'istituto delle competenze, proprio dei sistemi costituzionali multilivello, figura 2.

Figura 2. Il funzionamento del sistema territoriale dell'Unione Europea pre e post Tratto Maastricht 1992



Fonte: Ns. elaborazione

In questi sensi, il Tfue impegna l'Unione Europea a perseguire uno sviluppo equilibrato e la riduzione delle disparità tra regioni diverse mediante un sistema di *governance* di tipo multilivello, cioè a dire una *governance* nella quale gli Stati membri e le Regioni, conservano la responsabilità di adattare gli interventi ai propri contesti. Senza addentrarmi in una approfondita analisi del concetto di *governance,* per la quale rimando anzitutto a [6], mi preme ricordare che una delle prime e più celebri definizioni del concetto di governance evidenziava la dispersione verticale e orizzontale del potere in una serie di relazioni complesse ed interconnesse tra attori pubblici e privati [8-9]. Sotto questi profili, propongo qui una definizione di *governance* multilivello il più aderente possibile al Tfue. Si tratta pertanto di un

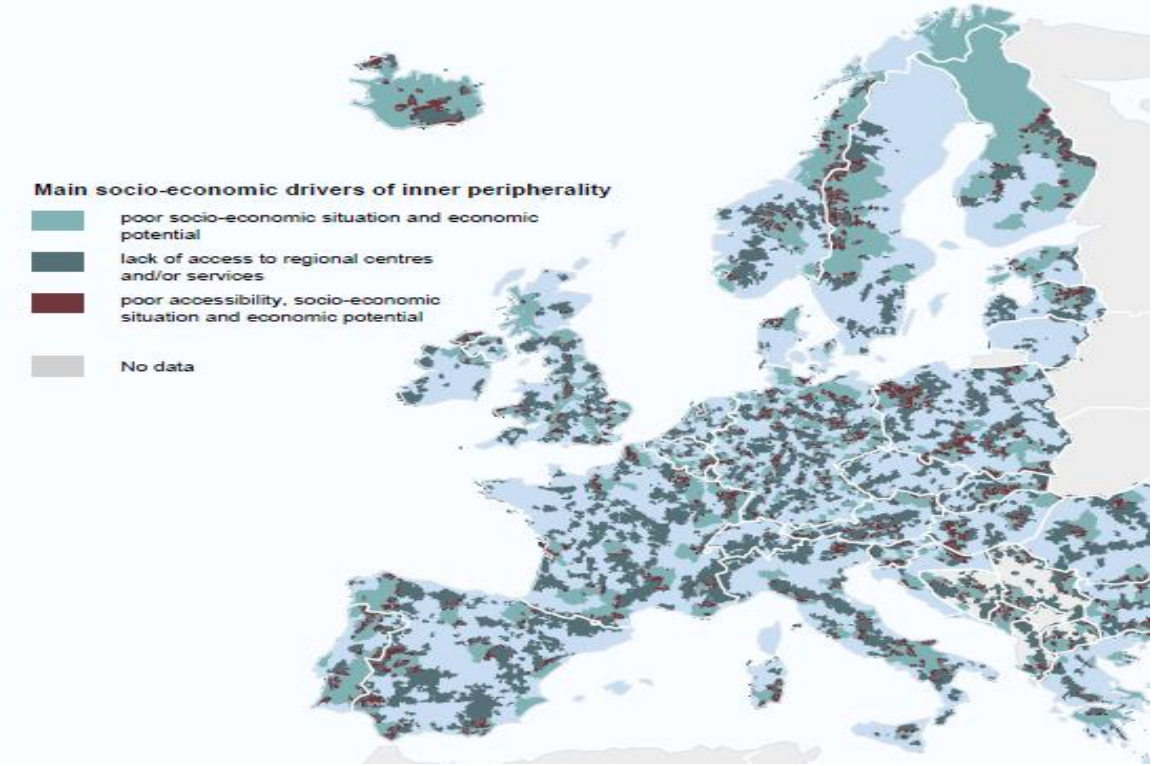
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

processo che nella sua fase decisionale è basato sulla negoziazione e la deliberazione, mentre nella sua fase attuativa si incentra sulla cooperazione e la partecipazione. La *governance* multilivello fissa quindi l'attenzione sul modo in cui gli attori pubblici e privati della società e i diversi livelli di governo del territorio (sub-nazionale, nazionale e sovranazionale) riallocano e ristrutturano il potere in senso orizzontale e verticale [10-11]. In ultima analisi, la *multilevel governance* indica un processo di partecipazione e interazione tra privati e gerarchie istituzionali di diversa scala territoriale, volto a gestire le criticità e le opportunità potenziali e manifeste che investono la loro comunità.

2. Le aree interne e le ragioni della Snai

Le aree interne sono presenti in tutte le regioni europee. Esse sono il risultato di dinamiche evolutive che le hanno caratterizzate come territori ricchi di biodiversità, paesaggi e beni storico artistici, ma dotati di prestazioni, servizi d'interesse generale e qualità della vita relativamente inferiori rispetto a quelle dei centri urbani, causando significativi limiti socio-economici ed ambientali sia a loro stesse che alla regione in cui sono collocate, figura 3.

Figure 3. I principali fattori socio-economici di perifericità territoriale



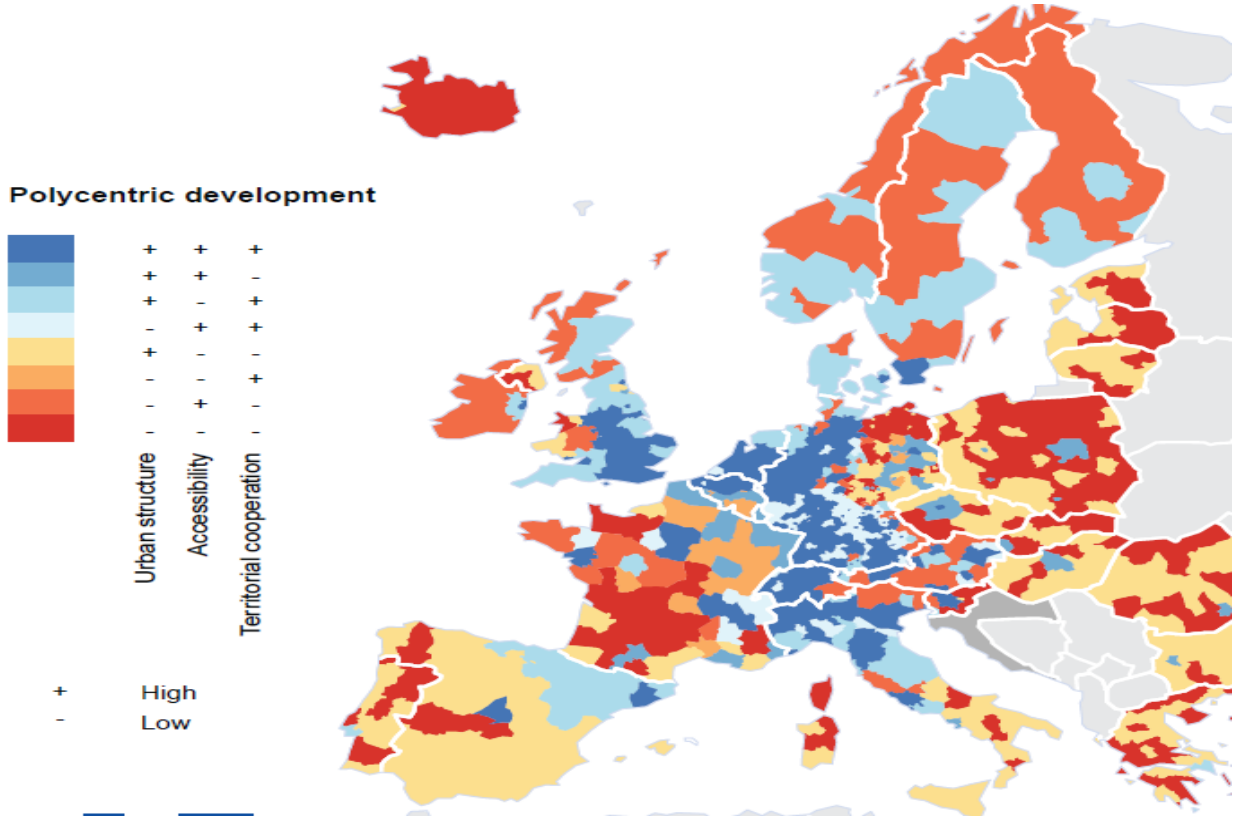
Fonte: [11, 4]

In Italia, le aree interne costituiscono *quella parte del territorio nazionale – circa tre quinti del territorio e poco meno di un quarto della popolazione - distante da centri di agglomerazione e di servizio e con traiettorie di sviluppo instabili ma al tempo stesso dotata di risorse che mancano alle aree centrali, "rugosa"* [1]*, con problemi demografici ma al tempo stesso fortemente policentrica e con elevato potenziale di attrazione* [12, 12].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Con il termine policentrismo ci si riferisce ad un territorio costituito da una rete di centri urbani fitta e differenziata, in grado di offrire servizi essenziali che generano importanti bacini d'utenza e che fungono da attrattori di potenziali residenti, nuova utenza, ed ulteriori servizi, figura 4.

Figura 4. Le dimensioni dello sviluppo policentrico



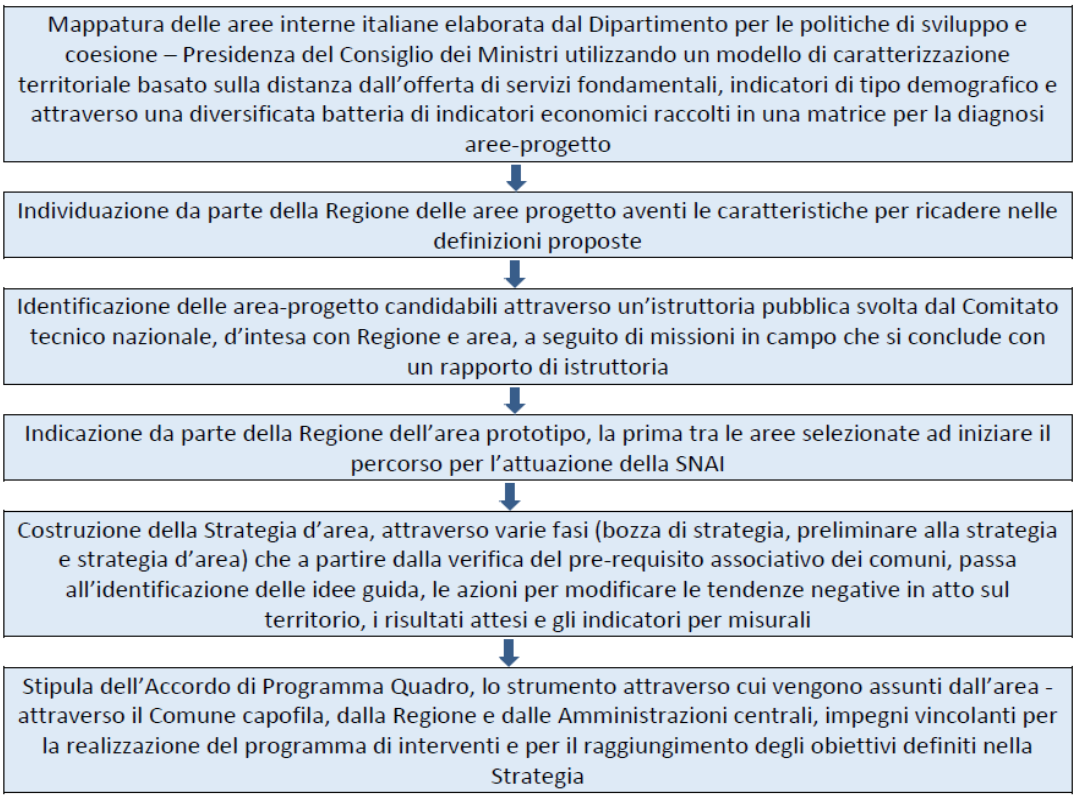
Fonte: [13, 5]

Ne deriva che i diversi livelli di perifericità spaziale e le difficoltà di accesso ai servizi di base delle aree non ricomprese in quella rete primaria, influenzano la qualità della vita e il livello di inclusione sociale dei cittadini. Ciò dovrebbe incoraggiare le regioni e le città a trarre vantaggio dalle rispettive diversità, a rafforzare cioè la cooperazione e la *governance* territoriale al fine di indirizzare al meglio patrimoni e risorse e ridurre le disparità regionali.

Nel 2012, per dare seguito al disposto dei Regolamenti europei per la programmazione 2014-2020 che richiedevano specificatamente un'attenzione alle sfide territoriali dell'Unione europea, Fabrizio Barca il Ministro italiano per la coesione territoriale, con il supporto di un apposito comitato tecnico aree interne-Ctai, diede avvio ai lavori preparatori della Strategia nazionale per le aree interne-Snai [14]**.** Nel 2013, la Snai è confluita nell'Accordo di Partenariato che l'Italia ha presentato alla Commissione Europea dopo una fase di interlocuzione con i rappresentanti delle diverse Regioni, con l'obiettivo di invertire le tendenze demografiche, economiche e territoriali delle aree interne attraverso 2 leve: 1) la leva della cittadinanza, adeguando la quantità e la qualità dei servizi di istruzione, salute, mobilità delle aree interne; 2) la leva del mercato, promuovendo progetti di sviluppo per valorizzare le filiere produttive locali e il patrimonio naturale e culturale di queste aree. La procedura utilizzata per la individuazione delle aree interne italiane è riportata nella seguente figura 5.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 5. Percorso di costruzione della SNAI e di selezione delle aree interne



Fonte: agenziacoesione.gov.it

Le aree Snai selezionate dalle Regioni e dalla Provincia Autonoma di Trento, con il Ctai, sono 72, ne fanno parte complessivamente 1.077 comuni per oltre 2 milioni di abitanti, figura 6.

Figura 6. Le *Aree interne italiane*

Fonte: agenziacoesione.gov.it

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

La Snai si basa su processi di *governance* territoriale unite a politiche nazionali che non fanno distinzione tra Nord e Sud, ma si concentrano sui contesti territoriali, così come abbiamo visto essere indicato nel Trattato sul funzionamento dell'Unione europea-Tfue.

In Umbria sono state selezionate 3 aree interne, cui sono state assegnate risorse per circa 22 milioni di euro, tabella 1.

Tabella 1. Le Aree interne della regione Umbria

Aree interne Umbria	N. comuni coinvolti	Tipologia area	Risorse Assegnate
Area Sud Ovest	20	Area Prototipo	6,781,237
Area Nord Est	11	Seconda Area	8,095,682
Valnerina	14	Area terremotata	7,180,179
Totale			22,057,098

Fonte: ns elaborazione su agenziacoesione.gov.it

L'Area Interna Sud Ovest è composta da 20 comuni posti al confine tra Umbria, Toscana e Lazio, figura 7.

Figura 7. *I comuni dell'Area interna Sud Ovest Orvietano*

Fonte: [15, 5]

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Il territorio interessato da ACARO ricade amministrativamente all'interno dei comuni partner del progetto (Orvieto, Allerona, Castel Viscardo, Ficulle, Porano), figura 8, per una popolazione di 28,400 abitanti circa e un totale di 543 kmq. Ad eccezione di Orvieto, 20.500 abitanti circa, gli altri comuni non superano i 3.000 abitanti presentando un modello insediativo disperso in aree agricole, collinari e montane.

Figura 8. Il territorio del Sud-Ovest Orvietano interessato dal progetto Acaro

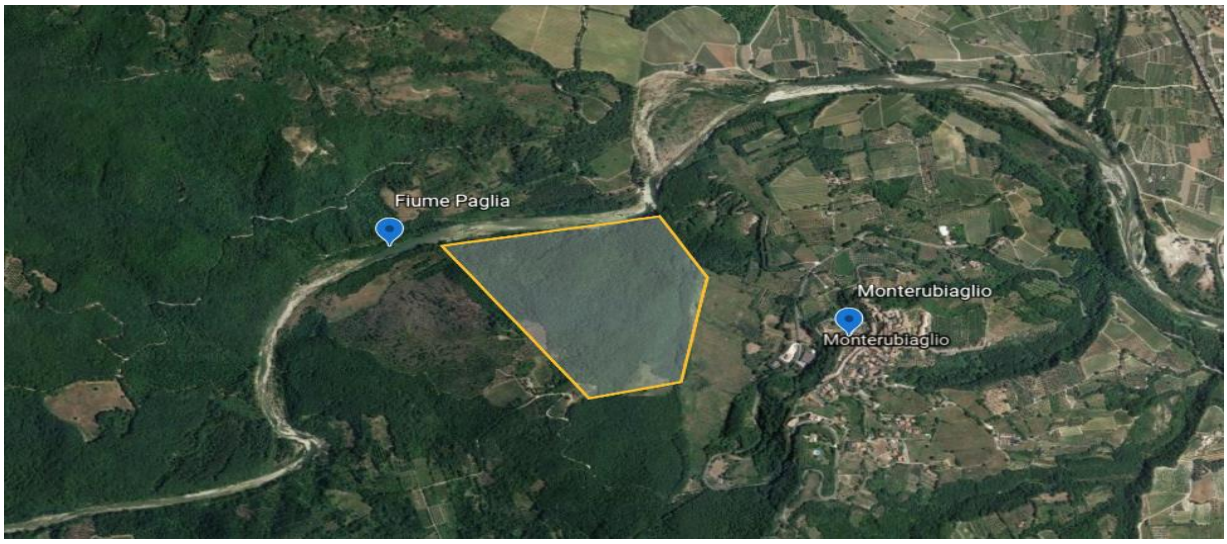
Fonte: ns elaborazione su Google Earth

3. La ricerca Ciriaf-CRB

La ricerca Ciriaf-CRB ha l'obiettivo di predisporre un modello integrato per l'adattamento ai cambiamenti climatici e di conseguenza per la riduzione della vulnerabilità di territori fragili, vale a dire un modello che in un'ottica spazialista e di governance multilivello tiene in considerazione contemporaneamente aspetti di sostenibilità ambientale, aspetti sociali e aspetti economici dell'ecosistema coinvolto dalla ricerca [16-17-18]. La ricerca è coerente con l'asse portante della Snai perché propone una strategia per rilanciare il capitale territoriale, naturale e umano inutilizzato, fondamentale per la crescita del sistema Paese Italia. In questo ultimo senso, la ricerca verte sulla sperimentazione di processi di recupero dei materiali a ridotto impatto ambientale (biomassa boschiva e fluviale), nell'ottica dell'economia circolare e come volano per la valorizzazione socio-economica dell'area interna del Sud Ovest dell'Orvietano, dove è necessario intervenire con ulteriori processi co-partecipati dal pubblico e dal privato per uno sviluppo di tipo eco-sostenibile volto a contrastare la marginalizzazione dell'area ed i fenomeni di declino demografico propri delle aree interne del nostro Paese. Come area pilota per le analisi degli impatti socio-economici e ambientali derivanti dall'implementazione dell'impiego delle biomasse è stato considerato il bosco ceduo di circa 50 h dei territori della Partecipanza agraria di Castel Viscardo-Viceno in destra idraulica del Fiume Paglia, nei pressi della località Monterubiaglio (TR), figura 9.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 9. *L'area pilota del bosco ceduo nei pressi di Monterubiaglio*



Fonte: ns elaborazione su Google-Earth

Nel corso del primo sopralluogo sono stati raccolti dei campioni di biomassa da manutenzione boschiva e di fanghi e detriti del fiume Paglia, figura 10. In prima battuta, previo pretrattamento (riduzione pezzatura a livello di micron) le biomasse legnose saranno sottoposte ad analisi calorimetrica per la verifica del punto calorifico superiore necessario per comprendere le possibilità di valorizzazione energetica.

Figura 10. *Prelievi di biomassa da manutenzione boschiva e fluviale del 23 Marzo 2021, area pilota Ciriaf-CRB*

Nell'ottica della valorizzazione socio-economica-ambientale del Sud-Ovest dell'Orvietano, la ricerca ne prevede la caratterizzazione chimico fisica, per verificare il contenuto di estrattivi (polifenoli, cere e resine, cellulosa, emicellulosa, lignina) umidità, solidi volatili e ceneri, percentuale di carbonio, idrogeno e azoto [19-20-21-22]. Si tratta di analisi volte a comprendere se da questa biomassa si possono ricavare cosmetici, coloranti e prodotti per l'edilizia ecosostenibile dotati di elevata capacità di isolamento acustico e termico, così come bioetanolo o biodiesel di 3° generazione[2], figura 11.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 11. Risultati lavorazione biomasse legnose presso laboratori Ciriaf-CRB: foto a sx biofuel e isolanti termici e acustici, foto centro cippato, foto dx coloranti naturali per edilizia e per cosmetica

Per quanto riguarda i campioni fluviali, le analisi hanno l'obiettivo di verificare sperimentalmente la possibilità di recuperare i fanghi e detriti derivanti dalla pulizia dell'asta fluviale del Paglia all'interno della filiera produttiva dei laterizi. In questo caso, particolare attenzione sarà rivolta alla caratterizzazione chimica volta a verificare la presenza di metalli pesanti inquinanti con ICP. La maggior parte della frazione di fanghi e detriti che risulta essere contaminata da inquinanti organici ed inorganici, in particolare i metalli pesanti, infatti, viene attualmente smaltita in discarica con dei costi considerevoli per gli Enti locali. Il loro recupero per la produzione di materiali da costruzione biosostenibili, come ad esempio laterizi che possono essere utilizzati per la costruzione di piste ciclabili fluviali e/o muri di protezione delle stesse, potrebbe rappresentare una soluzione a questo problema.

A tale proposito, va fatto presente che il Ciriaf-CRB ha già avviato questo tipo di sperimentazione per conto del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio del Mare nell'ambito del progetto di ricerca Gestione ecosostenibile dei territori a rischio inondazione e valorizzazione economica risorse-Gest-River, cui chi scrive ha preso parte come ricercatore Ciriaf-CRB capofila del gruppo di lavoro composto anche dall'Università per Stranieri di Perugia e dell'Università della Tuscia [23-24]. Recentemente sono state realizzate 3 tipologie di laterizi con contenuto di fango al 10%, al 30%, ed al 50%, figura 12.

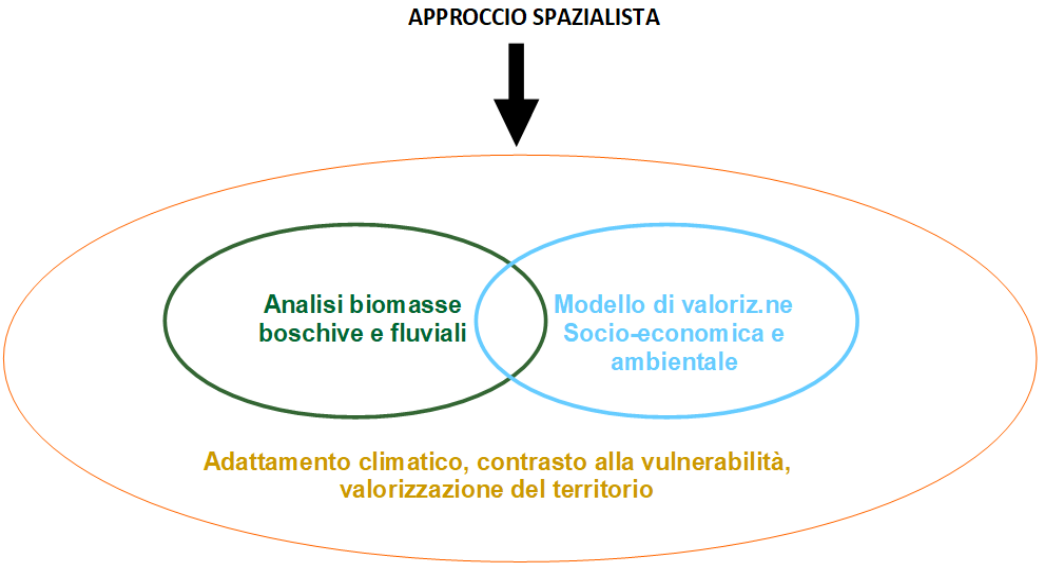
Figura 12. Primi esisti di lavorazione di biomasse fangose presso laboratori Ciriaf-CRB

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

In questa sede, mi limito a evidenziare che le concentrazioni più basse di metalli pesanti sono state riscontrate nel mattone realizzato con il 10% di fanghi. Anche dal punto di vista della conducibilità non ci sono variazioni considerevoli. Il valore più alto (0.501 ± 0.028 W/m K) è stato misurato per il campione con in 30% di fanghi, mentre il più basso corrisponde ad un contenuto del 50% (0.446 ± 0.027 W/m K). Attualmente i laterizi così ottenuti sono sottoposti alla determinazione delle proprietà meccaniche e alla quantificazione delle emissioni evitate attraverso la sostituzione dell'argilla naturale con fanghi fluviali. In riferimento alle analisi fin qui svolte sembra che l'impiego di fanghi di fiume nel processo di produzione dei mattoni, in parziale sostituzione dell'argilla, non vada ad alterare le proprietà termo-ottiche dei prodotti finali. L'esperimento ha invece fin qui mostrato la possibilità di reimpiegare i fanghi di fiume, quali sottoprodotto delle attività di manutenzione dei corsi d'acqua, un metodo conforme ai principi dell'economia circolare, perché consente di abbattere i volumi di argilla naturale consumati dall'industria dei laterizi. Non solo. Emerge anche la possibilità di standardizzare un protocollo per il recupero di tali fanghi, ad oggi inesistente, il cui smaltimento è di volta in volta oggetto di provvedimenti straordinari da parte delle autorità competenti che individuano le modalità di raccolta e trasporto e i siti di deposito.

Il progetto ACARO si inserisce sostanzialmente nel filone di ricerca volto ad indagare i fattori di vulnerabilità e resilienza dei sistemi territoriali. Si tratta di un filone che si affianca agli studi sulle componenti che determinano la qualità e il potenziale competitivo, puntando a migliorare la capacità di reazione dei sistemi territoriali agli shock avversi, attraverso il contenimento dell'impatto di azioni e interventi di sviluppo, che, determinando forti pressioni antropiche sui sistemi territoriali, possono compromettere tali capacità. La ricerca del Ciriaf-CRB, a sua volta, serve a mostrare che l'equilibrio di un sistema territoriale non è dato dalla sommatoria di elementi e componenti altamente qualitativi, ma da nuove sinergie territoriali, che hanno come linea guida l'approccio spazialista, figura 13.

Figura 13. Raffigurazione dell'approccio spazialista nel progetto ACARO



Fonte: ns elaborazione

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Un approccio di fatto *place-based,* in cui l'analisi delle dimensioni locali di tipo economico, sociale e ambientale risultano determinati per qualificare gli assets, le risorse e le attività del territorio come funzionali, alla capacità di autorigenerazione da parte del sistema considerato. *Governance* e resilienza dipendono infatti dall'interazione socioeconomica ed ecosistemica e dalle condizioni politiche ed istituzionali, aspetti non ancora trattati sistematicamente nei tentativi di costruzione di nuovi modelli per lo sviluppo sostenibile del territorio, in cui soprattutto economia, società e ambientale risultano spesso separati.

Note

1. Con l'espressione rugosa ci si riferisce alla rugosità del terreno, ossia alla sua morfologia. L'indice di rugosità del territorio nazionale è stato calcolato dall'Istat ed in via molto semplificata, rappresenta la deviazione standard dalle altitudini dei centroidi individuati in tutto il territorio nazionale. In sintesi esiste una relazione di proporzionalità tra aree interne ed indice di rugosità: l'indice è elevato se è elevata la quota di popolazione residente nei comuni delle aree interne mentre l'indice scende man mano che ci si avvicina ai centri urbani.
2. Il biofuel di 3° generazione è quello che non deriva cioè coltivazioni dedicate alla biomassa, ma dagli scarti naturali e dalla manutenzione, preservando in questo modo il terreno per la produzione di cibo

Riferimenti

1. Barca F., *AN AGENDA FOR A REFORMED COHESION POLICY. A place-based approach to meeting European Union challenges and expectations*. Independent Report prepared at the request of Danuta Hübner, Commissioner for Regional Policy, **2009**, [Online], <https://ec.europa.eu/regional_policy/archive/policy/future/pdf/report_barca_v0306.pdf> [Data di accesso 15/02/2021]
2. Dipartimento per lo sviluppo e la coesione economica-Dps, Comitato Tecnico Aree Interne, *Le aree interne: di quale territori parliamo? Nota esplicativa sul metodo di classificazione delle aree,* **2012**, [Online] <http://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5081285&nomeFile=Delibera_n.32_del_20-01-2014-Allegato-A> [Data di accesso 15/02/2021]
3. Lucatelli S., Salez P., "La dimensione territoriale nel prossimo periodo di programmazione" in *Agriregionieuropa,* anno 8 n°31, **2012**, [Online] <https://agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/31/la-dimensione-territoriale-nel-prossimo-periodo-di-programmazione> [Data di accesso 03/02/2021]
4. Angelini A., Bruno A., *PLACE-BASED. Sviluppo locale e programmazione 2014-2020*, **2016**, Franco Angeli, Milano
5. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, *TRATTATO SUL FUNZIONAMENTO DELL'UNIONE EUROPEA*, **2012**, [Online], <https://eur-

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:12012E/TXT:IT:PDF> [Data di accesso 11/02/2021]

6. The British Journal of Politics and International Relations, *Special symposium on Multi-Level Governance*, Nov **2020** — Vol 22, Issue 4: 753-836, [Online] <https://journals.sagepub.com/toc/bpia/22/4 > [Data di accesso 02/03/2021].
7. Marks G., Hooghe L., Blank K., <European integration since the 1980s: State-Centric versus Multi-level Governance>, in *Journal of Common Market Studies*, 34, 3, **1996**, 346-347, [Online] <https://garymarks.web.unc.edu/research/multilevel-governance/marks-structural-policy-and-multilevel-governance/> [Data di accesso 02/03/2021]
8. Marks G., < Structural policy and multilevel governance in the EC> in Cafrany, AW, Rosenthal, GG (eds) *The State of the European Community,* Boulder, CO: Lynne Riemer, **1993,** 391–409
9. Piattoni S., <La governance multilivello: sfide analitiche, empiriche e normative>, in *Rivista italiana di scienza politica*, 3, **2005**, 418
10. Simonato A., < Il rapporto tra regioni, Stato ed UE alla luce della crisi economica, dell'attualità istituzionale, del dibattito sul paradigma della *multilevel governance* >, in *Federalismi.it*, **2012**, [Online] <https://federalismi.it/nv14/articolo-documento.cfm?artid=22327> [Data di accesso 07/03/2021]
11. ESPON, *Inner Peripheries: National Territories Facing Challenges of Access to Basic Services of General Interest,* ESPON, **2017**, [Online] <https://www.espon.eu/inner-peripheries.> [Data di accesso 02/02/2021]
12. Barca F., *Metodi e obiettivi per un uso efficace dei fondi comunitari 2014-2020.* Documento di confronto pubblico, Presentato dal Ministro per la Coesione Territoriale, d'intesa con i Ministri del Lavoro e delle Politiche Sociali e delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, **2012**, [Online] <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/10538> [Data di accesso 05/02/2021]
13. ESPON, *Polycentric Territorial Structures and Territorial Cooperation,* ESPON, **2016**, [Online] <https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ESPON_policy_brief_polycentricity_071016_FINAL_0.pdf> [Data di accesso 02/02/2021]
14. Agenzia per la coesione territoriale, Accordo di Partenariato 2014-2020, *Strategia nazionale per le Aree interne: definizione, obiettivi, strumenti e governance*, Documento tecnico collegato alla bozza di Accordo di Partenariato trasmessa alla CE il 9 dicembre 2013, [Online] <https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/07/Strategia_nazionale_per_le_Aree_interne_definizione_obiettivi_strumenti_e_governance_2014.pdf> [Data di accesso 02/02/2021]
15. Comune di Orvieto, (Senza Data.) *Strategia d'area Sud Ovest Orvietano*, [Online], <http://www.comune.orvieto.tr.it/pagine/aree-interne> [Data di accesso 10/02/2021]
16. Ave, G.; Fondacci, L., <La definizione delle linee strategiche e delle azioni di piano>. *La pianificazione strategica per lo sviluppo dei territori,* Rubettino Editore, Presidenza Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Funzione Pubblica, **2006**, 129-136

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

17. Fondacci, L.; Alvioli, M.; Fiorucci, F., <La conoscenza dei pericoli naturali come supporto ai processi decisionali di governo del territorio>. *UrbanisticaInformazioni*, 271, **2017**, 68-69
18. Fondacci L., Per una definizione del paesaggio e della pianificazione strategica dei territori come beni comuni deliberativi. *Il prossimo paesaggio. Realtà, rappresentazione, progetto*. Gangemi, **2018**. 351-357
19. Cotana F., Buratti C., Barbanera M., Cavalaglio G., Foschini D., Nicolini A., Pisello A.L., "Driftwood Biomass in Italy: Estimation and Characterization", Sustainability, MDPI, Vol.8 (8), n.725, **2016**
20. Cavalaglio G., Gelosia M., D'Antonio S., Nicolini A., Pisello A.L., Barbanera M., Cotanav, "Lignocellulosic Ethanol Production from the Recovery of Stranded Driftwood Residues", Energies, MDPI, Vol.9 (8), n.634, **2016**
21. Comodi P., Cavalaglio G., Nicolini A., Cambi C., Cecconi M., Frondini F., Zucchini A., Susta U., Cotana F., "Biomass vs coal ashes: resource or environmental issue?", XIX Congresso Nazionale CIRIAF, Perugia, Italy, 12 April **2019**
22. Cavalaglio G., Cotana F., Nicolini A., Coccia V., Petrozzi A., Formica A., Bertini A., "Characterization of Various Biomass Feedstock Suitable for Small-Scale Energy Plants as Preliminary Activity of Biocheaper Project", Sustainability, MDPI, Vol.12, n.6678, **2020**
23. Petrozzi A., Gallicchio S., Fondacci L., Strangis F., Gelosia M., <La manutenzione degli alvei fluviali per la prevenzione dei dissesti idrogeologici: quadro normativo, impatti socio-economici e ambientali, criticità e nuove opportunità per il territorio>, in *XIX Convegno nazionale del Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e l'Ambiente "Felli" - Ciriaf, Università degli Studi di Perugia*, 12 Aprile 2019, ATTI, Morlacchi editore, University Press, Perugia, **2019,** 39-45
24. Fondacci L.<L'approccio spazialista nell'analisi degli impatti socio-economici ed ambientali in presenza di territori soggetti a vulnerabilità da alluvione> in *XX Congresso nazionale Ciriaf, Sviluppo sostenibile, tutela dell'ambiente e della salute umana,* Perugia 16-17 Aprile, (on-line PDF), Morlacchi editore, University Press, **2020**, 1-29

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Ricerca e catalogazione delle tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore

Giulio Arcangeli [1,*], Sergio Luzzi [2], Raffaele Mariconte [3], Nicola Mucci [1], Paola Pulella [2] and Veronica Traversini [1]

[1] Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica - Università di Firenze, Largo Brambilla 3, Firenze
[2] Vie en.ro.se. Ingegneria, Viale Belfiore 36, Firenze
[3] INAIL, Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici, via Roberto Ferruzzi 38/40, 00143 Roma

* Autore di riferimento. E-Mail: giulio.arcangeli@unifi.it

Abstract: In questa memoria si riporta una sintesi della ricerca e catalogazione delle tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore (occupazionale e non) che rappresenta uno degli obiettivi specifici del progetto BRiC INAIL 2019-ID 14. Lo studio di rassegna fa riferimento alle Linee Guida 2018 dell'Organizzazione Mondiale della Sanità e alle evidenze relative ai danni extra-uditivi prodotti da esposizione al rumore in ambito occupazionale con particolare attenzione agli ambienti scolastici. Gli autori propongono una revisione sistematica della letteratura scientifica, dal punto di vista della valutazione del rischio secondo i criteri dell'igiene occupazionale e della medicina del lavoro, e affrontano le problematiche di riconoscimento e quantificazione del danno in ambito forense derivanti dalla non completa e univoca considerazione del problema a livello legislativo, normativo e giuridico.

Keywords: esposizione al rumore; danno extra-uditivo; ambienti scolastici.

1. Introduzione

La ricerca e catalogazione svolta all'interno del Progetto BRiC INAIL 2019 – ID 14, si prefigge l'obiettivo di individuare le tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore (occupazionale e non), con particolare attenzione agli ambienti scolastici. Si ritiene che tale selezione sia propedeutica per la successiva analisi acustica dei contesti lavorativi oggetto di interesse, oltre che per studiare la correlazione tra qualità acustica degli ambienti, danni individuati e reazioni comportamentali. Nello

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

specifico, lo studio ha riportato una disamina della letteratura scientifica in merito ai danni da rumore, in campo sperimentale, tra modelli animali e nella popolazione umana. Ha, inoltre, approfondito le dinamiche che stanno alla base della valutazione del danno in ambito forense, tenendo conto delle cause intentate per danni uditivi ed extra-uditivi da esposizione al rumore e delle modalità di quantificazione del danno. Infatti, sotto il profilo scientifico, il rumore è riconosciuto come un importante problema ambientale, che influisce negativamente sulla qualità di vita e sul benessere [1]. Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), il rumore è al secondo posto come fattore di rischio ambientale per la salute pubblica [2]. Tale fattore di rischio è largamente approfondito nelle linee guida sul rumore ambientale pubblicate nell'ottobre 2018 dall'Ufficio Regionale per l'Europa dell'OMS [3].

2. Raccolta e catalogazione delle evidenze di patologie extra-uditive da rumore in campo sperimentale tra modelli animali e nella popolazione umana

2.1 Metodologia

L'analisi della letteratura si è svolta, seguendo due ricerche in contemporanea. Infatti, come evidenziato dal titolo dell'obiettivo, è stato necessario analizzare le evidenze scientifiche sia in campo sperimentale tra modelli animali sia nella popolazione umana, con particolare riferimento alle categorie lavorative esposte. L'analisi ha compreso articoli scientifici pubblicati negli ultimi 10 anni, dal 2010 al 15 settembre 2020, sui principali database online (*Pubmed, Cochrane Library, Scopus, Embase, Google Scholar*). Per entrambi i campi di ricerca, sono stati utilizzate combinazioni di parole chiave; per la prima analisi della letteratura riguardante le sperimentazioni animali, la stringa di ricerca ha incluso le parole chiave "*noise, loud, sound, exposure, environment, neurobehavioral, psychological, mental, neura*l", mentre per la seconda i termini "*work, job, task, workplace, noise, lound, sound, occupational, environment, neurobehavioral, psychological, mental, neural*".

Successivamente, gli autori hanno effettuato una ricerca manuale degli articoli selezionati per un'analisi più accurata. I revisori hanno selezionato gli studi in base ai criteri di inclusione ed esclusione, diversi nei 2 campi di ricerca. Infine, gli autori hanno eliminato studi duplici e gli articoli senza i "full text".I dati tabellati sono stati ottenuti principalmente dai risultati pubblicati per ogni singolo articolo incluso ma sono state prese in considerazione anche altre fonti supplementari, quando disponibili. Nello specifico, gli autori hanno selezionato la data e il paese di pubblicazione, la specie animale esaminata o il lavoro svolto, il tipo di alterazione neurocomportamentale o disordine associato, la fonte del rumore ed eventuali range di dB misurati.

Per entrambi i campi di ricerca, la qualità metodologica degli studi inclusi selezionati è stata valutata tramite utilizzo di scale internazionali e attribuizione di punteggi, per esempio INSA "*International Narrative Systematic Assessment*" per giudicare la qualità delle revisioni narrative, AMSTAR "*Assessment of multiple systematic reviews*" per valutare le revisioni sistematiche, la NOS "*Newcastle Ottawa Scale*" per valutare trasversali, studi di coorte e casi studi di controllo e la scala JADAD per studi clinici randomizzati.

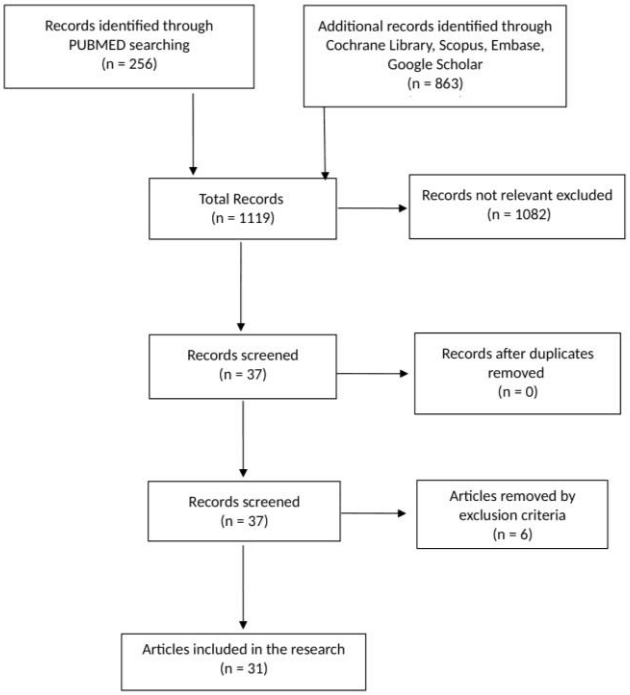
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

2.2 Risultati principali

2.2.1 Modelli sperimentali animali

La ricerca online ha prodotto 1119 studi: PubMed (256), Scopus (19), Cochrane Library (648), Embase (132) e Google Scholar (64). Di questi, 1082 studi sono stati esclusi perché ritenuti non correlati ad alterazioni associate all'esposizione al rumore. Delle rimanenti, 3 pubblicazioni sono state eliminate perché il testo completo non era disponibile e altre 3 per i criteri di esclusione. Infine, 31 studi sono stati inclusi in questa analisi della letteratura (fig.1).

Figura 1. Flow chart della ricerca bibliografica



Di questi, 2 erano revisioni sistematiche, 12 erano revisioni narrative, 1 era una metanalisi e 16 erano articoli originali. Tra questi articoli originali, 9 erano studi sperimentali, 2 studi osservazionali, 4 casi-controllo e 1 studio di coorte (Tab.2)

Gli Stati Uniti d'America sono il paese in cui è stata pubblicata la maggior parte degli studi (8 articoli; 25,8%). La maggior parte degli articoli è stata pubblicata nel 2020 (9 studi; 29%), seguito dal 2016 (7 articoli; 22,5%).

I principali disordini neuro-comportamentali riscontrati nei gruppi di animali esaminati sono delle alterazioni nei movimenti o del nuoto, con cambiamenti nella nutrizione o negli adattamenti anti-predatori (12 articoli; 38.7), aggressività e ansia manifesta (10 articoli; 32.2%) ed infine, alterazione dei riflessi neurovegetativi e delle capacità mnemoniche (5 articoli; 16.1%).

I principali gruppi di animali esaminati appartengono alla fauna marina (pesci, balene, delfini, cefalopodi) con 13 articoli (41.9%), seguiti da ratti e topi con 8 studi (25.8%), infine altri mammiferi di varie dimensioni (tipo cani, zebre, elefanti) con 6 articoli (19.3%).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 1. Risultati principali ottenuti dagli articoli inclusi

Primo autore	Anno	Paese	Tipo di pubblicazione	Specie	Alterazione
Abdullah	2020	Indonesia	observational study	Elephants	altered anti-predatory'reaction
Akefe	2020	Nigeria	experimental study	Rats	learning, short-term memory, sensorimotor reflex
Baltzer	2020	Wadden sea	experimental study	marine mammals, fishes	altered movements, swimming speed, anti-predatory reaction
Blanchett	2020	USA	observational study	birds	aggression, pacing, nesting etc
Codocedo	2016	Australia/Chile	narrative review	mice, rats	anhedonia, anxiety, social-avoidance behaviors
Cox	2017	Canada	meta-analysis	fishes	complex movements and swimming abilities
Criddle	2018	USA	experimental study	Hamsters	hyperactivity
De Soto	2016	Spain	narrative review	marine invertebrates	altered movements, swimming speed, metabolic parameters
Di Franco	2020	Italy/France	systematic review	marine invertebrates, fishes	altered movements, swimming speed, anti-predatory reaction
Frouin	2020	Mexico	experimental study	whales	resting, interaction mother-calf
Heinrichs	2010	USA	narrative review	rodents	anxiety, hyperactivity
Hubert	2020	North sea	experimental study	fishes	changed swimming
Kight	2011	USA	narrative review	rats, zebra	cognition, sleep
Koorpivaara	2017	USA	experimental study	dogs	anxiety, fear
Kunc	2016	Uk	narrative review	marine species	aggression, hunting, movements, anti-predatory reaction
Landsberg	2015	Canada	case-control	dogs	anxiety, fear
Li	2018	Indo-Pacific sea	narrative review	dolphins	altered movements and vocals
Longenecker	2016	USA	cohort study	mice	hyperactivity
Mandel	2016	Israel, Uk	narrative review	cows, calves	various
Manukyan	2020	Armenia	case-control	rats	anxiety, memory
Mikolajczak	2013	Poland	experimental study	geese	movements, stress
Mills	2020	Polynesia	experimental study	fishes	hiding, distance, aggression
Mulders	2013	Australia	case-control	pig	hyperactivity
Nabi	2018	China/USA	narrative review	marine mammals	masking, altered reproduction
Peng	2015	China	narrative review	marine species	nesting, aggression, anti-predatory reaction
Pienkowski	2011	Canada	narrative review	rats, cats	cortical plasticity
Pirotta	2012	USA	case-control	whales	foraging, movements

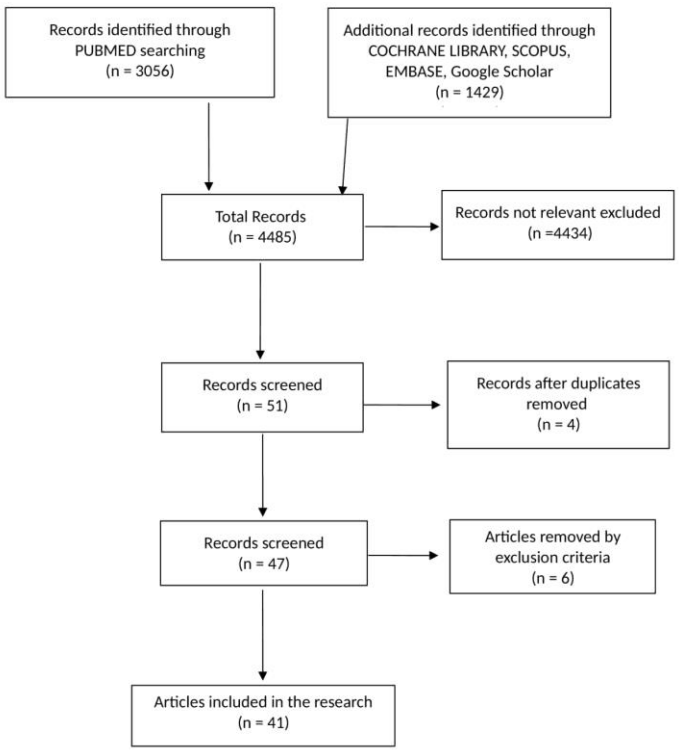
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Popper	2019	USA/Uk	narrative review	fishes	impairment of spawning, interference with foraging, disruption in migration-habitat selection
Samson	2016	USA/Netherland	narrative review	cephalopods	escape, inking, altered speed
Shannon	2016	USA	systematic review	wildlife	vocals, movements, foraging, escape, vigilance, mating
Uran	2012	Argentina	experimental study	rats	recognition, memory

2.2.2 Studi su popolazione umana, in particolare in ambito lavorativo

La ricerca online ha prodotto 4485 studi: PubMed (3056), Scopus (21), Cochrane Library (13), Embase (115), Google Scholar (1280). Di questi, 4434 studi sono stati esclusi perché ritenuti non correlati a problemi associati al rumore. Dei restanti, sono stati esclusi anche 4 articoli perché duplici. Le pubblicazioni duplici sono state accuratamente eliminate per non introdurre bias, confrontando i nomi degli autori, le tematiche affrontate, i lavoratori esaminati e i risultati ottenuti. Altre 6 pubblicazioni sono state eliminate perché il testo completo non era disponibile. In conclusione, 41 studi sono stati finalmente inclusi in questa analisi (fig.2).

Figura 2. Flow chart della ricerca bibliografica



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Di questi, 4 sono revisioni della letteratura (2 sistematiche; 2 narrative) e 37 sono articoli originali. Tra questi ultimi, 16 sono studi trasversali, 2 studi di coorte, 5 studi di caso-controllo, 2 studi pilota, 1 studio osservazionale, 10 studi sperimentali e 1 studio misto (cross / sperimentale) (Tab.2).

La Svezia è il paese in cui è stata pubblicata la maggior parte degli studi (6 articoli; 14,6%). La maggior parte degli articoli è stata pubblicata nel 2018 (9 studi; 21,9%), seguita dal 2019 (6 articoli; 14,6%).

Gli articoli selezionati esaminano vari sintomi correlati al disagio psicologico e riferiti dai campioni in esame, come annoyance (11 articoli; 26,8%), disturbi del sonno (9 studi; 21,9%), performance lavorative / cognitive ridotte (14 articoli; 34,1%). Prendendo in considerazione le mansioni esaminate, si è riscontrato che le analisi più frequenti riguardano il personale scolastico (10 articoli; 24,3%), seguito dai dipendenti di vari settori industriali (9 studi; 21,9%) e dagli impiegati (6 articoli; 14,6%).

Tabella 2. Principali risultati degli articoli inclusi

Primo Autore	**Anno**	**Paese**	**Tipologia di Studio**	**Categorie lavorative**	**Disturbo neurocomportamentale**
Abbasi	2015	Iran	pilot study	wind farmers	general health, sleep disorders, annoyance
Alimohammadi	2019	Iran	case control	automotive workers	cognitive performance, annoyance
Alimohammadi	2018	Iran	cross sectional	automotive workers	aggressive behavior
Alimohammadi	2010	Iran	cross sectional	white collar employees	annoyance
Azuma	2017	Japan	cross sectional	office workers	psychological distress
Burns	2019	Usa	cross sectional	electronic waste workers	perceived stress
Cheng	2019	China	case control	military	working memory performance
Clausen	2013	Denmark	cohort study	office workers	long term sickness absence
Deng	2019	China	cross sectional	not specified	depression
Di Blasio	2019	Italy	cross sectional	office workers	annoyance, mental health, well being
Eysel-Gosepath	2012	Germany	cross sectional	teachers	annoyance, sleep disorders, fatigue
Fredriksson	2015	Sweden	cross sectional	obstetrics	annoyance, work-related stress
Fredriksson	2019	Sweden	cohort study	teachers	work-related stress
Freiberg	2018	Germany	systematic review	wind industries	annoyance, sleep disorders

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Habibi	2013	Iran	experimental study	university personnel	speed of work, annoyance
Horsten	2018	Netherland	systematic review	healthcare workers	sleep disorders
Hua	2014	Sweden	case control	employees	cognitive skills
Irgens-Hansen	2015	Norway	experimental study	navy personnel	cognitive performance
Jahncke	2011	Sweden	experimental study	open plan offices	cognitive performance
Keller	2017	Usa	experimental study	military	cognitive performance
Keller	2018	Switzerland	observational study	healthcare workers	cognitive performance
Kim	2016	Korea	cross sectional	office work, sales, manufacturing	smoking intensity
Kristiansen	2014	Denmark	cross sectional	teachers	mental health, fatigue
Mahendra Prashanth	2011	India	narrative review	industrial workers	sleep disorders, cognitive performance
Mapuranga	2020	Zimbabwe	cross sectional	manufacturing workers	job performance
Milenovic	2018	Serbia	case control	manual/administrative workers	aggressiveness
Molesworth	2015	Australia	experimental study	aircraft personnel	recognition memory, working memory, reaction time
Monteiro	2018	Portugal	pilot study	students/fast food employees	working memory performance
Nari	2020	Korea	cross sectional	employees	sleep disorders
Oenning	2018	Brazil	cross sectional	various (public, private, domestic, farmworkers, technicians, manager)	depressive disorders
Onchang	2018	Thailand	case control	university personnel	annoyance
Realyvásquez	2016	Spain	experimental study	manufacturing workers	working performance, job satisfaction, aggressivity
Schlittmeier	2013	Germany	cross/experimental study	office workers	cognitive performance, annoyance
Sjodin	2012	Sweden	cross sectional	preschool personnel	work-related stress, sleep disorders
Sloof	2010	Netherland	experimental study	university personnel	work motivation
Smith	2010	Uk	experimental study	university personnel	working memory performance

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tomic	2018	Sweden	experimental study	not specified	working memory performance
Wassermann	2013	Usa	case control	university personnel	attention
Wright	2016	Uk	experimental study	university personnel	cognitive performance, psychological disorders
Yoon	2014	Korea	cross sectional	white, pink, blue collars	depressive disorders, suicidal ideation, annoyance
Yuen	2014	Malaysia	narrative review	manufacturing workers	annoyance, sleep disorders

Prendendo in considerazione la tipologia più ampia di articolo selezionato (ossia i 37 "*original articles"*), i principali disturbi esaminati includono le performance cognitive, attenzione e motivazione sul posto di lavoro (15/37; 40,5%), seguiti dall'annoyance (4/37; 10,8%), stress (3/37; 8,1%), cambiamenti di umore con depressione e / o aggressività (2/37; 5,4%), disturbi del sonno (1/37; 2,7%). Infine, 6 articoli (6/37; 16,2%) analizzano disturbi misti. Per quanto riguarda i questionari somministrati ai lavoratori, abbiamo individuato un'ampia variabilità (ad esempio, il General Health Questionnaire (GHQ), il Patient Health Questionnaire (PHQ), lo Copenhagen Psychosocial Questionnaire (COPSOQ), lo Stroop Test (ST), il Reaction Time (RT), il Memory Test e il Sustained Attention to Response Test (SART)).

Per quanto riguarda le funzioni cognitive o varie abilità logiche e di memoria, la maggior parte degli autori concorda sul fatto che la loro qualità diminuisce con l'esposizione a fonti rumorose.

Un altro disturbo riscontrato frequentemente negli articoli selezionati è l'annoyance, ossia una sensazione di fastidio, malessere, tensione costante. Alcuni autori hanno cercato una correlazione tra questo disturbo riferito ed alcuni fattori individuali o legati al lavoro, come la sensibilità individuale, le differenze di genere oppure alcune caratteristiche legate alle postazioni di lavoro. Infine abbiamo individuato altre alterazioni che potrebbe essere poste in relazione con il rumore di tipo occupazionale, quali stati di agitazione, tensione, nervosismo, tendenza a sviluppare comportamenti aggressivi o dipendenze.

Invece, per quanto concerne le professioni tra gli *original articles*, il personale scolastico è la principale categoria di lavoratori analizzata (11/37; 29,7%), seguita da vari dipendenti (industria, agricoltori, manifatturieri ecc) e impiegati-amministrativi (7/37; 18,9%), militari (4/37; 10,8%) e gli operatori sanitari (2/37; 5,40%).

3. Raccolta delle evidenze delle patologie di danno extra-uditivo da rumore ricavabili dalla giurisprudenza

Per la catalogazione delle tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore (occupazionale e non), è stata effettuata una raccolta delle evidenze in ambito forense e delle patologie di danno ricavabili dalla giurisprudenza, attraverso l'esame sistematico di sentenze che hanno stabilito l'esistenza di danni non uditivi derivanti da esposizione al rumore.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.1. Riferimenti normativi

Il rumore, definito come suono indesiderato o come suono fuori posto, produce impatti negativi sulla salute e sul benessere delle persone e rappresenta una preoccupazione crescente delle autorità sanitarie, degli amministratori e degli educatori. Gli edifici scolastici rivestono una importanza e delicatezza particolare, come indicato dalla legge 447/95, che li inserisce tra i cosiddetti "ricettori sensibili". Specifici decreti e altri strumenti di regolamentazione sono stati emanati, negli anni, per considerare le peculiarità acustiche degli ambienti scolastici, dai punti di vista dell'isolamento dal rumore, della qualità acustica, dell'esposizione al rischio rumore dei lavoratori e degli allievi.

Nelle linee guida sul rumore ambientale pubblicate nell'ottobre 2018 dall'Ufficio Regionale per l'Europa dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) [3] si evidenzia fin dalle prime righe l'incidenza dell'esposizione a rumore e il relativo disturbo per la popolazione come problema di salute pubblica.

In campo giuridico, il rumore può essere considerato come fonte di danno alle persone e alle cose o come elemento di non conformità alle normative che regolamentano l'acustica edilizia, architettonica, impiantistica o la pianificazione urbanistica del territorio.

I principali riferimenti legislativi sono individuabili tra: in ambito amministrativo, la Legge 447/95 (Legge quadro sull'inquinamento acustico); nel diritto del lavoro, il Testo unico sulla sicurezza (Decreto Legislativo 81/2008) che dedica un intero capitolo all'esposizione al rumore dei lavoratori; in ambito penale, l'articolo 659 del Codice Penale riguarda il disturbo della quiete pubblica. Infine, nell'ambito del diritto civile, dove è presente il maggior numero di contenziosi, considerando in particolare le immissioni di rumore che generano danni, soprattutto extra-uditivi, il riferimento principale è l'articolo 844 del Codice Civile, riguardante la normale tollerabilità. A questo si aggiungono altri articoli riguardanti i vizi della cosa, applicabili ai contenziosi sulla non conformità acustica edilizia e sui difetti di progettazione ed esecuzione, che risultano particolarmente significativi negli ambienti acusticamente sensibili come le scuole e che vengono stigmatizzati anche dai recenti disposti legislativi. In particolare, in materia di Criteri Ambientali Minimi i riferimenti sono quelli fissati dal D.M. 11/10/2017 per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

Con riferimento ai documenti stilati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, già nella versione del 1999 delle "WHO Guidelines for Community Noise" [4], si ricava come il rumore possa avere conseguenze sia temporanee che permanenti sulle normali funzioni e attività quotidiane e sulla normale fruizione degli spazi, sia per i lavoratori esposti a rumori in ambito occupazionale che per la popolazione che vive in aree rumorose vicino a sorgenti disturbanti di rumore ambientale quali industrie e infrastrutture dei trasporti.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità il rumore si configura come un fattore ambientale stressante: a livello fisiologico, l'esposizione prolungata o di particolare intensità può generare un incremento della pressione sanguigna, vasocostrizioni e aumento del battito cardiaco e può accelerare e intensificare lo sviluppo di disturbi mentali latenti. Una serie di comprovati sintomi sono: ansia, stress,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

nausea, mal di testa, instabilità, ecc. In particolare, in ambito occupazionale, e scolastico, il rumore incide sulle performance nei compiti cognitivi.

La difficoltà nella comprensione, nella lettura e nella comunicazione di messaggi, oltre che il fastidio, sono effetti critici del rumore che caratterizzano gli ambienti scolastici. Per questo motivo, l'Organizzazione Mondiale della Sanità suggerisce di mantenere il livello del rumore di fondo LAeq inferiore a 35 dB(A) durante le lezioni. In quest'ottica potrebbe rivelarsi utile dividere le aree scolastiche a seconda delle attività da svolgere, che siano più o meno rumorose. Invece, per i parchi giochi all'aperto, il livello sonoro del rumore proveniente da fonti esterne LAeq non dovrebbe superare i 55 dB(A) [4].

I documenti redatti dell'OMS sono stati utilizzati in giurisprudenza anche per rafforzare le istanze lamentate da cittadini e lavoratori esposti al rumore, in aggiunta a quanto definito da leggi e norme, principalmente orientate alla quantificazione del disturbo attraverso il rispetto di limiti da parte dei parametri oggettivi.

3.2. Danni uditivi ed extra-uditivi da esposizione al rumore

Al contrario della valutazione dei danni uditivi, rappresentati da patologie chiare dell'apparato uditivo (ipoacusie, acufeni, etc.), la valutazione dei danni non uditivi, siano essi danni fisiologici o danni psicologici derivanti da esposizione al rumore, è di più complessa effettuazione, in quanto le cause del malessere di origine acustica potrebbero essere ricollegabili anche a fattori di altra natura e variare da persona a persona in funzione della soggettività della percezione sonora.

Vi sono molteplici risvolti extra-uditivi, conseguenti all'esposizione al rumore, connotati dalla temporaneità. Difatti, nella prevalenza dei casi, rimuovendo il danno patogeno si ripristina la funzione allo stato precedente. I soggetti subiscono spesso conseguenze nei rapporti con gli altri, nell'attività lavorativa, nei momenti di riposo e svago e questi possono interessare l'organismo con disturbi che possono variare da lievi e transitori a gravi e irreversibili. La risposta più diffusa in una popolazione esposta al rumore è il fastidio (annoyance). In generale, il disturbo può derivare dall'interferenza del rumore con le normali attività quotidiane e può essere accompagnato da reazioni negative e sintomi correlati allo stress [5].

Gli effetti psico-fisiologici da esposizione al rumore si possono avere già per livelli di 60 dB, e non vi è possibilità di adattamento. La risposta dell'organismo al rumore è una risposta aspecifica che si identifica con la sindrome da stress: l'esposizione a rumore evoca numerosi tipi di risposte riflesse, da considerare parte delle primitive risposte di difesa (sindrome generale di adattamento).

Se l'esposizione è temporanea il sistema fisiologico ritorna alle condizioni precedenti l'esposizione stessa. Le reazioni di allarme si verificano a carico degli organi bersaglio del sistema nervoso autonomo (cuore, vasi, apparato digerente, ghiandole endocrine) e a carico dei centri ipotalamo-diencefalici che regolano il ritmo sonno-veglia, la secrezione endocrina e altre funzioni.

Per l'individuazione di danni extra-uditivi da esposizione al rumore gioca un ruolo fondamentale la diagnosi medica del Consulente Tecnico d'Ufficio e quindi il referto a disposizione del Giudice, oltre che la consequenzialità temporale di causa ed effetto. I danni alla salute devono, infatti, accertare in sede

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

medico-legale la sussistenza di una lesione fisica o una patologia di natura psichica, nonché dimostrare il nesso eziologico tra le immissioni e la malattia riscontrata (Cass. n. 661/2017).

La consulenza tecnica relativa a problematiche di acustica e disturbo da rumore rientra nelle attività del Consulente Tecnico d'Ufficio, che può essere incaricato per una consulenza deducente o percipiente (attività normate dall'art.62 e dagli articoli 194 e seguenti del Codice di procedura civile).

Ad ogni modo, spetta sempre al Giudice il compito di stabilire la presenza e l'entità di rumori intollerabili, del danno subito dagli esposti, dell'eventuale loro risarcimento, delle sanzioni per i responsabili del danno, avvalendosi di ausiliari tecnici con speciale competenza in acustica, audiologia, etc.

L'importanza dell'individuazione delle responsabilità medico-sanitarie è emersa in particolar modo negli ultimi anni, con la serie di sentenze della Corte di Cassazione denominate "San Martino", che trattano problematiche di responsabilità civile e risarcimento del danno da colpa medica. Pur non essendovi specifiche disposizioni relative a danni extra-uditivi da esposizione al rumore, le sentenze "San Martino" sono considerate un caposaldo della consulenza tecnica poiché esse mostrano una rinnovata presa di coscienza in ambito giuridico rispetto a danni sia fisiologici che psicologici. Con queste storiche sentenze, la Suprema Corte ha stabilito come il danno non-patrimoniale può essere distinto in pregiudizi di tipo diverso: biologico, morale ed esistenziale.

3.3. Analisi delle sentenze riguardanti danni extra-uditivi da esposizione al rumore

A partire dagli archivi giuridici disponibili, fra i quali il database delle sentenze creato all'interno del progetto "Scenari e Metodi per l'Acustica Forense" [5] sono state raccolte e catalogate le sentenze che trattano di danni extra-uditivi da esposizione al rumore.

La ricerca di sentenze in ambito occupazionale non ha mostrato casi di evidenze di danni extra-uditivi da esposizione al rumore in ambito scolastico. Nonostante i numerosi studi scientifici abbiano evidenziato i costanti ed elevati livelli sonori a cui sono sottoposti gli insegnanti, non sono state intentate cause civili o penali sul tema. A fronte di questa realtà, mostrando le evidenze scientifiche come i danni extra-uditivi si traducono in giorni di malattia per i docenti, si può convenire che le problematiche sussistono ma non sono avvalorate da un significativo pregresso giurisprudenziale. Questo può aver disincentivato il soggetto leso a ricorrere ad un processo civile o penale per essere risarcito dei danni subìti. Risulta opportuno sottolineare che i danni extra-uditivi da rumore, di cui possono soffrire i docenti (tra i più comuni si citano emicrania, sforzo vocale e afonia), sono spesso temporanei e difficilmente diventano permanenti. Difatti, la percezione del disturbo è evidente anche a livelli non ancora sufficienti per determinare un danno uditivo. Il fatto che il danno fisiopatologico provocato sia temporaneo, sebbene quotidiano, scoraggia sicuramente il ricorso ad azioni legali, limitando il riconoscimento del danno potenziale. D'altra parte, vi sono alcune condizioni che variano da soggetto a soggetto: il rumore viene percepito in maniera diversa in base alla funzione uditiva dell'individuo e questo determina reazioni diverse a parità di sorgente.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Conclusioni

Dall'analisi delle evidenze è emerso come l'esposizione protratta al rumore può comportare danni sia a livello uditivo, con insorgenza di ipoacusia percettiva, sia a livello extra-uditivo, con alterazioni principalmente a carico degli apparati cardiovascolare, gastroenterico e nervoso-psichico.

Numerose cause legali sono state intentate per il risarcimento di danni uditivi in ambito occupazionale e non. Al contrario, in assenza di specifica normativa, la correlazione tra danni extra-uditivi ed esposizione al rumore, pur essendo stata largamente avvalorata dalla letteratura scientifica, solo di recente è stata considerata come elemento di causalità del danno nei contenziosi giuridici.

L'individuazione delle tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore è il punto di partenza per i successivi obiettivi specifici del Progetto.

A partire dalle ricerche bibliografiche e forensi, si prevede di eseguire un'analisi acustica dei contesti lavorativi oggetto di interesse, oltre che di studiare la correlazione tra qualità acustica degli ambienti, danni individuati e reazioni comportamentali. Le attività programmate nel successivo obiettivo specifico 4 constano, infatti, della selezione di un numero congruo di casi studio sul quale eseguire le analisi. Si prevede, dunque, di valutare il clima acustico degli ambienti scolastici e definire le indicazioni di strategie e soluzioni per il controllo del rumore e la realizzazione di ambienti di lavoro a basso rischio di danni extra-uditivi.

References

1. Pujol, S.; Levain, J.-P.; Houot, H.; Petit, R.; Berthillier, M.; Defrance, J.; Lardies, J.; Masselot, C.; Mauny, F. *Association between Ambient Noise Exposure and School Performance of Children Living in An Urban Area: A Cross-Sectional Population-Based Study*. Journal of Urban Health **2014**, 91, pp. 256–271.
2. Agenzia europea dell'ambiente. *Rumore in Europa*. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2014.
3. World Health Organization. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen, Danimarca, 2018.
4. World Health Organization. *Guidelines for Community Noise*. Londra, UK, 1999.
5. Luzzi, S.; Giuliano, V. *Manuale di acustica forense*, 1st ed.; Edizioni ETS: Pisa, Italia, 2018.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Scelta e catalogazione degli scenari di indagine e indicazioni operative per l'analisi acustica degli ambienti scolastici possibili sedi di danno extra-uditivo da esposizione al rumore

Francesco Asdrubali[1,*], Sergio Luzzi[2], Lucia Busa[3], Franco Cotana[4], Michele Goretti[4] , Claudia Guattari[1] and Raffaele Mariconte[5]

[1] Dipartimento di Ingegneria - Università Roma Tre, Via Ostiense, 159, Roma
[2] Vie en.ro.se. Ingegneria, Viale Belfiore 36, Firenze
[3] Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica - Università di Firenze, Largo Brambilla 3, Firenze
[4] CIRIAF, Via G. Duranti 67, Perugia
[5] INAIL, Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici, via Roberto Ferruzzi 38/40, 00143 Roma

* Autore di riferimento. E-Mail: francesco.asdrubali@uniroma3.it

Abstract: Il progetto BRiC INAIL 2019-ID 14 vede impegnate cinque università italiane nell'ambizioso lavoro di ricerca su come i contesti acustici non adeguati possano determinare l'insorgere di danni extra-uditivi. Il progetto, iniziato nel giugno 2020, indaga soprattutto le problematiche connesse agli ambienti scolastici e alle persone che li frequentano, per le quali si osservano evidenze di danno e problematiche di carattere non uditivo a livello fisiologico, neuro-comportamentale e percettivo-cognitivo. In questa memoria si presentano i risultati dell'attività, facenti parte dell'obiettivo specifico 3 del progetto, riguardante la catalogazione delle sorgenti e degli scenari sorgente complessi capaci di generare danni extra-uditivi in ambito scolastico. Si illustra poi il protocollo di indagine che viene applicato nelle scuole di Firenze, Perugia e Roma selezionate come campione rappresentativo per le finalità del progetto. Viene presentato il documento che contiene una guida per la scelta e la catalogazione degli scenari di indagine e una serie di indicazioni operative per l'effettuazione delle attività previste dall'obiettivo specifico 4 del progetto, riguardanti la misura e valutazione del clima acustico degli spazi oggetto di studio, anche tramite l'approccio del soundscape, e della rumorosità a cui sono sottoposti gli operatori del settore scolastico in specifici ambienti (aule, spazi comuni, refettori, palestre, spazi esterni e altri spazi ritenuti significativi).

Keywords: ambienti scolastici; sorgenti sonore; clima acustico.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

Al fine di valutare la qualità acustica degli ambienti scolastici, possibili sedi di danno extra-uditivo da esposizione al rumore, il progetto ha previsto la scelta e catalogazione degli scenari di indagine e l'individuazione di indicazioni operative per l'analisi acustica di tali ambienti.

A tal proposito, è stata eseguita una ricerca bibliografica di pubblicazioni scientifiche sul tema, che ha permesso di evidenziare le tipologie di sorgenti sonore, localizzate all'interno e all'esterno delle aule scolastiche, al cui rumore sono sottoposti i fruitori dei suddetti ambienti.

A partire dalle evidenze di letteratura, è stato definito un protocollo di indagine e sono stati selezionati casi studio significativi per lo svolgimento delle indagini acustiche.

L'individuazione delle sorgenti sonore che incidono sull'incremento dei livelli di rumore e che, conseguentemente, possono essere la causa di danni uditivi ed extra-uditivi ai fruitori degli ambienti, permette di studiare la correlazione tra la qualità acustica degli ambienti, i danni individuati e le reazioni comportamentali. Alla luce delle analisi svolte sui casi studio, il progetto si prefigge l'obiettivo di definire indicazioni di strategie e soluzioni per il controllo del rumore e realizzare ambienti di lavoro a basso rischio di danni extra-uditivi.

2. Caratterizzazione delle sorgenti sonore nelle scuole

Le aule scolastiche sono sottoposte a diverse fonti di rumore, imputabili a sorgenti che possono essere localizzate all'esterno o all'interno dell'ambiente e, più in generale, dell'edificio scolastico. Nella prima fase del progetto, prevista all'interno dell'attività 2 dell'obiettivo specifico 3, sono stati analizzati i risultati di un'attenta ricerca bibliografica, effettuata tra articoli scientifici pubblicati su riviste di livello internazionale. Sono stati selezionati 24 studi inerenti al rumore negli ambienti scolastici. Tali ambienti sono distribuiti in realtà geografiche molto diverse tra loro, includendo sia paesi sviluppati che in via di sviluppo.

Gli articoli studiati si riferiscono ad un ampio arco temporale, evidenziando, però, come negli ultimi dieci anni la ricerca scientifica in questo campo abbia subìto un forte sviluppo (il 64% dei lavori analizzati è stato pubblicato in questo periodo).

Gli edifici scolastici oggetto degli studi reperiti in letteratura sono principalmente situati in aree urbane densamente popolate e sono, per la maggior parte, scuole primarie e secondarie.

Tabella 1. Elenco delle realtà scolastiche individuate in letteratura.

Riferimento (*)	Location	Tipologie di scuola	Dataset
[1]	Assiut (Egitto)	Scuole primarie (13-15 anni)	300 studenti, 6 scuole
[2]	Torino (Italia)	Scuole secondarie (11-14 anni)	1 scuola, 51 classi
[3]	Istanbul (Turchia)	Scuole secondarie	2 scuole, 37 classi
[4]	Napoli, Taranto, Ravenna, San Miniato, Ponte a Egola (Italia)	4 scuole medie (11-13 anni), 4 scuole secondarie (14-18 anni)	8 scuole
[5]	USA	-	99691 scuole
[6]	Londra (Regno Unito)	3 scuole primarie e 3 secondarie	6 scuole
[7]	Regno Unito	-	42 classi

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

[8]	USA	-	1 scuola
[9]	Los Angeles (USA)	5 scuole elementari, 2 scuole medie	7 scuole
[10]	Svezia	Scuole primarie (13-15 anni)	216 studenti, 12 insegnanti
[11]	Guangzhou (Cina)	3 scuole elementari	46 classi (30-40 studenti), 64 insegnanti
[12]	Governatorato di Minya (Egitto)	-	140 insegnanti
[13]	Nebraska dell'Est (USA)	34 scuole elementari di terzo grado (8-9 anni) e 33 di quinto grado (10-11 anni)	67 classi
[14]	Finlandia	Scuole elementari (7-13 anni)	40 scuole
[15]	Surabaya (Indonesia)	-	1 scuola
[16]	Valencia (Spagna)	Scuole primarie (6-11 anni)	2 scuole
[17]	Toscana, Lombardia, Piemonte (Italia)	Dall'asilo alle scuole secondarie di secondo grado	64 scuole
[18]	Regno Unito	Scuole secondarie	13 scuole, 185 classi
[19]	Londra (Regno Unito)	Scuole primarie	142 scuole
[20]	Londra (Regno Unito)	Scuole primarie (7-11 anni)	142 scuole
[21]	Braga (Portogallo)	Scuole primarie (8-11 anni)	3 scuole, 231 studenti e 20 insegnanti
[22]	India meridionale	Scuole primarie	4 scuole, 23 classi
[23]	Taiyuan (Cina)	Scuole secondarie (11-16 anni)	6 scuole, 657 studenti
[24]	Londra (Regno Unito)	Scuole secondarie	96 scuole

(*) I riferimenti indicati sono riportati in bibliografia.

A partire da quanto esposto nelle pubblicazioni scientifiche, sono state individuate le sorgenti sonore che caratterizzano gli edifici scolastici e che sono localizzate sia all'esterno che all'interno di questi. Si osserva come il rumore proveniente dall'esterno è da imputarsi principalmente al traffico stradale, ferroviario e aeroportuale, laddove le scuole sono situate nei pressi delle sopra menzionate sorgenti. Alcune sorgenti esterne, inoltre, sono legate alle attività degli studenti negli spazi all'aperto della scuola: cortili, palestre, aree giochi, campi sportivi. In alcuni casi sono stati individuati rumori provenienti da cantieri edili e sirene e il cinguettio degli uccelli. Le sorgenti di rumore interne, invece, sono in primo luogo legate alle attività degli studenti all'interno delle aule: esse hanno ovviamente un impatto più significativo in presenza di attività in movimento, quali ad esempio chiacchiere fra studenti e rumori di tavoli e sedie. Rilevanti sono anche i rumori interni derivanti dalla presenza di impianti di riscaldamento o raffrescamento. I rumori da sorgenti interne che caratterizzano le aule scolastiche possono provenire anche da ambienti limitrofi all'aula oggetto di studio.

3. Il protocollo di indagine

Successivamente, è stato redatto un protocollo di indagine, condiviso dalle Unità Operative coinvolte, al fine di indicare i parametri utili per la caratterizzazione del clima acustico degli ambienti scolastici. L'obiettivo di tale documento è di rendere omogenee e complete le procedure di indagine da utilizzare in diversi plessi scolastici, localizzati nelle città di Firenze, Perugia e Roma e identificati come casi studio. Di conseguenza, anche i risultati delle indagini saranno di più immediato confronto.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Nel documento sono presentati gli scenari di indagine, i riferimenti legislativi e normativi e una serie di indicazioni operative (misure e indicatori, questionari e attività integrative) per:

- la misura e valutazione del clima acustico degli spazi oggetto di studio, anche tramite l'approccio del soundscape, e della rumorosità a cui sono sottoposti gli operatori del settore scolastico in specifici ambienti (aule, spazi comuni, refettori, palestre, spazi esterni e altri spazi ritenuti significativi);
- lo studio della correlazione dei parametri acustici e psicoacustici con le caratteristiche geometriche, architettoniche e costruttive (materiali impiegati) delle aule scolastiche, anche in considerazione dell'epoca di costruzione;
- le misure e valutazioni finalizzate alla quantificazione dello sforzo vocale degli insegnanti nei medesimi ambienti; correlazione tra lo sforzo vocale e il clima acustico degli ambienti scolastici, nonché con risultati di test audiometrici.

All'interno del protocollo sono indicati i parametri, la metodologia di misura e alcune note sulle criticità di acquisizione dei dati legate al contesto, inclusa l'attuale emergenza sanitaria.

Entrando nel merito dei contenuti del protocollo di indagine, questo è articolato in quattro categorie, ciascuna delle quali comprendente un numero di voci corrispondenti alle singole rilevazioni e analisi da effettuare. Se ne riportano i contenuti sintetici in Tabella 2.

Tabella 2. Articolazione del protocollo di indagine.

Protocollo di Indagine		
Sezione	**Tipologia di indagine**	**Descrizione**
MISURE E INDICATORI	Misurazioni ad ambiente NON OCCUPATO	Clima acustico/rumore ambientale esterno
		Isolamento acustico normalizzato di facciata
		Livello di rumore in ambiente
		Rumorosità interna proveniente dagli ambienti interni limitrofi
		Rumore degli impianti
		Tempo di riverberazione
		Room Criteria
	Misurazioni ad ambiente OCCUPATO	Clima acustico/rumore ambientale interno in condizioni di utilizzo regolare degli ambienti
		Misure dirette, registrazioni, dosimetrie ed elaborazioni
	Sforzo vocale	(**)
QUESTIONARI	Somministrazione di questionari	Impatto del rumore sulla ricezione del parlato e percezione del disturbo sull'intelligibilità
		Elementi per la lettura completa di disturbo, benessere e sensibilità correlati al rumore: individuazione delle sorgenti, sensibilità al rumore, temperamento del soggetto, interazione delle varie sensazioni (matrici luce, ergonomia, comfort termo-igrometrico) con la percezione acustica
		Percezione del paesaggio sonoro negli spazi esterni e indoor (soundscape analysis)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

ATTIVITÀ INTEGRATIVA	Studio della trasmissione del parlato in condizioni peculiari (secondo le disposizioni previste a seguito dell'emergenza da COVID-19)	Studio dell'effetto delle mascherine e degli altri dispositivi di protezione individuale e collettiva sulla trasmissione del parlato nelle scuole: difficoltà uditive, problemi di intelligibilità aumentati dall'impossibilità di leggere il labiale, attenuazione della voce in ampiezza e in corrispondenza di frequenze critiche
MISURE DI SOUNDSCAPE	Misure psicoacustiche e somministrazione di questionari negli ambienti esterni di pertinenza delle scuole	Somministrazione di questionari
		Svolgimento delle misure psicoacustiche

(**) Misure coordinate da INAIL

4. Selezione degli ambienti scolastici oggetto di studio

Le scuole oggetto di studio sono state scelte all'interno di un campione di 29 istituti, di cui 8 scuole dell'infanzia, 9 scuole primarie, 12 scuole medie/superiori, in cui gli autori hanno effettuato sopralluoghi e censito i possibili scenari di indagine mediante la compilazione di una specifica scheda. Le città interessate dal progetto sono Firenze, Perugia e Roma.

Le tipologie di scuole, sedi di indagine, da individuare in ciascuna città, sono:

A) Scuola dell'Infanzia
B) Scuola Primaria
C) Scuola Media Inferiore/Superiore

Al fine di eseguire le indagini acustiche, previste dal protocollo, in ambienti rappresentativi dei contesti scolastici, sono stati individuati gli scenari tipici delle realtà scolastiche.

In particolare, per ciascun plesso, se presenti, sono stati selezionati e schedati i seguenti scenari:

S1 - Aula didattica
S2 - Laboratorio (didattica e sperimentazione)
S3 - Aula magna/polivalente/equivalente
S4 - Palestra
S5 - Spazio comune (ricreazione, attività)
S6 - Refettorio
S7 - Spazio esterno

Per ciascuna delle scuole visionate, è stata redatta una scheda descrittiva con i seguenti dati:

- *ordine*, ovvero scuola dell'infanzia, scuola primaria o scuola media inferiore/superiore;
- *indirizzo*;
- *clima acustico esterno*, ovvero bassa, media, alta rumorosità ambientale, indicando la presenza di eventuali sorgenti che caratterizzano il paesaggio sonoro (es. infrastrutturali, industriali, impiantistiche, ecc.);
- *epoca di costruzione*, ante 900, 1900-1950, 1950-1975 (ante DM 18/12/75), 1975-1998 (ante DPCM 5/12/97), 1998-2017 (ante CAM), dopo 2017;
- *tipologia edilizia e costruttiva*, indicando le caratteristiche tipologiche rilevanti (es. edifici a corte o compatti, muratura portante, telaio in c.a., ecc.);

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

- *presenza di interventi di correzione e mitigazione acustica*, indicando la presenza di interventi acustici rilevanti in esterno e interno (es. barriere antirumore, asfalti fonoassorbenti, infissi fonoisolanti, trattamenti fonoassorbenti interni, ecc.);
- *note di contesto (urbano, ambientale, sociale)*, informazioni integrative in merito al contesto territoriale (es. centro città, prima periferia, periferia, extra-urbano), ambientale (es. zona residenziale, artigianale/industriale, direzionale, mista), sociale (indicare eventuali peculiarità dell'area dal punto di vista sociale).

Le schede sono state corredate da immagini di inquadramento urbano, planimetrie e foto relative ai diversi scenari di indagine.

A partire dai suddetti criteri di selezione utilizzati (contesto urbano, contesto ambientale, clima acustico esterno, epoca di costruzione, tipologia edilizia e costruttiva, presenza di interventi di mitigazione acustica in esterno e interno e presenza degli scenari definiti dal Protocollo), la selezione dei casi studio ha privilegiato la varietà tipologica degli istituti scolastici, in modo da coprire in maniera uniforme la molteplicità delle realtà scolastiche presenti sul territorio italiano.

Nelle Tabelle 3-5, si riporta l'elenco dei casi studio selezionati nelle tre città. Tali istituti sono stati suddivisi per ordine (scuole dell'infanzia, scuole primarie, scuole medie/superiori) e corredati con le relative immagini, scattate negli spazi interni.

Tabella 3. Casi studio selezionati nelle tre città (Firenze, Perugia e Roma) come rappresentativi delle scuole dell'infanzia

Riepilogo scuole dell'infanzia					
Città	**Scuola**	**Categoria Scuola**	**Contesto**	**Epoca di costruzione, tipologia edilizia, struttura**	**Interventi acustici**
FIRENZE	Istituto Comprensivo "Coverciano"	Infanzia "S. Maria Coverciano"	Cittadino, prima periferia, zona residenziale/commerciale, contesto a media rumorosità ambientale	1998-2017 (2015) edificio a L con corte aperta, telaio in c.a.	Nessuno in esterno, Trattamenti fonoassorbenti negli ambienti interni
PERUGIA	Istituto Comprensivo Perugia 9	Infanzia "Mahatma Gandhi" (San Martino in Campo)	Extra-urbano, presso frazione del territorio comunale, bassa rumorosità ambientale, zona residenziale e rurale, contesto sociale vario	1975-1998 (ampliamento: 2006-2008), edificio ad "L" con corte aperta, telaio in c.a.	Pannelli fonoassorbenti soffitto vari ambienti, controsoffitto acustico Refettorio
ROMA	Complesso Scolastico "SERAPHICUM"	Infanzia Seraphicum	Cittadino, bassa rumorosità ambientale	1975-1998 (1980-1990) edificio in linea	Controsoffitto fonoassorbente in un'aula e nei corridoi

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 1. Foto delle aule didattiche (scenario S1) nei casi studio selezionati delle scuole dell'infanzia.

Tabella 4. Casi studio selezionati nelle tre città (Firenze, Perugia e Roma) come rappresentativi delle scuole primarie.

Riepilogo scuole primarie					
Città	**Scuola**	**Categoria Scuola**	**Contesto**	**Epoca di costruzione**	**Interventi acustici**
FIRENZE	***Istituto Comprensivo "Coverciano"***	**Primaria** "S. Maria Coverciano"	Cittadino, prima periferia, contesto a media rumorosità ambientale	1998-2017 (2010) edificio a L con corte aperta, telaio in c.a.	Nessuno in esterno, Trattamenti fonoassorbenti negli ambienti interni
PERUGIA	***Istituto Comprensivo Statale Panicale - Piegaro - Paciano***	**Scuola Primaria "Don Lorenzo Milani" (Tavernelle)**	Extra-urbano, in piccola realtà di paese, medio/bassa rumorosità, su strada principale, zona residenziale con area verde, contesto sociale vario	1950-1975 (ristrutturazioni: anni '80-'90 e 2015-2018) edificio compatto, muratura portante	Controsoffitto cartongesso Aula Informatica e Aula Attività Pratiche
ROMA	***Istituto Comprensivo "VIA LATINA 303"***	**Scuola primaria Grazia Deledda**	Cittadino, bassa rumorosità ambientale	1975-1998 (1970-1980)	Nessuno

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 2. Foto delle aule didattiche (scenario S1) nei casi studio selezionati delle scuole primarie.

Tabella 5. Casi studio selezionati nelle tre città (Firenze, Perugia e Roma) come rappresentativi delle scuole medie/superiori.

Riepilogo scuole medie/superiori					
Città	**Scuola**	**Categoria Scuola**	**Contesto**	**Epoca di costruzione**	**Interventi acustici**
FIRENZE	***Istituto Salesiano dell'Immacolata***	**Scuola secondaria I grado, Liceo Scientifico, Liceo delle Scienze Umane**	Cittadino, zona residenziale, media rumorosità ambientale	Ante '900 edificio a C con corte aperta, struttura mista	Nessuno in esterno, Trattamenti acustici solo nell'aula magna e nella Sala Esse
PERUGIA	***Istituto di Istruzione Superiore Cavour - Marconi - Pascal***	**Scuola Secondaria di II grado Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato "Cavour"**	Extra-urbano, alla periferia della città, alta rumorosità, su strada principale, nelle fasce di pertinenza acustica di strada di grande comunicazione e ferrovia locale, zona mista (istruzione superiore, agricola e insediamenti sparsi), contesto sociale vario	1975-1998 (ampliamento: 2002), edificio prevalentemente compatto (piccola corte interna), telaio in c.a.	Asfalto drenante monostrato, Controsoffitto fonoassorbente in tutte Aule (continuo o fasce), Aula Magna, Biblioteca, tutti Corridoi e alcuni Laboratori
ROMA	***Istituto Comprensivo "ENNIO QUIRINO VISCONTI"***	**Scuola secondaria di I grado** Sant'Agata dei Goti	Cittadino non a ridosso da via ad elevato scorrimento	Ante '900	Nessuno esterno, controsoffitto fonoassorbente in alcune aule

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 3. Foto delle aule didattiche (scenario S1) nei casi studio selezionati delle scuole medie/superiori.

Anche se esiguo, il campione analizzato di scuole nelle diverse città ha permesso di osservare che i trattamenti acustici interni sono meno presenti nelle scuole di ordine superiore. Una delle possibili cause è imputabile al fatto che mediamente le scuole medie e superiori sono ospitate in edifici più datati rispetto agli edifici di scuole dell'infanzia e primarie e meno oggetto di ristrutturazione di queste ultime.

5. Conclusioni

L'attività di ricerca del progetto, esposta nel presente articolo, ha previsto la disamina delle pubblicazioni scientifiche, e dei relativi dati, inerenti scuole di vario ordine e grado localizzate in un numero significativo e variegato di città. Dalla ricerca bibliografica è emerso che i rumori esterni sono da riferire principalmente a strade, ferrovie ed aeroporti; mentre quelli interni sono legati alle attività svolte nelle aule o dovuti alla presenza di impianti.

La definizione di un protocollo di indagine e la scelta e catalogazione degli scenari da analizzare ha l'obiettivo di identificare ambienti, utilizzati per lo svolgimento delle attività scolastiche, che siano comparabili tra le realtà individuate nelle tre città prese in esame (Firenze, Perugia e Roma). Le indicazioni riportate nel protocollo di indagine sono disposizioni operative per l'effettuazione dell'analisi acustica prevista dall'attività 4.1 del progetto BRIC INAIL 2019 - ID 14, riguardante l'analisi degli effetti extra-uditivi del rumore sulla salute dei fruitori degli spazi scolastici.

Le scuole, scelte come campione rappresentativo, saranno oggetto di misura e valutazione del clima acustico degli spazi e oggetto di studio della correlazione dei parametri acustici e psicoacustici. Si prevede, inoltre, la partecipazione dei fruitori degli spazi attraverso la somministrazione di questionari agli studenti e agli insegnanti e la successiva analisi dei dati.

Queste attività sono state inizialmente programmate per essere effettuate tra i mesi di novembre 2020 e settembre 2021. Lo svolgimento potrà essere posticipato a causa delle restrizioni, dovute alla pandemia e previste dai DPCM, che interessano la fruizione degli ambienti scolastici. Infatti, alcune delle misure da effettuarsi richiedono la presenza degli studenti per la valutazione acustica dell'ambiente nella configurazione occupata.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

References

1. Ali, S. A. A. Study effects of school noise on learning achievement and annoyance in Assiut city, Egypt. *Applied Acoustics* **2013**, *74*, 602–606.
2. Astolfi, A.; Pellerey, F. Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. *Journal of the Acoustical Society of America* **2008**, *123*, 163–173.
3. Avsar, Y.; Gonullu, MT. The influence of indoor acoustical parameters on student perception in classrooms. *Noise Control Eng J* **2010**, 58, 310.
4. Chetoni, M.; Ascari, E.; Bianco, F.; Fredianelli, L.; Licitra, G; Cori, L. Global noise score indicator for classroom evaluation of acoustic performances in LIFE GIOCONDA project. *Noise Mapp* **2016**, *3*, 157–171.
5. Collins, T.W.; Grineski, S.E.; Nadybal, S. Social disparities in exposure to noise at public schools in the contiguous United States. *Environ Res* **2019**, *175*, 257–265.
6. Crook, M.A.; Langdon, F.J. The effects of aircraft noise in schools around London airport. *J Sound Vib* **1974**, *34*, 221–232.
7. Greenland, E. E.; Shield, B. M. A survey of acoustic conditions in semi-open plan classrooms in the United Kingdom. *Journal of the Acoustical Society of America* **2011**, 130, 1399–1410.
8. Hilton, D.A.; Pegg, R.J. Noise environment of a typical school classroom due to the operation of utility helicopters. *Journal of the Acoustical Society of America* **1974**, *55*, S37.
9. Lane, S.R.; Meecham, W.C. Jet noise at schools near Los Angeles International Airport. *J Acoust Soc Am* **1974**, *56*, 127–131.
10. Lundquist, P.; Holmberg, K.; Landström, U. Annoyance and effects on work from environmental noise at school. *Noise Health* **2000**, *2*, 39–46.
11. Peng, J.; Zhang, H.; Wang, D. Measurement and analysis of teaching and background noise level in classrooms of Chinese elementary schools. *Applied Acoustics* **2018**, *131*, 1–4.
12. Phadke, K.V.; Abo-Hasseba, A.; Švec, J.G.; Geneid, A. Influence of Noise Resulting From the Location and Conditions of Classrooms and Schools in Upper Egypt on Teachers' Voices. *J Voice* **2019**, *33*, 802.e1-802.e9.
13. Ronsse, L.M.; Wang, L.M. Relationships between unoccupied classroom acoustical conditions and elementary student achievement measured in eastern Nebraska. *Journal of the Acoustical Society of America* **2013**, *133*, 1480–1495.
14. Sala, E.; Rantala, L. Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland. *Applied Acoustics* **2016**, *114*, 252–259.
15. Santika, B.B.; Indrawati, S.; Suyatno; Yahya, E. Noise Evaluation of Traffic Flows and Its Effect to Concentration Capability of the Students in One of Private School in Surabaya. *Procedia Eng* **2017**, *170*, 274–279.
16. Sanz, S.A.; Garcìa, A.M.; Garcìa, A. Road traffic noise around schools: a risk for pupil's performance? *International Archives of Occupational and Environmental Health* **1993**, *65*, 205–207.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

17. Secchi, S.; Astolfi, A.; Calosso, G.; Casini, D.; Cellai, G.; Scamoni, F.; et al. Effect of outdoor noise and façade sound insulation on indoor acoustic environment of Italian schools. *Applied Acoustics* **2017**, *126*, 120–130.
18. Shield, B.; Conetta, R.; Dockrell, J.; Connolly, D.; Cox, T.; Mydlarz, C. A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England. *Journal of the Acoustical Society of America* **2015**, *137*, 177–188.
19. Shield, B.; Dockrell, J.E. External and internal noise surveys of London primary schools. *Journal of the Acoustical Society of America* **2004**, *115*, 730–738.
20. Shield, B.M.; Dockrell, J.E. The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *Journal of the Acoustical Society of America* **2008**, *123*, 133–144.
21. Silva, L.T.; Oliveira, I.S.; Silva, J.F. The impact of urban noise on primary schools. Perceptive evaluation and objective assessment. *Applied Acoustics* **2016**, *106*, 2–9.
22. Sundaravadhanan, G.; Selvarajan, H.; McPherson, B. Classroom Listening Conditions in Indian Primary Schools: A Survey of Four Schools. *Noise Heal* **2017**, *19*, 31–38.
23. Wen, X.; Lu, G.; Lv, K.; Jin, M.; Shi, X.; Lu, F.; et al. Impacts of traffic noise on roadside secondary schools in a prototype large Chinese city. *Applied Acoustics* **2019**, *151*, 153–163.
24. Xie, H.; Kang, J.; Tompsett, R. The impacts of environmental noise on the academic achievements of secondary school students in Greater London. *Applied Acoustics* **2011**, *72*, 551–555.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Resilient territories. The case of post-earthquake reconstruction in Emilia Romagna

Francesco Alberti [1,*]

[1] Università di Ferrara - Dipartimento di Architettura, via Quartieri 8 - Ferrara

* Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: francesco.alberti@unife.it

Abstract: Urban seismic risk prevention has many overlaps with strategic planning: the protection and development of the settlement are part of the same scenario, the one that emerges from the comparison between the different intervention options and the choices made by the local community. The prevention of seismic risk develops starting from the recognition of the vulnerability of the urban system and starts from both the analysis of the urban planning prior to the earthquake, and from the various hypotheses of future development formulated by the public administration. The Emilia Romagna Region to implement the regeneration and revitalization of the historic centers affected by the earthquake, has identified the programmatic-implementation tool of the Reconstruction Plan - with the dedicated tool for urban spaces of the Organic Plan within it - configuring it in all respects as a strategic urban project to rebuild and protect the territory. The Reconstruction Plans were immediately aimed at restoring living conditions, resuming economic activities and reducing building and urban vulnerability. The aim was therefore to reduce exposure to risks of different types, with respect to which a new culture of "resilience" is oriented, such as the ability to anticipate and deal with, by preventing them, the crisis factors to which the territories are subjected, and to assume charged by local communities with the process of rebirth and care of the territories, starting from the rediscovery of a sense of being rooted in places, of inclusion and social aggregation.

Keywords: strategic planning, urban resilience, urban regeneration, sustainable development, social inclusion, urban projects.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_0036_pp_374

1. Governance: forms of participation for new decision-making processes

Despite some difficulties encountered in harmonizing the strategies of all sixty municipalities affected by the earthquake of 20 and 29 May 2012, today it can be said that the reconstruction plans introduced by L.R. 16 of 21/12/2012 “Rules for the reconstruction of the territories hit by the earthquake” represented an important test bed for the innovation of intervention procedures in the areas of the “Emilian seismic crater” and, more generally, allow to initiate a reflection, and also an interesting debate of both a methodological and operational nature, on the subject of post-seismic public initiatives in our country. The plans are configured as an unprecedented tool that combines strategic planning and urban planning, through which it was intended to speed up the return of populations to their original homes and to promote, at the same time, the process of socio-economic recovery of the historic centers damaged by the earthquake. Their use at the municipal scale makes it possible to ensure a forecasting and shared overall guiding vision, both socially and institutionally, to transparently assess the costs, methods and times for carrying out the interventions as a whole, taking into account the complexity and fragility of a system that acted simultaneously on both the urban and building scale, which required organizational, administrative and planning skills which are the real keystone of reconstruction practices. The added value of the tool is fully appreciated at the supra-municipal level, of a large area, in the dual territorial and seismic crater role: in the first case, the networking of the forecasts of the individual Reconstruction Plans allows to identify development strategies in a future scenarios for relaunching the territory to be configured; in the second case, the knowledge of the needs based on common and shared data, for the rehabilitation of all the heritage that conforms the "historic centers" in economic, financial and implementation terms, allows to guarantee those parameters of economy, effectiveness, efficiency and transparency that could make the Emilian post-seismic experience a best practice for any upcoming emergency situations. A planned and set planning in terms of an interinstitutional agreement between public entities, thus giving rise to what could be an “Emilian model” of reconstruction. A model in which the "community of practice" constituted by the network between the Technical Structure of the Delegate Commissioner, research bodies, municipalities, agencies and territorial consortia merges with an economic and social development project led by public institutions. From the beginning, therefore, the reflections have been developed, to face in time and in an adequate way the strategies of a risk economy that go beyond the initial moment of repairing the damage, to take charge of the more general conditions of recovery of the territories premises hit by the earthquake and other calamities, both of natural and anthropogenic origin.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Fig. 1 - Ferrara: il sistema di spazi urbani prospicenti il landmark di Porta Paola completamente riqualificati.

The experience of the Plans for the municipalities of the Emilian crater - Ferrara, Vigarano Mainarda, Mirabello, Sant'Agostino, Poggio Renatico, Bondeno, Cento, Pieve di Cento, Finale Emilia, object of study and research (Clementi, Alberti, Zazzero 2016) starting from the constitution of the urban plan in associated form - it is the testimony that things can work, when the will of the institutions at the different levels meet each other in the search for common objectives, The timely and immediate approval is the proof that, when a publicistic approach prevails, supported by expert knowledge, when the plans are the true expression of social participation when there is the commitment of the local government institutions, then the results cannot be lacking.

It is necessary to reflect on these experiences, born from the farsightedness of an initial intuition, with which the Region progressively in the aftermath of the earthquake, and then in an increasingly organic way the Commissioner delegated, activated an interinstitutional partnership between the municipalities of the seismic crater, the Superintendencies and local institutional subjects in order to mobilize the most advanced technical and scientific resources and place them at the service of local administrations.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Fig. 2 - Terre del Reno, Sant'Agostino:
la nuova piazza centrale sorta sul sedime dell'Ex Municipio.

However, with the disaster caused by the earthquake, a season of fruitful collaboration seems to have begun, based on the capacity for dialogue and reflexive learning of the different actors involved - Region, Provinces, Municipalities, commissioner structures, Prefecture, local communities and Departments and centers of research - and on the construction of shared paths with the aim of good governance of decision-making processes.

The objective set out immediately was to ensure the socio-economic recovery of the reference area; promote the redevelopment of the built-up area, also based on the density, quality and complementarity of proximity services and public services on an urban scale, as well as the more general environmental quality (Carta, La Greca 2017); facilitate the return of populations to the houses recovered following the damage caused by the seismic events of 20 and 29 May 2012. The reconstruction plans have taken on an unprecedented multilevel and multidisciplinary structure, an integrated territorial project that seeks to overcome the drama of the disastrous event taking the opportunity for the socio-economic revival and for the safety of the settlements hit by the earthquake.

In the activity carried out, the traditional separation between urban planning and development planning, between planning and mitigation of seismic risk, seems to be resolved in a tool - the Reconstruction Plan - which integrates the themes of the recovery of the historical heritage, of the socio-economic development, landscape enhancement and safety and environmental prevention, also pushing to define the economic needs in terms of costs and times.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Of course, there is still a lot to do to fully develop the innovative potential of this extraordinary - not ordinary - tool that the legislator has designed for intervention in areas devastated by the earthquake. It is appropriate to reflect on the possible repercussions that the work carried out in recent years and in these conditions in the Emilian crater may have on the ordinary practices of urban and territorial planning of the Region: the return to ordinary post-reconstruction management cannot be separated from a verification of the methods and on the methods used, completed and consolidated by the new regional urban planning law.

Fig. 3 - Terre del Reno, Mirabello: il sistema degli spazi urbani di piazza Battaglini, a servizio del Municipio e della Chiesa, riqualificati a seguito del sisma.

2.Resilience: innovative processes between vulnerability and security

The prevention of seismic risk begins, in the plans aimed at reconstruction, with the recognition of the vulnerability of the urban system and starts both from the analysis of the urban planning prior to the earthquake, and from the various hypotheses of future development formulated by the public administration. To a certain extent, urban seismic risk prevention has many overlaps with strategic planning: the protection and development of the settlement are part of the same scenario, the one that emerges from the comparison between the different intervention options and the choices made local community (Donolo, 2011). In this sense, the prevention process started has features of multiscalarity and is connected to the double level of reconstruction activated for the municipalities of the Emilian crater: the material one, aimed at restoring, if not seismic improvement, the structural

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

conditions of urban aggregates, and the economic and social one, promoted through the Area Plans, of strategic value, and the Reconstruction Plans, of implementation value. The need to make a selection among the many possible interventions derives from the impossibility of completely eliminating the risk (Russo, Formato 2020); but the choice of which elements to protect substantially depended on the identification of a strategy, on having evaluated in a comparative manner different intervention hypotheses and on having formulated, on the basis of the prefigured development idea, a strategic planning process.

The Emilia Romagna Region - following the earthquake of May 2012 - to implement the regeneration and revitalization of the historic centers affected by the earthquake, has identified the programmatic-implementation tool of the Reconstruction Plan, configuring it to all effects as a strategic urban project to rebuild and protect the territory. It is important to highlight that the organic plans were immediately aimed at restoring living conditions, resuming economic activities and reducing building and urban vulnerability, on the basis of the provisions issued by the regions concerned. It should also be noted that the Emilia Romagna Region, even before the national law, with Regional Law no. 16/2012 "Rules for the reconstruction of the territories affected by the earthquake of 20 and 29 May 2012" had hinged in the territorial planning, to be implemented through reconstruction plans, the objective of activating urban and territorial redevelopment processes not limited to the simple restoration of pre-seismic condition, but oriented towards the development and revitalization of earthquake-hit territories, with attention to the reuse of local resources in economic and social terms. In particular, in art. 12, it was specified that the works to be done were oriented towards the "landscape, architectural and environmental redevelopment of the places," pursuant to art. 10 of the regional law 15 July 2002, n. 16 “Rules for the recovery of historic-artistic buildings and the promotion of the architectural and landscape quality of the territory”.

The objective pursued was to reduce exposure to territorial risks, towards which a new culture of "resilience" is oriented, such as the ability to anticipate and face, by preventing them, the crisis factors to which the territories are subjected: landslides, floods, earthquakes, but also pollution, warming due to climate change, inadequate waste management; and take charge, by local communities, of the process of rebirth and care of the territories, starting from the rediscovery of a sense of being rooted in places, of inclusion and social aggregation.

The search for new forms of urban resilience, therefore understood as the property of a settlement to cope with perturbations, has been consolidating in recent years, defining itself more and more as research on the possibility of a settlement to adapt to the changing conditions caused by exceptional events, of natural type (seismic, hydraulic, etc.) and anthropic (economic, social crisis, etc.).

In the literature, the issue of settlement resilience with respect to possible natural disasters is the subject of extensive discussions, identified as follows: on the one hand, on the physical-relational aspects (the infrastructural system, the plants, the "urban soil", accessibility and spatial interconnection); on the other hand, on "social" resilience, that is, the ability to preserve the identity and cohesion of a community in the event of an external disturbing event.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

This double approach - physical-relational resilience and social resilience - has resulted in an attention of the urban and urban project to emerging innovative themes, less oriented to formal and morphological research: on the one hand, the optimization of the water cycle, the research on improving the comfort of public space, its accessibility and interconnection, the creation of more "intelligent" infrastructural systems; on the other hand, the production of new models of value creation, alternative to those that existed prior to disturbing events. In the case of the Emilian seismic crater, it became clear that the opportunity to create new models had already manifested itself before the earthquake, due to an economic, financial and social crisis, which has anthropogenic origins well before the tragic earthquakes of 2012.

3.Regeneration: from the post-emergency phase to city development

The impression remains that the innovative model prefigured by the legislator - partnership and multilevel - has actually offered the opportunity to innovate the planning system, favoring convergence on the same territory and the temporal concomitance between planning policies of local development and social cohesion , and space policies: infrastructural, urban planning, building, environmental and public works.

At least this was the goal of the reconstruction plans introduced by art. 12 of the L.R. 16/2012, an unprecedented and extraordinary intervention tool, at the same time of strategic value and of conformative-urban planning value, as a coherence framework for physical reconstruction programs and for those for the economic and social revitalization of historic centers hit by the earthquake.

The obligatory use of the Reconstruction Plans as a condition for the disbursement of public contributions to private damage repair interventions has caused much discussion. Many municipalities at the dawn of the seismic event would have preferred to stick to traditional urban planning, and intended reconstruction as a simple building and public works strategy, in accordance with the old PRG still in force. A vision that is decidedly more open to innovation was instead practiced by the municipalities of the crater which followed the settings of the Technical Structure of the Delegate Commissioner, equipping themselves with appropriate reconstruction and planning tools.

In fact, it was understood that reconstruction, in order to be successful, requires a shared policy at an adequate scale to make effective the interventions for the recovery of social cohesion and the relaunch of competitiveness, particularly necessary for peripheral territories that already suffered from marginal conditions and underdevelopment even before the earthquake. An administrative reorganization solution emerged that anticipated the central government's moves in the context of the spending review.

The theme of the relationship between urban planning and reconstruction has been deepened for a long time, being a decisive and controversial node in the story of reconstruction in Emilia, with significant repercussions on possible disciplinary advances. The positions have been radicalized among those who wanted to reaffirm the conventional approach of urban planning that guides the reconstruction by subjecting it to its own regulatory and conformative logics; and those who, on the other hand, have glimpsed a healthy evolution in the way of understanding this discipline, dynamically

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

opening it to relations with other intervention strategies in the area, which are essential for relaunching development and social cohesion.

The contrast between traditional urban planning and that oriented towards innovation has actually manifested itself explicitly in the Emilian affair. They faced alignments that saw on the one hand the welding around the orthodoxy of the plan of a variety of disciplinary, professional, political and administrative positions, and on the other hand, the opening to cautious experimentation, carried out above all by the Technical Structure of the Delegate Commissioner and by the municipalities.

However, the need to innovate does not come from a lack of confidence in modern urban planning and its potential contribution even in this dramatic situation of the earthquake. Rather, they arise from a multiplicity of objective reasons at play in the reconstruction, connected to the qualifying objectives of institutional policies to which traditional urban planning is hard to respond adequately. In particular, three needs emerged strongly in the circumstance.

The first is to check in advance and strictly report the budget of public resources to be used on reconstruction for all the inhabited centers hit by the earthquake, to prevent waste or undue disbursements. The second requirement concerns the necessary concomitance between the strategies of physical reconstruction and those of relaunching local development (Clementi, Fusero 2011). The generalized principle of reconstructing how it was and where it was is clearly inadequate, when there are no credible prospects for recovery with the model of economic and social development already practiced by the settled community; and above all when you want to completely hand over the reconstruction to parasitic rents, interested in capturing public benefits. While the need to rebuild the city on the city is out of the question, the future of the earthquake-stricken areas must not be forced to a vision that emphasizes the value of the existing building heritage, and passively favors building policies in favor of private individuals.

The two reconstruction strategies appear strictly interdependent, and the Plan interprets the possible encounter between the physical and social and economic dimensions of local development. Traditional urban plans are rarely an expression of such a binding programmatic interdependence between strategic and conformative moments. This is the reason for a further demand for innovation that emerged in the Emilian crater.

It is a comparative evaluation of the elements that are considered foundational for a community and its territory; rather, a foundational description of those elements that are considered essential for the survival of the local society, contributing significantly to defining its structural set-up and future prospects.

The third necessity concerns the temporal dimension: the reconstruction cannot keep pace with the normal urban planning procedures, with their continuous delays due to the cumbersome procedures. The urgency of returning to homes and recovery, before the bonds of social cohesion and the vitality of businesses irreversibly yield, requires a serious acceleration of the planning and design phases, and conditions the process of participation in intervention choices. It is necessary to innovate traditional methods based on the knowledge-forecast-implementation sequence, in favor of a highly selective circularity of the various phases, and above all aimed at the rapid conclusion of the preventive plan

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

fulfilments with respect to the granting of public contributions for the repair of damages. At the same time, new models of construction of consensus must be sought, which maintain the principle of the primacy of the public in reconstruction, but which do not neglect the indispensable involvement of private subjects called to actively participate in the restoration and safety of homes. (Clementi, Di Venosa 2012).

The reconstruction plans object of the research tried to meet the expectations of the interested parties, compatibly with the protection of the public interests at stake. But one fact emerges as of now from the Emilian affair: a partnership approach and mutual collaboration on the part of government institutions at different levels is the condition that best allows us to cope with the uncertainty of transformations in a territory. While their conflict, on the contrary, paralyzes the ability to take initiative and wastes the material and intangible resources indispensable to get out of the state of crisis. To date, fifteen out of sixty municipalities have remained inside the Emilian crater and this is certainly a clear result that the reconstruction, declined for public works, production activities and private construction, has worked among the numerous difficulties mainly linked to a change in modus operandi disciplinary on the territory.

The focus of the prevention policy, in the Emilian reconstruction process, therefore lies in defining the idea of development, at the same time aimed at optimizing the resources used for risk prevention and, at the same time, at maximizing economic and social development. Today we can certainly say that the 2012 earthquake leaves us safer cities, more resistant buildings but also greater knowledge and awareness of our territory and its criticalities. From this experience - with projects such as these conducted with partnership agreements that have not lacked comparison - it is necessary to capitalize on knowledge and skills in order to plan the needs of the territory in a coherent manner.

References

1. M. Russo, E. Formato (2020), “Rischi ambientali e territori resilienti: il caso della ricostruzione di Ischia”, in ‘Geografie del rischio. Nuovi paradigmi per il governo del territorio’, a cura di A.Galderisi, M.Di Venosa, G.Fera e S. Menoni, Donzelli, Roma;
2. M. Carta, P. La Greca (2017), “Cambiamenti dell’urbanistica, Responsabilità e strumenti al servizio del paese”, Donzelli, Roma;
3. A. Clementi, F. Alberti, E. Zazzero (2016), “Ferrara Holistic. Prevenire il rischio sismico”, Maggioli, Rimini;
4. A. Clementi, M. Di Venosa (2012), “Pianificare la ricostruzione. Sette esperienze dall’Abruzzo”, Marsilio, Venezia;
5. A. Clementi, P.Fusero (2011), “Progettare dopo il terremoto. Esperienze per l’Abruzzo”, ListLab, Trento-Barcellona;
6. C. Donolo (2011), “Pianificare l’improbabile”, in «Crios», n.2, Napoli.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

La Strategia nazionale per le aree interne: lo stato dell'arte

Cristiana Corritoro[1,*]

[1] Programmazione generale e negoziata, Regione Umbria

* Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: ccorritorio@regione.umbria.it

Abstract: Nell'ambito della programmazione dei fondi di investimento europei 2014 2020, l'Accordo di partenariato (approvato dalla Commissione europea il 29 ottobre 2014) ha definito una Strategia nazionale per le aree interne, SNAI , per favorire il rilancio economico dei territori più distanti dai servizi essenziali quali istruzione, salute, e mobilità. Si tratta di circa 13 milioni di abitanti, che vivono in 4.200 comuni, che coprono il 60% della superficie nazionale e che rappresentano il 53% del totale dei comuni italiani, a forte rischio spopolamento in particolare per i giovani. Nel 2014, la Regione Umbria ha dato avvio all'attuazione della Strategia aree interne secondo le procedure operative definite nel documento "Linee guida per costruire una Strategia di area progetto" elaborate dal Comitato Tecnico nazionale Aree Interne, individuando, nel Quadro Strategico Regionale 2014-2020, quali aree territoriali della Strategia delle Aree Interne, l'Area Nord Est corrispondente alla fascia appenninica al confine con le Marche, l'Area Sud Ovest corrispondente ai comuni della fascia orvietana confinante con la Toscana ed il Lazio e l'Area ricomprendente il territorio della Valnerina. Lo scritto espone come la Regione Umbria ha inteso definire le principali strategie tematiche delle proprie Aree Interne. Nell'intervento si darà inoltre conto delle principali tematiche emerse nel processo di elaborazione delle strategie e delle risorse finanziarie destinate a perseguire gli obiettivi individuai. Da ultimo, un breve cenno al futuro della SNAI nella programmazione europea 2021-2027.

Keywords: Snai, aree interne umbria, programmazione europea, governance

Introduzione

La Strategia Nazionale aree Interne (SNAI), inserita nell'Accordo di Partenariato tra Italia e Commissione Europea relativamente al periodo di programmazione 2014-2020, rappresenta una

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

modalità innovativa di approccio integrato allo sviluppo territoriale per concentrare gli sforzi del finanziamento pubblico su aree significativamente svantaggiate sia per la lontananza dai centri di erogazione dei servizi essenziali che per le critiche condizioni demografiche di spopolamento e invecchiamento della popolazione.

L'obiettivo strategico di integrare le risorse ordinarie e comunitarie per poter dare una opportunità di rilancio socio-economico a questi territori, viene declinato in due classi di azioni mirate a:

- ripristinare la cittadinanza operando un adeguamento della qualità/quantità dell'offerta dei servizi essenziali (istruzione, salute e mobilità) quali fattori abilitanti a vivere, studiare e lavorare nei territori delle aree interne, prioritariamente utilizzando le risorse nazionali;
- promuovere lo sviluppo economico (creazione di opportunità di lavoro e benessere) attraverso l'implementazione di progetti di sviluppo locale da finanziare prioritariamente con il Fondo Sociale Europeo (FSE), il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale (FESR), il Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR).

La SNAI si basa su una governance multilivello, dove diversi livelli di governo collaborano e cooperano con i territori locali per promuoverne lo sviluppo attraverso un processo partecipativo, con compiti, funzioni e responsabilità chiare e definite. Il livello centrale è rappresentato da un Comitato tecnico interministeriale a cui si aggiunge il livello regionale e i sindaci dei comuni dell'area. Un aspetto peculiare che contraddistingue la costruzione della strategia a dimensione territoriale è la metodologia della co-progettazione, che dovrebbe favorire l'espressione delle volontà dei territori e permettere la costruzione di progetti di valore strutturale (strategici) con contenuti tecnici ed economici di eccellenza, più articolati e innovativi rispetto alle proposte progettuali ordinarie e che possono maggiormente contribuire al raggiungimento degli obiettivi individuati.

1. Le aree interne dell'Umbria

La Regione Umbria fin dall'inizio della programmazione 2014-2020 ha inteso aderire a questo importante progetto "bandiera" del Governo nazionale candidando tre aree – Sud Ovest Orvietano quale area prototipo, Nord Est dell'Umbria e Valnerina – e mettendo a disposizione del percorso di definizione delle strategie risorse umane e finanziarie dedicate, condividendo metodo e obiettivi, tabella 1.

Tabella 1. Le aree interne dell'Umbria

Area Sud Ovest Orvietano (area prototipo)	Area Nord-Est Umbria	Area Valnerina
20 Comuni: Città della Pieve, Monteleone di Orvieto, Montegabbione, Parrano, San Venanzo, Ficulle, Fabro, Allerona, Castel Viscardo, Castel Giorgio, Orvieto, Porano, Baschi, Montecchio, Guardea, Alviano, Lugnano in Teverina, Attigliano, Giove, Penna in Teverina	**10 Comuni:** Pietralunga, Montone, Scheggia e Pascelupo, Costacciaro, Sigillo, Nocera Umbra, Valfabbrica, Fossato di Vico, Gualdo Tadino e Gubbio;	**14 Comuni:** Arrone, Cascia, Cerreto di Spoleto, Ferentillo, Montefranco, Monteleone di Spoleto, Norcia, Poggiodomo, Polino, Preci, Sant'Anatolia di Narco, Scheggino, Sellano, Vallo di Nera.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Le prime ue aree (Sud-Ovest e Nord-Est), che sono in piena fase attuativa, hanno già portato a compimento alcuni progetti che in alcuni casi possono essere considerati esemplari e soprattutto pienamente rispondenti alle aspettative. I risultati ottenuti confermano la validità dell'approccio teso ad individuare progettualità "sperimentali" - in particolare nel campo dei servizi (progetto di telemedicina) - immaginando questi territori come dei laboratori nei quali scommettere e investire per andare oltre l'ordinario e "gettare il cuore oltre l'ostacolo", promuovendo la costruzione di percorsi nuovi e di valore. A valle di questa "sperimentazione" (ma qualora possibile anche durante il percorso di implementazione delle stesse progettualità) si dovrà valutare l'efficacia delle azioni e se la valutazione risulterà positiva[1], occorrerà valorizzare e rafforzare le azioni più meritevoli, modificare o reindirizzare (qualora possibile) le azioni che hanno manifestato criticità, abbandonare ciò che non ha raggiunto i risultati immaginati. L'attenzione ai risultati è un elemento di grande rilevanza nella SNAI.

Per quanto concerne le risorse umane, sulla base di una lunga esperienza in termini di programmazione integrata e negoziata, si è ritenuto fondamentale prevedere una *governance* interna strutturata attraverso l'individuazione di un *project manager* con funzioni di raccordo e coordinamento rispetto alle strutture interne e di interlocuzione con le Amministrazioni centrali e gli Enti locali coinvolti nella definizione e attuazione delle singole strategie e la costituzione di una Unità tecnica di Coordinamento composta da rappresentanti dei servizi regionali con funzioni di verifica e monitoraggio.

L'amministrazione regionale ha inoltre messo a disposizione dei territori risorse finanziarie dedicate provenienti dai Programmi operativi regionali della programmazione comunitaria ovvero il POR FESR, il POR FSE e il PSR FEASR a cui si aggiungono le risorse della Legge di stabilità – per i servizi di istruzione, salute e mobilità – messe a disposizione dal Governo centrale. Le risorse ad oggi inserite e programmate nell'ambito degli Accordi di Programma quadro sono riportate nella tabella seguente tabella 2.

Tabella 2. Le risorse a disposizione delle aree interne dell'Umbria (mln di Euro)

POR FESR	POR FESR	POR FEASR	Leggi di Stabilità	Totale
6,98	4,56	13,42	11,35	36,62

Per tutte e tre le aree il percorso di definizione delle strategie è caratterizzata da un forte coinvolgimento delle comunità locali nelle loro diverse accezioni: sono stati attivati processi di ascolto e confronto interni al territorio e sono state realizzate attività di scouting e incontri tematici nel corso dei quali i tre livelli di governo (nazionale, regionale locale) hanno interagito con i rappresentanti del mondo economico e sociale (aziende, associazioni di categoria, etc), con le istituzioni scolastiche e sanitarie piuttosto che con la cittadinanza (studenti, famiglie, etc).

Il processo di elaborazione delle strategie, avviato e quindi conclusosi in tempi diversi per ciascuna area, è confluito per tutte e tre le aree nella elaborazione del quadro strategico (*come immaginiamo la vita in questi territori nel medio-lungo periodo*), seguito dall'individuazione delle azioni strutturanti e prioritarie (*quali sono le possibili «vie di fuga» su cui costruire le «filiere cognitive» del territorio)* e

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

dalla costruzione e ingegnerizzazione delle singole progettualità, individuando e quantificando obiettivi e indicatori di realizzazione e di risultato. Un obiettivo su tutti: invertire o almeno arrestare il costante e rilevante decremento demografico che caratterizza i comuni delle aree interne promuovendo uno sviluppo intensivo, con l'aumento del benessere e dell'inclusione sociale di chi vive in quelle aree; uno sviluppo estensivo, con l'aumento della domanda di lavoro e dell'utilizzo del capitale territoriale.Con la metodologia della co-progettazione si è altresì proceduto alla verifica di coerenza, delle condizioni di finanziabilità e all'individuazione delle modalità attraverso le quali i diversi strumenti finanziari potessero prendere in carico la strategia. La sottoscrizione degli Accordi di Programma Quadro, strumenti di attuazione delle strategie, hanno rappresentato la chiusura del processo programmatorio e l'avvio concreto dell'attuazione.

2. Un primo bilancio dell'applicazione della SNAI

La SNAI non può essere la risposta a tutti i problemi e le criticità che caratterizzano i territori delle aree interne ma può sicuramente rappresentare uno strumento importante per dare voce alle «forze vive», i cosiddetti «visionari» siano essi istituzionali, di cittadinanza, imprenditoriali, valorizzando le esperienze innovative, liberando risorse e ponendo al centro la qualità della vita delle persone e dell'ambiente in cui le persone vivono e le aziende operano perché le due dimensioni sono strettamente connesse e reciprocamente influenzate.

Se prima della emergenza sanitaria da COVID 19, le aree interne si connotavano per una accresciuta "disuguaglianza" (rispetto ai contesti urbani) in termini economici (per es. di reddito, di accesso al mercato del lavoro), sociali (accesso e qualità dei servizi essenziali), di riconoscimento (aspirazioni, opportunità), la pandemia può rappresentare l'occasione per riaccendere i riflettori sulle potenzialità di questi territori, sulla necessità di abbattere le disuguaglianze e sulle risposte e opportunità che tali territori potrebbero dare nel "new normal" che tutti ci auguriamo arrivi presto. La dimostrazione del ruolo fondamentale che possono e devono ricoprire nello sviluppo del paese le comunità delle aree interne – anche nel "new normal" - è chiaramente espresso sia a livello nazionale che europeo, basti ricordare il Piano per il Sud, che destina un ruolo centrale al rilancio della SNAI, passando dalla fase di sperimentazione alla strutturazione di una vera e propria politica nazionale, puntando alla riduzione e al contrasto ai divari territoriali in particolare tra aree urbane e aree interne e al rilancio del protagonismo dei luoghi marginalizzati dalle politiche pubbliche.

Attuale e di grande rilevanza il Piano Nazionale di Resilienza e Rilancio (PNRR) che nella Mission "Inclusione e Coesione" – Componente "Interventi speciali per la coesione territoriale" prevede una linea di intervento dedicata alla SNAI. Da ultimo, ma di pari importanza, nelle proposte dei Regolamenti europei per la nuova programmazione 2021-2027 viene dedicato alle Strategie territoriali uno dei 5 obiettivi di policy (OP) "Una Europa più vicina ai cittadini". Per la prima volta le Strategie territoriali trovano uno spazio proprio nella Programmazione comunitaria, un obiettivo specifico "Promuovere lo sviluppo sociale, economico e ambientale integrato a livello locale, il patrimonio culturale, il turismo e la sicurezza in territori diversi dalle aree urbane" e il riconoscimento che i territori e le comunità locali

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

devono essere protagonisti dello sviluppo e contemporaneamente custodi dell'ambiente e dei valori che caratterizzano i territori stessi.

L'esperienza della Strategia delle Aree Interne è sicuramente caratterizzata da luci e ombre ma non si può non riconoscere che è un percorso sul quale occorre continuare a investire, migliorandolo e aggiustandolo "on going" per renderlo sempre più aderente alle esigenze dei territori e delle comunità e ai mutamenti socio-economici e ambientali su cui siamo chiamati a confrontarci e a misurarci già "oggi".

Note

1. Un altro elemento che caratterizza l'approccio SNAI è l'impegno richiesto in fase di definizione della strategia ai diversi soggetti a rendere permanenti le misure che hanno centrato i target e gli obiettivi.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Apprendimento in età evolutiva e tecnologie di supporto ai tempi dell'emergenza COVID nell'area dell'Alto Chiascio

Paola Tomassoli[1,*]

[1] Direttore Distretto Sanitario Alto Chiascio, USL Umbria 1- Responsabile del Servizio Integrato per l'Età Evolutiva del Distretto Alto Chiascio, USL Umbria 1

* Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: paola.tomassoli@uslumbria1.it

Abstract: Il Servizio integrato per l'età evolutiva dell'Alto Chiascio – SIEE, si occupa di prevenzione, diagnosi e terapia di disturbi neurologici, neuropsicologici, psicopatologia e disagio psicologico, patologie neurosensoriali e neuromotorie dei minori e delle loro famiglie, in una fascia di età compresa tra 0-18 anni. L'articolo mette in evidenza come l'emergenza Covid abbia posto il serio problema della continuità dei progetti riabilitativi in presenza utente-famiglia-operatore. Lo scritto evidenzia inoltre come attraverso le piattaforme di videoconferenza tale rapporto sia stato conservato con la possibilità di proporre e supervisionare le attività educative/riabilitative (percorsi di teleriabilitazione fisitoterapica e logopedica rivolti a bambini e ragazzi) in completa sicurezza. Nello scritto verrà inoltre evidenziato come le tecnologie telematiche abbiano consentito di salvaguardare oltre che quelli con i ragazzi ed i bambini anche i rapporti con le famiglie, consentendo un'intercettazione precoce dei disturbi di apprendimento. Nelle conclusioni si punterà l'attenzione al fatto che il lavoro a distanza ha garantito anche il rapporto con gli insegnanti dislocati nel territorio (Gubbio, Gualdo Tadino e comuni della fascia appenninica) per l'aggiornamento della situazione in corso e per il rinnovo della documentazione (Certificato DSA, piano didattico personalizzato, diagnosi funzionale, profilo dinamico funzionale, piano educativo personalizzato). In questi casi, le tecnologie hanno consentito di superare sia la parte burocratica amministrativa (autorizzazioni per gli spostamenti di scolaresche, richiesta mezzi di trasporto, ecc.), sia di ottimizzare gli incontri in termini di qualità del discorso (dialoghi essenziali). Sotto questi profili, viene suggerito di mantenere anche per la fase post-pandemica tale modalità operativa che presenta ampie possibilità per l'efficientamento del SIEE e della rete territoriale.

Keywords: Apprendimento, SIEE, età evolutiva, modello pro-attivo, integrazione, salute

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_038_pp_388

Introduzione

Il distretto sanitario dell'Alto Chiascio comprende i Comuni della zona territoriale 7, quali Gubbio, Gualdo Tadino, Scheggia e Pascelupo, Costacciaro, Sigillo, Fossato di Vico per una popolazione totale di circa 56.000 abitanti, e rientra nel territorio di competenza dell'azienda unità sanitaria locale Umbria 1-USL1. Il distretto dell'Alto Chiascio dispone del presidio Ospedaliero di Gubbio-Gualdo Tadino situato a Branca che ha collocata al suo interno una struttura del Distretto: la R.S.A. di Gubbio-Gualdo Tadino. Nel territorio del Distretto Alto Chiascio, inoltre, è presente la Casa Famiglia Santa Lucia che accoglie madri e bambini in situazioni di grave multiproblematicità allontanati dal loro luogo di residenza (territorio della USL1 appartenenti ad altri distretti, territori extra USL1).

I principali punti di forza di questo Distretto sono la forte integrazione fra Servizi "intra ed extra sanitari", la coprogettazione con i Comuni della zona territoriale 7 ed il coinvolgimento della Cittadinanza Attiva e delle Associazioni di utenti e familiari nei progetti di prevenzione e promozione della salute e l'integrazione con la salute mentale.

Gli aspetti che richiedono più attenzione riguardano la collocazione dei servizi territoriali in più punti del territorio, la necessità di strategie per l'integrazione sociale di fasce di popolazione "fragili", con l'obiettivo di contrastare la marginalità e i fenomeni di devianza, e la implementazione di "politiche giovanili" volte ad evitare l'eccessiva e, talora pericolosa, medicalizzazione del disagio.

1. La struttura semplice Servizio integrato età evolutiva Alto Chiascio (SIEE A.C.)

La SIEE A.C. è una delle 7 strutture semplici territoriali della USL Umbria 1 che si occupano delle problematiche neuropsichiatriche della popolazione in età evolutiva. Il suo territorio di competenza comprende i predetti comuni della zona territoriale 7.

La *mission* della struttura è garantire la prevenzione, cura e riabilitazione delle patologie neurologiche, disgenetico-malformative, dei disturbi neuropsicologici, dei *deficit* neurosensoriali, della psicopatologia e della vasta gamma delle problematiche psicologico - relazionali legate a varie forme di disagio della popolazione in età evolutiva e delle loro famiglie.

L'utenza è prevalentemente la popolazione residente, sia di origine italiana che straniera[1]. Il Servizio "impatta" oltre il 16% della popolazione in età evolutiva residente nel territorio di pertinenza (dato conforme con quanto atteso dall'OMS).

L'elevato numero di utenti è spiegato dalla notevole radicazione del Servizio nel territorio e questo ha consentito una scarsa dispersione della domanda, anche relativa a problematiche considerate "minori", verso altre strutture. L'analisi delle fasce di età rappresentate nelle prime visite mostra, negli ultimi 5 anni, una crescita significativa e costante del numero di primi accessi al Servizio in un range di età compreso fra 0 e 6 anni. La tipologia dell'utenza che accede al Servizio è rappresentata nella seguente tabella.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 1. Tipologia utenza SIEE (%)

Tipologia utenza	Percentuali
Disturbi neuropsicologici (dislessia, disortografia e disgrafia, discalculia)	25%
Disturbi del linguaggio (DSL)	19%
Disabilità intellettiva	12%
Disturbi psicopatologici	13%
Disturbi delle funzioni attentive	10%
Disturbi dello spettro autistico	5%
Minori e Giustizia : minori devianti, abuso e maltrattamento, casi di minori coinvolti in iter di separazioni conflittuali	5%
Disturbi neuromotori e le Sindromi Genetiche	3%
Deficit neurosensoriali	1%
Altro : situazioni problematiche che il Servizio si trova ad affrontare ma che non rientrano all'interno di codici diagnostici specifici, ma forme di malessere e di disagio aspecifiche.	7%

La percentuale di utenti a cui non viene attribuita una diagnosi costituisce la popolazione a cui rivolgere interventi volti alla prevenzione del rischio psicopatologico, della marginalità sociale, del possibile ricorso alle sostanze, ecc.

Si tratta in prevalenza di figli di famiglie multiproblematiche, di situazioni esistenziali particolarmente critiche, di figli di "genitori fragili", come ad esempio genitori con problematiche di abuso di sostanze, genitori con patologie psichiatriche, genitori con patologie croniche e invalidanti ecc.

In considerazione della complessità del quadri diagnostici e dei contesti socioculturali entro i quali il Servizio si trova ad operare, si è reso necessario prevedere una continua riorganizzazione della risposta in termini di pertinenza, efficacia, tempistica, in ottemperanza a quanto previsto dalle linee di indirizzo vigenti, quali linee guida nazionali e regionali in merito alle diverse patologie, piano di azioni nazionali per la salute mentale, piano nazionale per la cronicità, nuovi livelli essenziali di assistenza-LEA.

Dal punto di vista organizzativo e operativo quindi sono state individuate le aree di maggiore criticità e previste azioni correttive e di sviluppo, sia in un'ottica specificatamente di servizio, che in un'ottica più ampia di sistema e di rete.

Sotto questo profilo, il lavoro di rete è il presupposto di base che sottende tutta la progettazione e l'operatività del SIEE, volto a ridefinire la domanda in termini di autonomia e benessere collettivo e non più solo individuale, tabella 2.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 2. Obiettivi e strumenti del lavoro di rete svolto dal SIEE

Obiettivi	Strumenti
1. Creare la consapevolezza nell'utente, famiglia e bambino, dei percorsi di cura e favorire la partecipazione attiva alla loro costruzione. 2. Creare la consapevolezza nei membri della comunità delle potenzialità che vi sono al suo interno 3. Rinforzare le reti professionali 4. Rinforzare e rendere fruibili da parte del cittadino-utente e dei professionisti le reti di autoaiuto naturali 5. Favorire il collegamento dei cittadini con i gruppi di operatori 6. Favorire il collegamento fra gruppi e istituzioni	1.Supporto individuale alla persona con difficoltà 2. Lavoro con i contesti di vita dell'utente 3. Lavoro con il territorio per una mappatura delle risorse 4. Definizione e condivisione dei problemi e ricerca di un intervento partecipato 5. Promozione dei gruppi per lo sviluppo e la cultura della comunità 6. Formazione, trasversale e longitudinale, del personale

La letteratura scientifica internazionale fissa la prevalenza dei disturbi neuropsichici in età evolutiva, cioè la percentuale di casi all'interno della popolazione di età inferiore ai 18 anni al 18-22% [2, 3, 4]. In questo dominio è necessario che i "saperi tecnici", patrimonio dei professionisti che operano all'interno dei servizi, si coniughino con i bisogni della popolazione, cominciando a forzare e a erodere i margini ristretti dei servizi mono specialistici. L'integrazione, fin qui percepita e agita come sviluppo di forme paritetiche di collaborazione tra servizi, è necessario che si apra alla ricerca di sinergie tra le competenze disponibili, promuovendo il rapporto di reciproca consultazione tra professionisti appartenenti a organizzazioni diverse. Le unità operative devono rinunciare alla logica del "tutto in casa" per intravedere i vantaggi, da una parte, di una organizzazione interna fondata su matrici professionali e percorsi di cura e dall'altra dell'opportunità di trasferire verso la comunità le funzioni e le competenze di inserimento sociale.

2. Un modello proattivo integrato per la prevenzione e la promozione della salute mentale dei minori: verso il paradigma bio-psico-sociale

L'integrazione operativa fra i soggetti istituzionali e non istituzionali (volontariato, associazioni, cittadinanza attiva, etc.) della collettività, la costruzione di sinergie fra i servizi e le loro reti in un'ottica di prevenzione e promozione della salute, sono elementi fondamentali per il conseguimento degli obiettivi di salute. Il modello operativo è quello proattivo teso al riconoscimento tempestivo delle modificazioni della domanda di salute per poter essere in grado di adattare l'organizzazione al variare dei bisogni, delle patologie, delle risorse disponibili, pianificando le azioni necessarie per un intervento pertinente ed efficace. I servizi territoriali di neuropsichiatria infantile risentono in modo significativo del contesto all'interno del quale svolgono la propria attività: la modificazione dei valori culturali dominanti che definiscono la "normalità", la crisi economica con conseguenti drammatiche

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

diseguaglianze sociali, l'emergenza di nuove fasce di povertà con "isolamento" di interi nuclei familiari e perdita in qualità di vita, i mutamenti nella funzione e nella struttura della famiglia, la società sempre più multietnica e multiculturale, la diffusione/legittimazione dell'abuso di alcool e sostanze, legata al notevole abbassamento dell'età in cui avviene il primo contatto con la sostanza.

A questo si contrappone la cultura della *recovery* e cioè di processo di guarigione dalla grave patologia mentale fondato non tanto sul controllo dei sintomi, quanto sulla possibilità di superare il trauma della malattia e le conseguenze dei trattamenti (spesso mal-trattamenti), e la perdita delle capacità e delle opportunità di accesso ad attività che hanno un significativo valore personale. Il processo per il miglioramento della salute mentale in un'ottica di *recovery* si basa su contesti socio-professionali nei quali utenti e operatori hanno la possibilità di vivere relazioni dense di significato in modo da poter costruire una rete di sostegno sociale capace di sviluppare *empowerment* personale e di conseguenza una evoluzione culturale e civile che per l'utente può determinare un miglioramento della qualità della vita. Si tratta di un processo che poggia sul diritto dell'utente a partecipare al proprio programma di cura e che si rivela fondamentale in quei casi in cui è necessario recuperare la stima di se.

La cultura della *recovery* costituisce una evoluzione dei tradizionali programmi di ricerca medica *evidence-based.* Infatti questa tipologia di programmi, dove gli interventi medici sono sempre razionali e misurabili, di fatto escludono il confronto delle affermazioni e gli interessi dei pazienti affetti da gravi disturbi mentali, per la difficoltà di misurarli e razionalizzarli. La *recovery* ha consentito di creare un nuovo spazio sperimentale e condiviso per la comprensione dei problemi di utenti con grave patologia mentale. In questo modo si sono poste le basi per nuovi quadri teorici che considerano anche le variabili sociali e culturali, oltre che quelle neurologiche e biologistiche, e che rientrano nel paradigma bio-psico-sociale e l'orientamento comunitario promosso dalla *World Health Organisation* [1].

3. L'aggiornamento delle strategie di programmazione dei servizi territoriali ed ospedalieri per affrontare i nuovi scenari epidemiologici, demografici e sociali

Già prima dell'emergenza legata alla pandemia da COVID 19, il SIEE Alto Chiascio aveva attivato progetti volti a sostenere il percorso degli apprendimenti degli utenti attraverso libri digitali rivolti ai bambini e alle famiglie ad integrazione e completamento del progetto terapeutico, e strumenti compensativi su piattaforme informatiche per l'addestramento degli utenti con disturbi specifici dell'apprendimento.

L'emergenza legata alla pandemia ha posto in essere il problema di come garantire la continuità dei percorsi terapeutico-riabilitativi contestualmente al rispetto delle normative legate al contingentamento delle presenze all'interno dei servizi sanitari e fra le famiglie ha inevitabilmente determinato il timore, di essere lasciate sole e senza guida in un momento così delicato. Per queste ragioni il Servizio ha predisposto percorsi di continuità assistenziale ed in alcuni casi ha anche implementato gli incontri con la rete dei servizi e delle agenzie territoriali coinvolti nei progetti terapeutici attraverso l'utilizzo di piattaforme telematiche che ad esempio hanno consentito di effettuare sedute di terapia riabilitativa, sia logopedica che fisioterapica, con una rimodulazione della

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

tempistica per la difficoltà dei piccoli utenti di rimanere per tempi troppo prolungati davanti allo schermo. Il Servizio ha anche realizzato *tutorial*, anche attraverso la trasmissione alle famiglie di materiale fotografico, per allestire *setting* terapeutici a domicilio al fine di continuare gli approccio di fisiokinesiterapia, avviati in presenza. Gli operatori del Servizio inoltre hanno partecipato alla formazione e all'utilizzo del piattaforma NU!Reha, programma di teleriabilitazione in collaborazione con il Centro ausili aziendale.

Va ricordato che durante tutto il periodo del lockdown, gli operatori del SIEE hanno garantito lezioni *on line* di tirocinio per il Corso di Laurea in Logopedia dell'Università degli Studi di Perugia; è stata garantita la continuità dei corsi *post-partum* a distanza, in collaborazione con il Servizio consultoriale del Distretto, attraverso la preparazione e condivisione del materiale relativo ai diversi incontri previsti e sono stati effettuati incontri per la supervisione delle attività educative/riabilitative erogate da educatori domiciliari.

Il lavoro a distanza ha permesso di raggiungere le famiglie dislocate su tutto il territorio e nelle situazioni di problematicità sociale si è cercato di garantire l'accessibilità e gli strumenti necessari attraverso la collaborazione con i servizi sociali e le scuole del territorio. La riorganizzazione dell'attività del Servizio in relazione alla Pandemia COVID 19 ed i risultati ottenuti, hanno permesso di constatare come per alcuni aspetti, quali ad esempio gli incontri di coordinamento con le scuole o il rapporto con famiglie particolarmente difficili, l'intervento a distanza non sia stato solo un vincolo necessario, ma ha invece rappresentato una opportunità in termini di qualità dell'intervento che andrebbe mantenuta anche nella fase post-pandemica, peraltro in linea con quanto riportato dalle linee di indirizzo nazionali per la Telemedicina, redatte nel 2014 dal Ministero della Salute e riproposte in occasione della Pandemia da COVID 19.

Note

1. Una parte dell'utenza è residente nel territorio della USL 2, soprattutto nel comune di Nocera Umbra, che “storicamente” accede alla sede del Servizio di Gualdo Tadino per posizione geografica.

Riferimenti

1. World Health Organisation. *User empowerment in mental health. Empowerment is not a destination, but a journey*. **2010**. Geneva.
2. Fonagy P., Target M. “Attachment and reflective function: Their role in self-organization” in *Development and Psychopathology*, 9(4), **1997**, 679–700.
3. Missiuna C., “ Children with Developmental Coordination Disorder: Strategies for success” in *Physical & occupational therapy in pediatrics*. 20, **2001**, 1-4.
4. Merikangas K.R., He J.P., Burstein M., Swanson S.A., Avenevoli S., Cui L., Benjet C., Georgiades K., Swendsen J. “Lifetime prevalence of mental disorders in U.S. adolescents: results from the National Comorbidity Survey Replication--Adolescent Supplement (NCS-A)” in *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 49(10), **2010**, 980-9.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

La dimensione territoriale del potere. Riflessioni sui principi costituzionali utili alla *governance* ottimale delle "aree interne"

Carlo Calvieri[1,*]

[1] Dipartimento di Giurisprudenza, Università di Perugia, Via Pascoli 31, 06123, Perugia

* Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: carlo.calvieri@unipg.it

Abstract: L'art. 118 della Costituzione valorizza l'autonomia degli enti locali, che il Titolo V oggetto di profonda quanto approssimativa revisione nel 2001, pone su uno stesso livello di parità rispetto a quella dello Stato e delle Regioni. Con tale disposizione si costituzionalizza il principio di sussidiarietà verticale che tende ad allocare l'insieme delle funzioni amministrative al livello di governo più vicino agli amministrati, ma molto spesso a ciò inadeguato rendendo indispensabile la chiamata in sussidiarietà di livelli superiori in forza del principio di adeguatezza. Tuttavia l'autonomia dei centri minori, delle aree interne se vogliono raggiungere adeguati obiettivi di miglioramento dei loro standard di benessere ambientale economico e sociale non possono costruire adeguate strategie di crescita basandole su politiche di difesa della propria autonomia. Alle politiche fondate sul dualismo e la differenziazione campanilistica devono sopperire modelli collaborativi sia di stampo negoziale che istituzionale in grado di coinvolgere tutti i livelli da quello locale, regionale, statale ed anche sovranazionale, creando indispensabili sinergie di rete connotate dalla leale cooperazione interistituzionale.

Keywords: aree interne, autonomia enti locali, *governance*, sussidiarietà circolare

Introduzione

Dare attuazione alle complesse ed ambiziose politiche inserite nella Strategia nazionale Aree Interne (SNAI) comporta il coinvolgimento di una pluralità di soggetti istituzionali chiamati a coordinarsi al fine del raggiungimento di molteplici e proteiformi obiettivi che impongono l'uso di significative risorse economiche. La stessa strategia nazionale delle Aree interne si inserisce a monte nell'Accordo di partenariato tra l'Italia e la Commissione UE, mentre a valle, attraverso l'Accordo di programma

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

quadro, si è dato vita allo strumento attuativo di cooperazione interistituzionale attraverso cui Regioni, Enti Locali e Amministrazioni centrali si impegnano a adottare atti che abbiano i seguenti contenuti:

– attività e interventi da realizzare;
– tempi e modalità di attuazione;
– soggetti responsabili e relativi impegni;
– risorse e copertura finanziaria;
– meccanismi di riprogrammazione delle economie;
– modalità di trasferimento delle risorse;
-sistema di gestione e controllo e monitoraggio.

Il quadro che ne esce è estremamente complesso sia per i plurimi livelli di governo coinvolti sia per l'intreccio di competenze che per la pluralità delle azioni da realizzare e dei relativi controlli da porre in essere da parte dei rispettivi livelli di governo. In questo contesto il mio compito in questa sede si limita a tentare di capire quale possa essere il corretto strumento giuridico utilizzabile per un concreto sviluppo della *governance* delle aree interne e che a mio avviso nelle disposizioni costituzionali vede nel principio di sussidiarietà uno dei concetti chiave.

1. La vocazione dinamica del principio di sussidiarietà come ausilio agli obiettivi di sviluppo delle "Aree interne": la sussidiarietà verticale

Le dimensioni e le risorse a disposizione dei Comuni di piccola grandezza, in termini territoriali e di popolazione (che costituiscono più del 65% dei Comuni Italiani) non consentono certo l'assolvimento di tali ambiziosi compiti in maniera efficace e tantomeno efficiente. La sussidiarietà intesa quindi in senso solo "verticale" non potrebbe raggiungere gli obiettivi sperati da una politica di adeguato sviluppo delle aree interne. Questa, per sua caratteristica, impone molteplici azioni: di riequilibrio economico e sociale a carattere non straordinario ma tendenzialmente permanenti; di riorganizzazione dei servizi in forma necessariamente associata; di concentrazione di risorse nelle aree dove si combinano elevati bisogni con opportunità e capacità; di coprogettazione combinata fra livelli territoriali nazionali regionali e locali e soggetti privati; di oggettivazione dei risultati raggiunti attraverso specifici indicatori.

Soccorrono quindi gli altri principi costituzionali complementari di *differenziazione* e a*deguatezza* che ci consentono di prefigurare, nel suo svolgersi, il principio di sussidiarietà inteso in senso "verticale", come se fosse un ascensore, secondo l'illuminante metafora di Antonio D'Atena [1]. In pratica, per svolgere in forma più efficace ed efficiente le funzioni amministrative, destinate al benessere della comunità servita, saranno attratte in sussidiarietà ad un livello superiore tutte quelle funzioni necessarie alla corretta allocazione delle risorse destinate allo sviluppo delle aree interne. E questo potrebbe essere quello dei Comuni riuniti in forma consortile, quello di un'unione di Comuni, quello Provinciale o Regionale e/o Statale.

Per le sue caratteristiche e per la sua stessa radice etimologica[1], la sussidiarietà va declinata come il principio giuridico in forza del quale l'intervento degli Enti pubblici territoriali, e quindi dello Stato,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

delle Regioni, delle Provincie, delle città metropolitane e dei Comuni, viene attuato in termini di sussidio e quindi in termini di aiuto complementare ed integrativo, sia nei confronti della comunità, cioè dei soggetti ivi residenti ma anche degli Enti ed apparati amministrativi a questa serviti, declinazione questa che ci consente di comprendere appieno il suo rilievo e la sua importanza. Pertanto, nel caso in cui la comunità servita e l'Ente chiamato a soddisfare i relativi bisogni sia impossibilitata ad agire per conto proprio, perché non possiede risorse adeguate all'assolvimento delle relative funzioni, deve supplire la sussidiarietà in termini di dovuto ausilio.

In ordine alla portata della sussidiarietà sancita dall'art. 118 Cost. nel testo novellato dopo la revisione del Titolo V ad opera della legge cost. n. 3 del 2001, questa parte, in ogni caso, da una accezione di tipo "verticale" e cioè di generale allocazione delle attività amministrative che devono essere svolte, in via preferenziale, dall'ente territoriale più prossimo agli amministrati e pertanto dal polo territoriale comunale che è la struttura amministrativa più vicina e quindi più idonea a cogliere i bisogni della propria comunità. Ora, come già osservato sopra, gli obiettivi di sviluppo delle "Aree interne" partono dal livello sovranazionale in forza dell'Accordo di partenariato con la Commissione UE, si sviluppano sulla base della apposita Strategia nazionale, ma trovano la loro fonte principale nelle politiche regionali di coesione che, a loro volta, hanno posto l'accento, come strumento di sviluppo dell'intero Paese, sul tema delle c.d. Aree Interne. Si tratta di aree caratterizzate dalla presenza di Comuni che pur ricchi di storia, tradizioni, valori paesaggistico ambientali, e culturali, si trovano marginalizzati rispetto alle aree più antropizzate e progredite del territorio.

Come ben noto, tra le ragioni più significative di tali ritardi vi è anche la difficoltà di piena fruizione di servizi pubblici essenziali, quali la scuola, la sanità e la mobilità a cui io aggiungerei anche la giustizia, se solo si ponga mente allo stato di assoluta inefficienza delle sedi di giustizia di prossimità di rilievo regionale come quelle di Pace, poste in sedi diverse rispetto ai Comuni maggiori. Da qui partono le iniziative di riforma, concretizzate nella strategia nazionale per lo sviluppo delle Aree interne, (SNAI) che si muovono nella direzione di perseguire un duplice obiettivo:

1. quello di migliorare gli standard di quantità e qualità dei servizi universali in favore della comunità;
2. quello di promuovere progetti di sviluppo in grado di valorizzare il patrimonio storico, culturale e ambientale puntando sulle filiere produttive proprie di tali territori.

Rispetto a questi due obiettivi, l' "ausilio" consiste nell'assegnazione di risorse economiche nazionali (non sempre adeguate e sufficienti), in favore del miglioramento degli standard di servizio, nel campo dell'istruzione, sanità, mobilità e aggiungerei nel campo della giustizia locale, mentre in relazione al secondo obiettivo, di promozione dello sviluppo, le Regioni possono fruire di molteplici fondi Comunitari: Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), il Fondo Sociale Europeo (FSE), il Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR) e il Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca (FEAMP), qualora si prendano in considerazione aree costiere. È evidente quindi, che le fonti di approvvigionamento di tali risorse partono da livelli sia statali che sovranazionali per allocarsi agli ambiti territoriali in grado di accoglierle e sfruttarle in forma adeguata in favore della collettività e dei territori serviti.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tuttavia, per dar vita a tali politiche è necessario il coinvolgimento di molteplici apparati burocratici che non rendono agevole la concreta gestione, infatti, i livelli decisionali sono molteplici e non sempre coincidono con quelli di attuazione.

Da qui l'importanza della vocazione dinamica della sussidiarietà, che consente di operare con modelli flessibili muovendosi nella direzione discendente o ascendente in vista del miglior soddisfacimento degli interessi di una specifica collettività. Come detto, infatti, al fine di favorire tale sua intrinseca *flessibilità* alla sussidiarietà la Costituzione affianca i principi di *adeguatezza* e *differenziazione.* Si devono infatti affidare le risorse in favore di quegli enti che dimostrino una capacità di governo e una dimensione adeguata a soddisfare le istanze delle rispettive comunità (*adeguatezza*), ma tenendo conto delle peculiarità di fatto, storiche, ambientali, culturali proprie di ogni realtà, rispetto ad altre (*differenziazione*).

2. La vocazione dinamica del principio di sussidiarietà come ausilio agli obiettivi di sviluppo delle "Aree interne" : la sussidiarietà orizzontale

La complessa *governance* delle Aree interne funziona attraverso il necessario coinvolgimento di una pluralità di centri decisionali appartenenti a diversi ambiti di Governo, quello sovranazionale proprio delle Istituzioni dell'UE, nazionale dello Stato (che a sua volta vede coinvolto, sul piano della programmazione legislativa, la competenza del Parlamento, su quello della spesa il Governo ed in particolare del CIPE), delle Regioni, e degli Enti territoriali locali, compresi nel perimetro territoriale delle Aree interne.

Emerge la necessità di immaginare questa pluralità di rapporti, non secondo una logica autonomistica fondata sulla netta separazione, connotata dalla difesa del proprio interesse particolare, ma attraverso modelli ispirati al principio di leale collaborazione, che a loro volta si possono tradurre in modelli negoziali: si pensi alla necessità di addivenire ad accordi, protocolli, intese fra Enti pubblici, ma anche di tipo interistituzionale, volti alla creazione di vere e proprie strutture comuni dotate di una specifica struttura organizzativa organica. Tanto è che, come già accennato al precedente paragrafo, il modello prescelto dalla legge statale (Legge finanziaria per il 2014 L. n. 147 del 2013) per le Aree interne è quello negoziale, dell'"Accordo di Programma Quadro" come previsto e disciplinato dall'art. 2 co. 203 lett. c) della Legge 662 del 1996. Attraverso poi l'attività del Comitato Tecnico Aree interne, composto dalle Amministrazioni centrali coinvolte, dalle Regioni e Provincie autonome interessate, si è svolta la selezione degli ambiti territoriali su cui intervenire. Il CIPE ad oggi, con riferimento al periodo 2014 – 2020, ha stanziato ca. 300 milioni in favore di 72 Aree interne selezionate. Risorse il cui ammontare non è certamente risolutivo rispetto agli ambiziosi obiettivi, ma che rischia anche di essere solo parzialmente sfruttato in ragione della complessità delle procedure e dell'intreccio di competenze, statali, regionali e locali coinvolte, che aggravano i già complicati rapporti, invischiati in un articolato percorso burocratico di cui non è agevole individuare le catene decisionali in fase attuativa e di verifica dei risultati. Per evitare comunque che quegli interventi già finanziati rimangano per troppo tempo allo stato di "documentazione solo propedeutica" inattuati o non avviati, e soprattutto in previsione delle ulteriori risorse stanziate per la nuova fase temporale 2020 – 2023, occorre puntare ad uno snellimento

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

burocratico in grado di superare i ritardi cronici sia nell'inserimento dei progetti che nelle fasi di avvio degli stessi.

A questo punto soccorre, a mio avviso, la necessità di prendere in considerazione anche una seconda accezione della sussidiarietà, quella *orizzontale*. Un tale principio oggi è espressamente sancito dall'art. 118 co. 4 Cost.[2] secondo cui: "*Stato, Regioni, Città metropolitane, Province e Comuni favoriscono l'autonoma iniziativa dei cittadini, singoli e associati, per lo svolgimento di attività di interesse generale sulla base del principio di sussidiarietà*". Assume conseguentemente un deciso rilievo la necessità del coinvolgimento dell'iniziativa economica privata, verso cui deve essere indirizzato e/o richiesto il sussidio, anche al fine di colmare il ritardo di tali territori nella fruizione dei segmenti di servizio universale essenziali sia sul piano della mobilità, ma anche, seppure con maggiore cautela, anche nei settori dell'istruzione, della salute. Ove si mostrassero inadeguate le offerte del settore privato allargato, dovrà comunque procedersi all'attrazione in sussidiarietà verso i soggetti pubblici tenuti a soddisfare i bisogni della propria comunità e che pertanto potranno essere a loro volta sussidiati in termini economici.

Su questa base, la sussidiarietà orizzontale, costituzionalizzata dall'art. 118, 4° comma, ci consente di cogliere una pubblica amministrazione che non può vantare l'esclusiva in tema di perseguimento di interessi generali, che deve offrire fiducia verso il privato, le cui competenze devono essere messe al servizio della comunità (v. art. 24 L. 164/2014, ma anche L. 133/2014). La sussidiarietà orizzontale pur nella sua complessa fisionomia, dimostra una capacità espansiva e di coinvolgimento sia sul versante del soddisfacimento dei bisogni che sul campo della valorizzazione dei territori, affiancando ai tradizionali poteri pubblici la presenza del privato. Ciò, non deve essere letto in chiave di un indebolimento della struttura pubblica del potere, ma come ulteriore sussidio in favore delle comunità servite favorendo la crescita delle stesse comunità favorendone lo sviluppo.

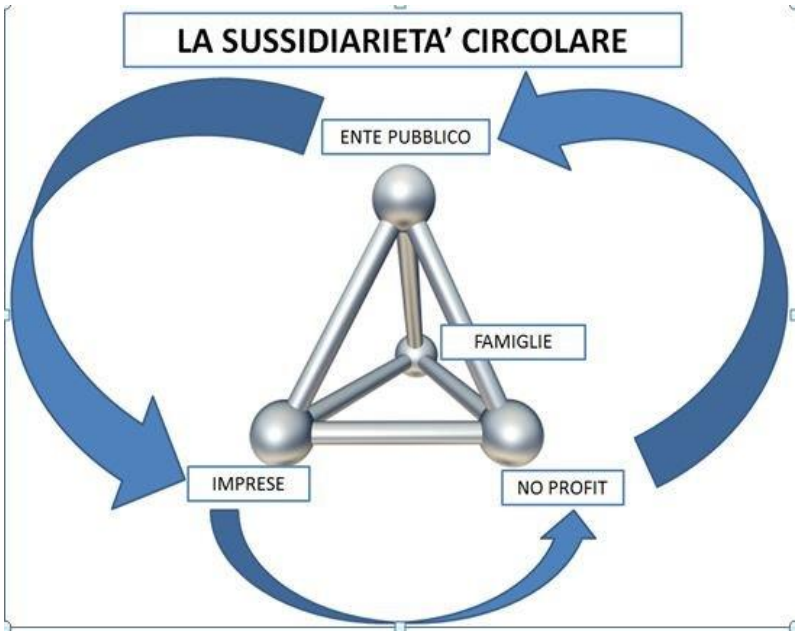
3. Oltre la vocazione dinamica del principio di sussidiarietà: la sussidiarietà circolare

Tuttavia, intesa in questi termini, la sussidiarietà orizzontale applicata alle Aree interne potrebbe non risolvere alcun problema, atteso che il privato difficilmente potrebbe essere attratto in termini di investimento in un bacino di servizi per sua natura di scarso richiamo. Quindi da una parte, potrebbe non bastare il favore nei confronti dell'iniziativa privata per stimolare l'offerta di servizi in questo ambito territoriale e dall'altra, in periodi di evidente scarsità di risorse dell'Ente pubblico questo potrebbe non avere risorse tempestive e sufficienti per soddisfare le esigenze crescenti dell'universalismo nei servizi.

Ecco allora che per la *governance* delle aree interne, accanto ai modelli di cooperazione sia negoziale che interistituzionale ed alla sussidiarietà verticale ed orizzontale, si aggiunge la necessità di pensare ad un modello di sussidiarietà circolare [2], che appare necessario per mettere in relazione con i poteri pubblici, ai fini del perseguimento dell'interesse del bene comune (*id est* la stessa Area interna presa in considerazione) anche le diverse facce del settore privato, quello del mondo degli affari e della finanza (la business Community) e quello della società civile organizzata (il c.d. terzo settore).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 1: *La sussidierietà circolare*



Fonte: [3]

Questi tre vertici (l'ente pubblico inteso come Stato, Regioni, enti locali, enti parastatali, ecc., le imprese ovvero la business community, e la società civile organizzata, cioè l'associazionismo) devono interagire sin dal momento della progettazione in sede di programmazione degli interventi e non solo in fase attuativa. Bisogna rendersi conto che è questa una sfida estremamente ambiziosa ma quella sicuramente meglio in grado di coinvolgere tutte le forze attive di un territorio che sfrutta le sinergie con il privato non in senso meramente filantropico ma attraverso un contributo in termini di reciprocità. Principio questo da intendersi in senso Aristotelico come quell'insieme di relazioni, civili e commerciali che hanno in comune la proporzionalità e la condizionalità e che fuse insieme tendono a tenere unita una comunità, favorendo la lealtà, la fiducia reciproca, il senso di equità e tutti quegli ulteriori elementi immateriali di enorme valore in ogni rapporto di appartenenza [4].

Attraverso questo percorso, che comporta anche un profondo mutamento di mentalità che si può dar vita concreta ad una nuova progettualità delle Aree interne, in grado di migliorare il livello di fruizione dei servizi universali ma anche di mettere a giusto profitto la cura delle cose d'arte, il mantenimento dei paesaggi caratteristici di determinati luoghi, il potenziamento sul piano produttivo e commerciale dei prodotti tipici dei "luoghi del cuore", passa la valorizzazione complessiva delle Aree interne[4] .

Occorre superare dunque la tradizionale visione del Welfare che, a causa della scarsità di risorse pubbliche, rischia di non coprire sul piano quantitativo e tantomeno qualitativo la domanda esponenziale di servizi, in ogni caso relegati sul piano delle prestazioni affidate al potere pubblico statale entro i limiti dei livelli solo essenziali. Le risorse complementari possono essere reperite secondo il principio di reciprocità dalla business community, mentre il terzo settore può fare da innesco alle soluzioni progettuali innovative ed utili allo sviluppo dell'area.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Come è facilmente intuibile se la sussidiarietà intesa in senso "orizzontale" rende alternativi fra loro pubblico e privato, quella "circolare" mantiene insieme e sfrutta ogni possibile sinergia fra tutti i poli, valorizzandone ruoli e funzioni, portando anche un contributo di necessaria semplificazione delle strutture burocratiche coinvolte, che vedrebbero alleggeriti i segmenti pubblicistici delle relative azioni.

Note

1. Sussidiarietà deriva dal latino *sub sidere,* fermarsi a sedere, nel linguaggio militare utilizzato per le truppe di riserva, i Triari ed i lanceri veterani, chiamati ad intervenire solo in caso di necessità nei momenti critici.
2. Come noto l'origine del principio lo troviamo ben esplicitato nella stessa dottrina sociale della Chiesa nell'Enciclica *quadrigesimo* anno, che offre la seguente definizione: *Siccome è illecito togliere agli individui, ciò che essi possono compiere con le forze e l'industria loro per affidarlo alla comunità, così è ingiusto rimettere ad una più alta società quello che dalle inferiori o minori si può fare. Ciò perché l'oggetto naturale di qualsiasi intervento della società stessa è quello di aiutare in maniera suppletiva le membra del corpo sociale, non già distruggerle per assorbirle*.
3. Come noto l'origine del principio lo troviamo ben esplicitato nella stessa dottrina sociale della Chiesa nell'Enciclica *quadrigesimo* anno, che offre la seguente definizione: *Siccome è illecito togliere agli individui, ciò che essi possono compiere con le forze e l'industria loro per affidarlo alla comunità, così è ingiusto rimettere ad una più alta società quello che dalle inferiori o minori si può fare. Ciò perché l'oggetto naturale di qualsiasi intervento della società stessa è quello di aiutare in maniera suppletiva le membra del corpo sociale, non già distruggerle per assorbirle*.
4. *Bellezza, (…) dovrebbe essere, in una immaginaria carta di identità dell'Italia, il primo fra i suoi segni particolari, questa essendo, principalmente, la ragione per cui milioni di visitatori arrivano ogni anno nel nostro Paese, attratti dal suo immenso patrimonio naturale e culturale, che non ha eguali nel resto del mondo, e dalla densità e diffusione, cioè dal radicamento di questo patrimonio nel territorio, nella storia e nella coscienza del suo popolo* [5].

Riferimenti

1. D'Atena A., "Costituzione e principio di sussidiarietà", in *Quaderni Costituzionali*, 1, **2001**, 13-34, [Online] <https://www.rivisteweb.it/doi/10.1439/4806> [Data di accesso 01/02/2021]
2. Zamagni S., *Dal Welfare della delega al Welfare della partecipazione. Il Distretto di Cittadinanza come esempio evoluto di sussidiarietà circolare*. **[s.d.]**, [Online] <https://ordosocialis.de/wp-content/uploads/DAL-WELFARE-DELLA-DELEGA-AL-WELFARE-DELLA-PARTECIPAZIONE.pdf> [Data di accesso 03/02/2021]
3. Zamagni S., "Sussidiarietà circolare, questa terra fa tendenza", in CSROggi, 21 Marzo **2019** [Online] <https://www.csroggi.org/sussidiarieta-circolare-questa-terra-fa-tendenza/> [Data di accesso 03/02/2021]

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4. Aristotele, *Etica Nicomachea*, **2005** Laterza, Bari,
5. Cabiddu M.A., "Diritto alla bellezza", in R*ivista AIC*, n. 4, **2020,** [Online] <https://www.rivistaaic.it/images/rivista/pdf/4_2020_16_Cabiddu.pdf> [Data di accesso 03/02/2021]

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Assessing the impact of thermal comfort models based on physiological parameters of human body on the calculation of heating and cooling demands of indoor spaces

G. Barone[1], A. Buonomano[1,2,*], C. Forzano[1], G.F. Giuzio[1], A. Palombo[1], G. Russo[1]

[1] Department of Industrial Engineering, University of Naples Federico II, P.le Tecchio, 80, 80125 Naples, Italy

[2] Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, 1455 De Maisonneuve Blvd. W., Montreal, Canada

***** Author to whom correspondence should be addressed. E-Mail: annnamaria.buonomano@unina.it

Abstract: Indoor thermal comfort represents a key aspect for building energy consumption. Besides, the current normative regarding thermal comfort still adopts a static approach without considering the natural adaptability of the human body. The implementation of HVAC system control logics based on a static approach leads to erroneous evaluation of thermal comfort condition overestimating the building energy requirements. To overcome these issues, increasing interest in physiological thermal comfort models to be adopted in building energy simulation tools, allowing to consider physiological features (e.g. skin temperature, heart rate variability, etc.) is detected. Thus, in the present work a novel dynamic simulation model for the human body thermal behavior assessment, implementing variable physical parameters (including conduction, convection, radiation, evaporation, breathing and heat generation), and developed in MatLab environment, is presented. Specifically, the novel developed dynamic simulation model is implemented in an in-house building energy performance simulation tool (called DETECt 2.4). By the novel developed tool, space heating and cooling needs are calculated by correlating the thermal sensation to physical and biological aspects of the human body. Specifically, heart rate and skin temperature are considered as input of the model and are adopted for suitably characterizing the occupants' thermal sensation.To show the potentiality of the developed model, a suitable case study consisting of an office space is considered. Here, space heating and cooling demands obtained by applying the novel developed model are compared to those obtained through standard thermal comfort models based on Fanger's theory. By the comparison, interesting results are obtained.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_040_pp_402

Keywords: Occupants thermal comfort models, building energy performance simulation tools, physiological parameters, human-body thermal sensation.

1. Introduction

Thermal comfort standards are widely adopted by building designers to deliver thermally comfortable indoor climate to building occupants. Consequently, the definition of a neutral indoor climate (e.g. optimal indoor air setpoint) is a key parameter affecting the building energy consumption. The influence of thermal comfort on HVAC system energy consumption is thus leading to increasing attention in improving the existing thermal comfort models. In this framework, the most adopted thermal comfort model was developed by Fanger [1] and was derived by modelling the heat balance of the human body using steady-state conditions. Besides it widely adoption, diverse works in literature show several limitations such as considering people as passive to the thermal sensation and neglecting their adaptation opportunities, as well as physiological and cultural aspects. However, these parameters, are proven to have a high influence on the real thermal comfort sensation of occupants with a consequent effect on the space heating and cooling requirements.

It worth noticing that the comfort temperature is the result of an interaction between the subjects and the environment they occupy. This interaction is dictated by a series of mechanisms driven by the activities of the human body's thermoregulatory system. For this reason, the thermoregulatory mechanisms play important roles in maintaining physiological homeostasis during rest and physical exercise. Diverse studies ([2][3][4][5][6]) highlight that these mechanisms are triggered by the activity of the nervous system (i.e. sympathetic nerve) and the consequent response of the circulatory system (i.e. vasoconstriction to accumulate heat in the human body, and vasodilation to increase heat dissipation). Also, the metabolic rate, which is a response of the thermoregulatory system, should be considered as variable (and extremely dependent on the biophysical aspects of the human body) rather than constant. Consequently, the temperature of the body and of the skin are affected by these mechanisms. Due to the dynamic pattern of the described thermoregulatory phenomena, a dynamic simulation models are required for a proper thermal comfort assessment.

In this framework, diverse works ([7][8][9][10]), propose mathematical models aimed at simulating the heat exchange between the person and the surrounding environment and at investigating the effects of thermoregulatory mechanism and the evolution of body’s temperature over time. In these models, the whole body is generally idealized as made of spherical or cylindrical segments (e.g. head, neck, chest, pelvis, right and left shoulders, right and left arms, right and left hands, right and left thighs, right and left legs, and right and left feet). The segments consist of diverse layers, such as core, muscle, fat and skin, and different thermoregulatory mechanisms, such as vasoconstriction, vasodilation, perspiration, and shivering are considered.

Aiming at improving the present state of the art of thermal physiological models, a novel dynamic simulation model, in-house developed in MatLab environment, implementing variable physiological

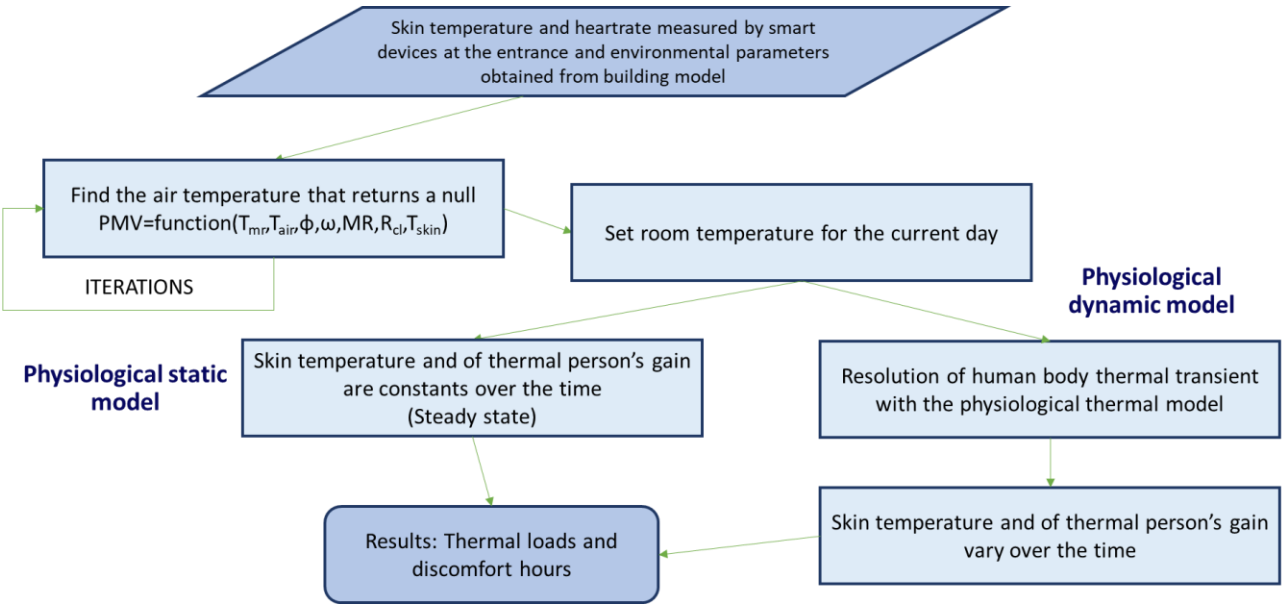
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

parameters for the human body thermal behavior assessment (including conduction, convection, radiation, evaporation, breathing and heat generation) is presented. By means of the proposed dynamic simulation model, implemented in a building performance simulation tool for the assessment of the heating and cooling requirements, a suitable case study consisting of an office space is investigated. Here, space heating and cooling demands obtained by applying the novel developed model are compared to those obtained through standard thermal comfort models based on Fanger's theory.

2. Mathematical model

In this section, the developed thermal comfort mathematical model main features are presented. Starting from the adopted calculation procedure, this is depicted in the flowchart shown in Figure 1.

Figure 1. Flowchart.

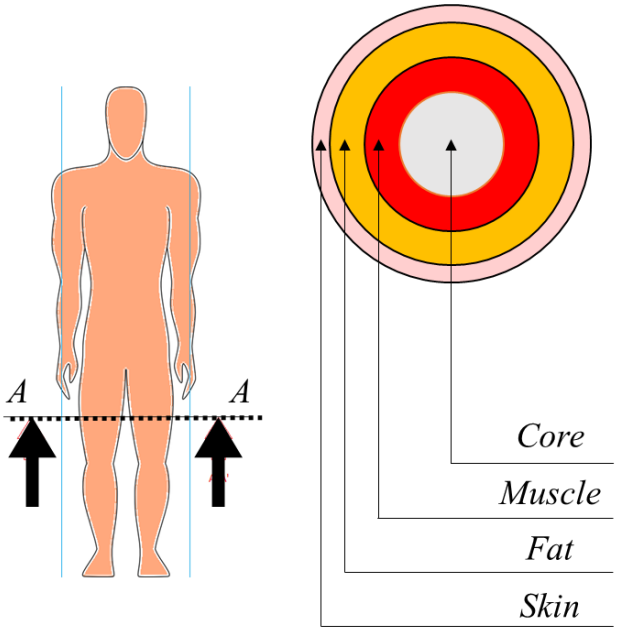


With respect to the initial and boundary conditions, these are divided in two main groups: physiological data, such as skin temperature and heart rate, and environmental data, such as indoor air temperature, mean radiant temperature, etc.. Note that, the physiological parameters are supposed as known (e.g. through thermoscanners or wearable devices), whereas the environmental ones are evaluated through a Building Energy Performance Simulation (BEPS) tool, developed by University of Naples Federico II and called DETECt [11]. Such BEPS tool, based on the finite difference method considering as one-dimensional the thermal domain, consists of a high order resistive-capacitive thermal network obtained by distributed parameters allowing for the calculation of indoor air and internal surfaces' temperatures. After that the initial and boundary conditions are known, the set point temperature to be set inside the building to return a null PMV value is calculated by means of the developed tool. Once that the set point temperature is estimated, two diverse physiological

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

models can be applied: the physiological static model and the physiological dynamic model. In case of the physiological static model a steady state is considered (thus, the skin temperature is assumed as constant and equal to standard values reported in literature [7]). Conversely, the physiological dynamic model overcome the steady state approach allowing for the resolution of the human body's temperature field, in one-dimensional transient regime, which is necessary to know the dynamic variation of occupant' skin temperature. With respect to the physiological dynamic model, the human body simplified as shown in Figure 2

Figure 2. Shape of human body.



Here, it is possible to notice that the human body is approximated as a cylinder consisting of 4 different layers: core, muscle, fat and skin. The main geometric and thermodynamic features of each of the considered layers are evaluated following the results shown by Fiala [9] and Stolwijck [10]. In addition to the conductive heat exchange between each layer, the convective contribution represented by the blood flow is also modelled. Finally, aiming at modelling the human body metabolic rate, a suitable thermal generation is considered within the core and muscles layers. Consequently, the human body thermal transient problem, solved by an implicit finite volume numerical method, is thus described by the following partial differential equation:

$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)+\frac{MR\cdot\rho_{i,body}}{k_{i,body}}\times\frac{V_{inside}}{V_{tot,body}}+\frac{\dot{m}_{bl}\cdot c_{p,bl}}{k_{i,body}\cdot V_{tot,body}}\times\left(T_{inside}-T_{skin}\right)=\frac{\rho_{body}\cdot c_{p,body}}{k_{body}}\frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

where r is the radius, which is the only dimension in which the temperature (T) varies, MR is the net metabolic rate, representing the amount of the metabolic rate to be dissipated [5], $\rho_{i,body}$, $k_{i,body}$, and V_{inside} are the inside layer (core and muscle) density, thermal conductivity, and volume, respectively,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

whereas ρ_{body} , k_{body}, and $V_{tot,body}$ are respectively the density, thermal conductivity, and volume related to entire human body, $c_{p,bl}$ is the heat capacitance of blood at constant pressure, T_{inside} is the temperature of the inside layer of human body, T_{skin} is the skin temperature, $c_{p,body}$ is the heat capacitance of human body.

Concerning the human body heat generation and layer-to-layer convection heat fluxes, these are function of the metabolic rate and blood perfusion, respectively. The first one (metabolic rate) is assessed as a function of the volume of oxygen breathed by the person which is, in turn, determined from the heart rate through a correlation provided by the work of Nelson [12]:

$$\begin{cases} V_{O2} = ((0.3 \cdot HR - 16.44) \cdot mass) \times (10^{-3} / 60) \\ MR = \dfrac{k_{O2} \cdot V_{O2}}{mass} \times (1 - \eta) \end{cases} \quad (2)$$

where V_{O2} is the volume of consumed oxygen, HR is the heart rate, $mass$ is the weight of the occupant, k_{O2} is caloric equivalent of consumed oxygen and η is the efficiency of human body. With respect to the blood perfusion, this is estimated through the core and skin signal according to correlation of Kaynakli [13]:

$$\dot{m}_{bl} = [(6.3 + 200 \cdot CR_{SIG} / (1 + 0.5 \cdot (-SK_{SIG})))] / 3600 \quad (3)$$

with

$$\begin{cases} CR_{SIG} = T_{inside}(t) - T_{inside}(t = 0) \\ SK_{SIG} = T_{skin}(t) - T_{skin}(t = 0) \end{cases} \quad (4)$$

By means of the developed tool, diverse analysis can be performed.

3. Case study

In order to show the capabilities of the developed software a suitable case study is considered and investigated. Specifically, it consists in a single office space (48 m^2, 129.6 m^3), located in Rome (by exploiting Meteonorm weather data). Note that for the investigated building, the BestTest case 600 geometrical and thermophysical features have been taken into account (see Table 1). The HVAC system operates for 10 hours (from 8 a.m. to 5 p.m) for the entire week. Inside the thermal zone w_{air} (air velocity) and φ (relative humidity) are set at 0.4 m/s and 50%. Concerning the occupant, the initial skin temperature, T_{skin}, is set equal to 33.7°C whereas the hear rate, HR, at 70 bpm.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 1. Geometrical and thermal properties of test room

Stratigraphy				
material (from internal to external)	**density** [kg/m^3]	**Capacity** [J/(kg·K)]	**Conductivity** [W/(m·K)]	**Thickness** [m]
wall	1400	1000	0.51	0.100
wall	10	1400	0.04	0.062
wall	530	900	0.14	0.009
floor	1400	1000	1.13	0.08
floor	10	1400	0.04	0.08
roof	840	840	0.20	0.10
roof	12	840	0.04	0.11
roof	530	840	0.20	0.10
glass	2500	750	1.06	0.003

Geometry			
width [m]	**length** [m]	**height**[m]	**window area**
6	8	2.7	12

4. Results and discussion

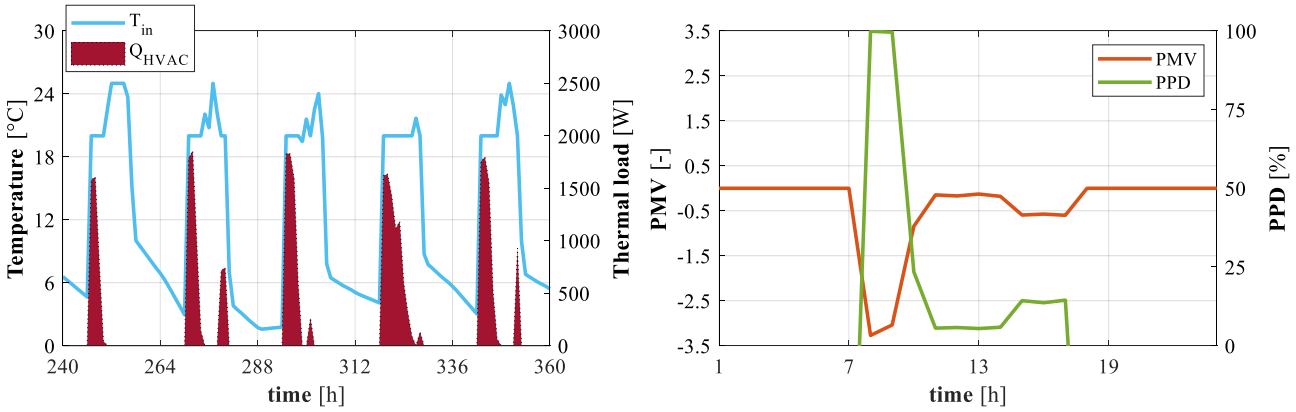
In this section, the results related to the carried-out analyses are presented. In Particular, for comparison purposes, besides the developed static and dynamic thermal comfort models, the case study building is investigated also by using the methods presented in the UNI 10339 and the Fanger's theory. Specifically, the UNI 10339 adopts a fixed and standardized set point temperature whereas Fanger's theory evaluate the operative temperature as a function of the thermal comfort sensation. The outcomes of each of the investigated methods are separately presented in the following. Finally, a suitable comparison is also provided. Note that, even if the simulations are carried out for the whole year, for sake of brevity only the winter results will be presented in the following.

4.1. UNI 10339 standard

As previously mentioned, the UNI 10339 standard (which is assumed as reference case) imposes fixed set point temperature equal to 20°C and 26°C for the winter and summer season, respectively. The thermal load and indoor air temperature time histories achieved by adopting the UNI 10339 standard are shown in the Figure 3, left, for five sample winter days. Here it is possible to notice that when the indoor air temperature (light blue line) exceeds the winter set point one (20°C), the thermal power given by the HVAC system (red area) is equal to zero (being the HVAC system turned off). With respect to the thermal comfort sensation, this is shown Figure 3 where the PMV (orange line) and PPD (green line) are presented for one reference winter day. Form the figure it is possible to detect that the PMV (and thus the PPD) varies only at the variation of the indoor air temperature and of the average radiant temperature while other parameters influencing the PMV are considered constant.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

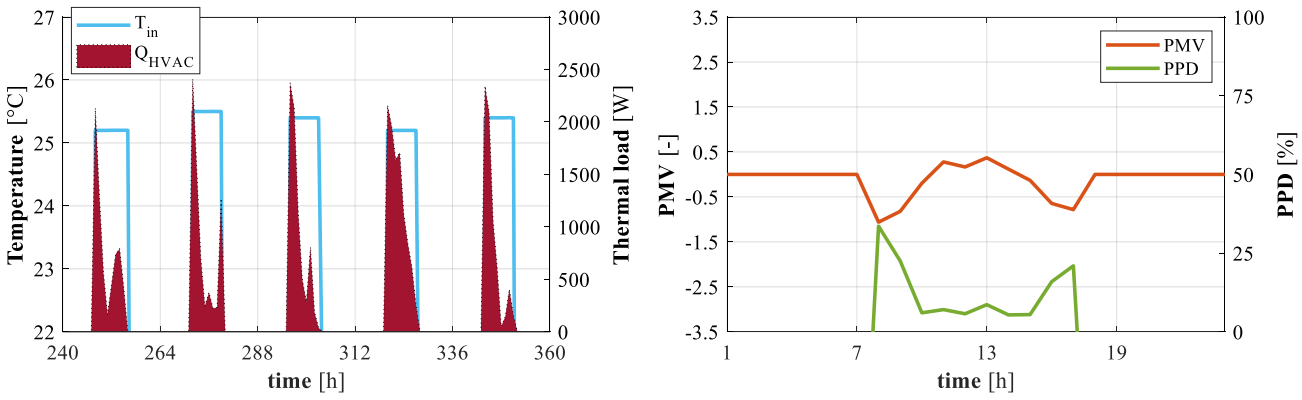
Figure 3. Thermal load, indoor air temperature, PMV and PPD, UNI 10339.



4.2. Fanger's theory

Differently from the UNI10339, setting a fixed indoor set-point, the Fanger's theory considers the metabolic rate and the thermal resistance of the clothing of the occupant to set the operative temperature (T_{op}) inside the room. Consequently, the set-point temperature changes as a function of boundary and operating conditions. Specifically, for the considered case study (M equal to 1 met, and a R_{cl} equal to 1.01 clo), the resulting optimal operating temperature (T_{op}) for the winter season is set equal to 23.2°C. The results of the carried-out analyses, conducted by considering an operative temperature of 23.2°C, are shown in Figure 4 for the same reference winter days presented in Figure 3. Specifically, indoor air temperature and thermal load time histories are presented in Figure 4 left, whereas the PMV and PPD time histories are shown in Figure 4, right. From the figure it is possible to notice that, to maintain the Fanger's operative temperature set-point, higher thermal power demand is always detected. In fact, during the occupancy hours (from 8a.m. to 5 p.m.), the HVAC system is always ON (thus, higher energy consumption is expected by considering Fanger's theory over UNI 10339 approach). However, by the thermal comfort point of view, better PMV is always achieved.

Figure 4. Thermal load, indoor air temperature, PMV and PPD, Fanger's theory.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.3. Physiological static model

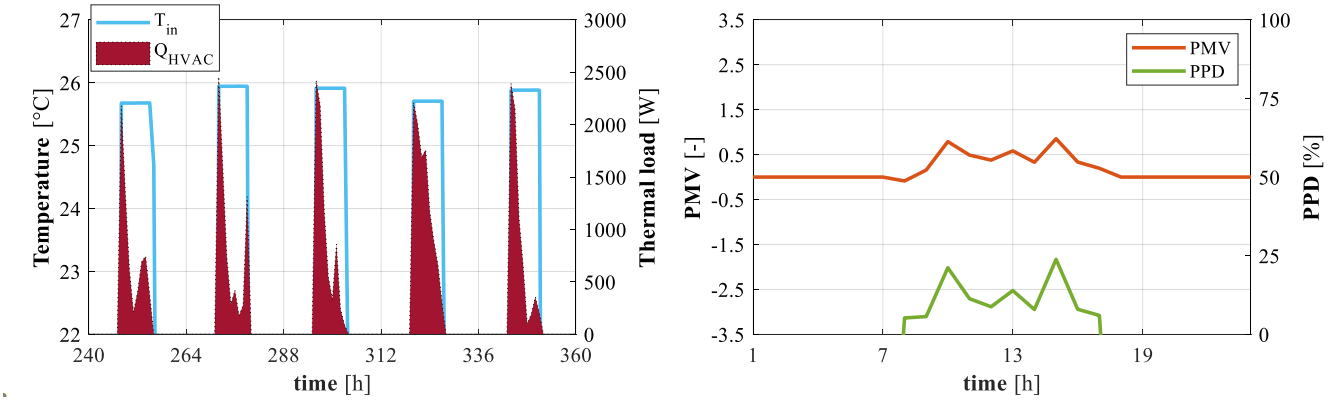
Concerning the developed physiological static model, optimal indoor air temperature, to achieve a null PMV, is obtained by considering the metabolic rate *MR* (function of the *HR*) and the skin temperature. The boundary condition assumed are a skin temperature equal to 33.7 °C, a clothes resistance equal to 1.01 clo (similar to 4.2 section), and a metabolic rate equal to 92 W, estimated as follow:

$$MR = f(HR = 70 \text{ bpm}) \quad (5)$$

Results of the analysis, related to the same sample days considered for Figure 3 and Figure 4, are shown in

Figure ***5***. Here it is possible to detect that indoor air temperature (Figure ***5***, left) is slightly higher than the one obtained according to Fanger (Figure 4, left), with a consequent higher energy consumption. On the other hand, by considering metabolic rate function of HR and the skin temperature, better PMV with respect to both UNI 10339 and Fanger are obtained (see Figure ***5***).

Figure 5. Thermal load, indoor air temperature, PMV and PPD, physiological static model.



4.4. Physiological dynamic model

As known, the body (which is not a passive to the external solicitation) reacts actively to the stimuli received from the environment. Therefore, also the *HR* and the skin temperature (T_{skin}), considered fixed in case of the physiological static model previously shown, could vary. Consequently, the physiological dynamic model tries to overcome such limitation by assessing the heat exchange between the person and the environment by considering a transient thermal model for the human body. Note that, in case of physiological dynamic model, only the skin temperature is assumed as variable whereas the *HR* (and thus the *MR*), are still considered fixed. The boundary condition assumed are the skin temperature equal to 33.7 °C, a clothes resistance equal to 1.01 clo (similar to 4.2 and 4.3 section), a metabolic rate equal to 92 W, and the same set-point temperature adopted in the previous section (4.3 physiological static model). Specifically, the human body temperature as a function of both time

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

and layer is shown in Figure 6, left. Here, light blue, yellow and purple lines are respectively related to the temperature reached after 8, 9 and 17 hours, respectively. As a Result of the human body temperature variation, also the human body contribution to the internal load changes. Such occurrence is shown in Figure 6, right, where the thermal gain (Q_{gain}) time histories, evaluated for the same reference winter days so far show, are presented in case of both physiological static and physiological dynamic models. From the figure it is possible to notice that, case of dynamic model adoption, the thermal gain is lower than that achieved by using the static one. Consequently, the developed transient thermal model (implying a change in the skin temperature) returns, with respect to the static one, an increase of the thermal load during the heating season due to the reduction of the occupant's thermal gain, as clearly shown in Figure 7, left. With respect to the thermal comfort sensation, an increase of PMV is detected (see Figure 7, right). Such occurrence is due, in case of the transient analysis, to the reduction of the skin temperature (as shown in Figure 6, left).

Figure 6. Body's thermal transient and thermal gain, physiological dynamic model.

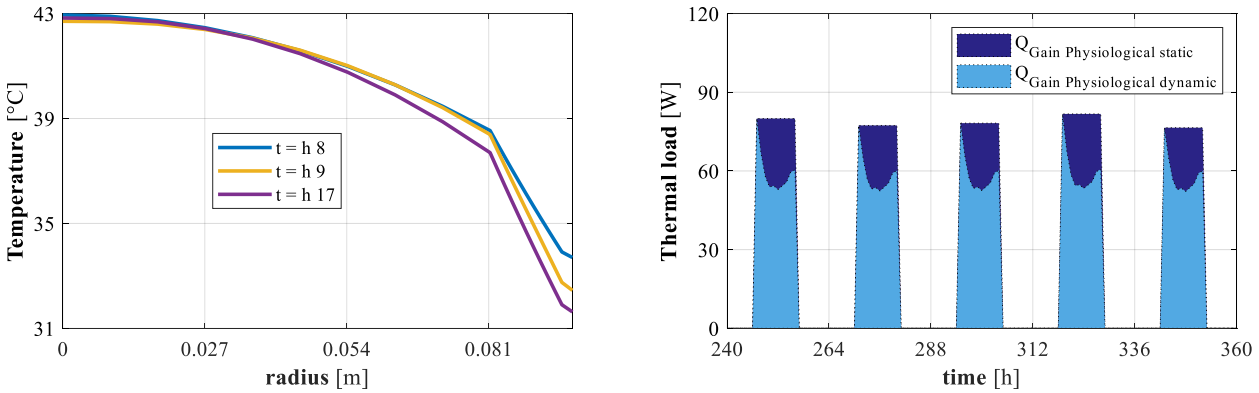
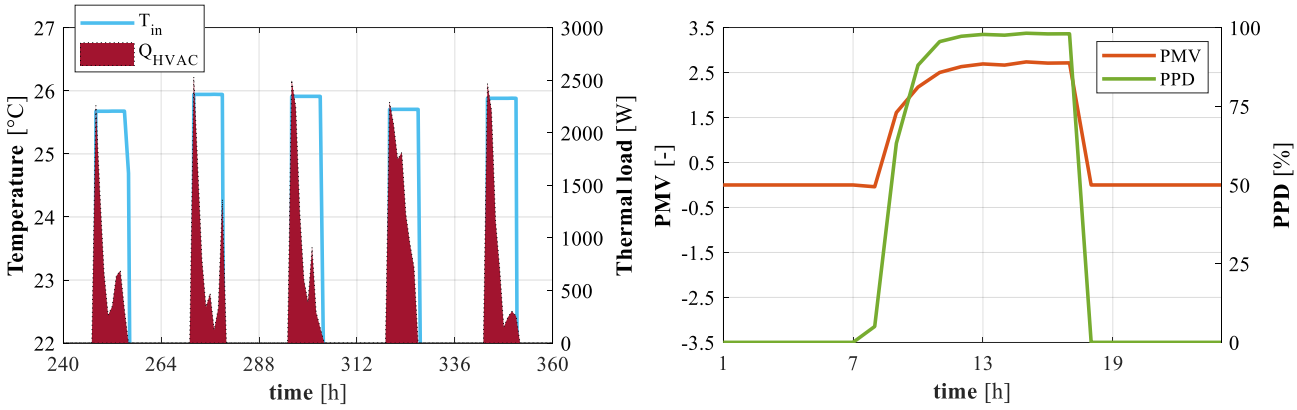


Figure 7. Thermal load, indoor air temperature, PMV and PPD, physiological dynamic model.



4.5. Comparison between the reference and proposed models

In this section, a comparison between the previously investigated methods is performed. Starting from the thermal power required for space heating, this is shown in Figure 8 for the same sample winter days so far considered. From the figure is possible to notice that the physiological dynamic

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

model returns the highest thermal power demand (in accordance with the reduced contribution of human body to the indoor loads). On the contrary, the lowest thermal power demand for space heating is achieved by the UNI 10339 standard, as expected. Such occurrence implies different thermal energy demand for the considered methods. This can be noticed in Figure 9, left, where the monthly thermal energy demand for both space heating and space cooling are presented for all the investigated adopted methods. With respect to the achieved thermal comfort, the related results are shown in Figure 9, right, where the total amount of discomfort hours are presented. Specifically, from the figure it is possible to notice that the physiological dynamic model shows a significant amount of discomfort hours, much higher than those obtained by considering the physiological static and Fanger's models. This demonstrates that neglecting the variation over time of the physiological parameters (such as skin temperature) implies an underestimation of the discomfort sensation of occupants.

Figure 8. Daily comparison among the four methods in thermal load required.

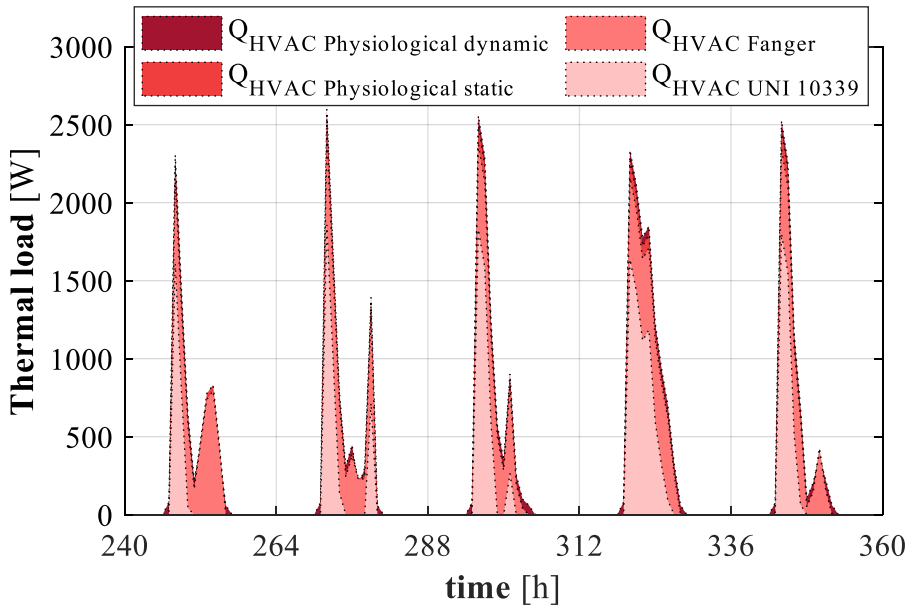
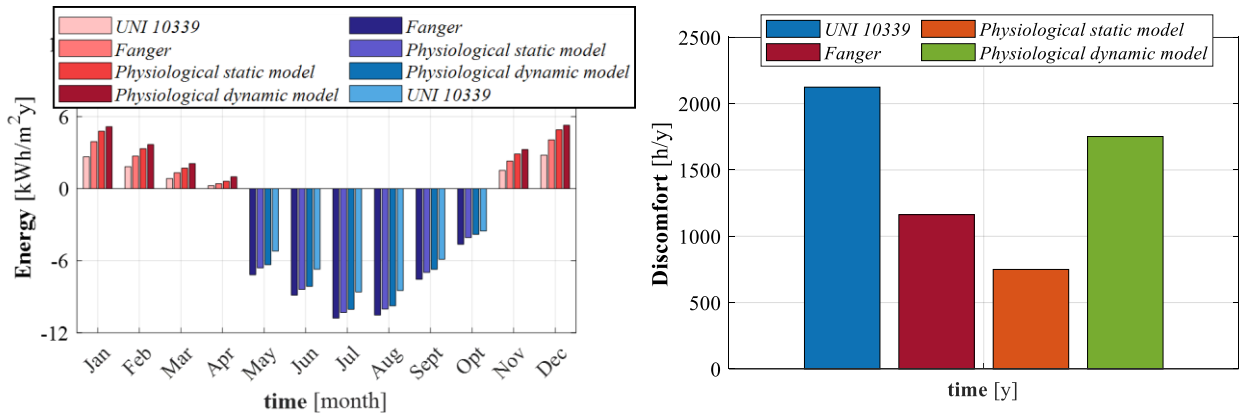


Figure 9. Monthly comparison among the four methods in energy consumption and discomfort hours.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

5. Conclusions

In this paper two novel thermal comfort assessment mathematical tools have been developed and described. In both the static and dynamic models, the estimated indoor air temperature is the same and is set daily, whereas in the dynamic model the thermal gain due to the occupant varies as a function of the skin temperature calculated in a transient regime. The developed models have been applied to investigate a suitable case study referred to an office building. The achieved energy and thermal comfort results have been compared with those obtained by adopting the UNI 10339 and Fanger's theory approaches. The results of the carried-out analysis highlight the importance of considering the variation over time of the physiological parameters of the human body to better estimate the thermal comfort in indoor spaces, and, as a consequence, to enhance the control of HVAC systems. As future perspective, the developed model is expected to be used for the deployment of novel dynamic comfort perception schemes derived by means of measured data about environmental and physiological parameters, as well as occupants' comfort feedbacks. Finally, we hope to enhance the proposed model by exploiting the experimental results provided within the NEXT.COM project, and – even better – implementing its novel multidimensional model.

Nomenclature

c_{body} heat capacitance of human body [J/(kg·K)]
CR_{sig} core signal [°C]
$c_{p,bl}$ heat capacitance of blood at constant pressure [J/(kg·K)]
HR heart rate [bpm]
k_{body} conductivity of total body [W/(m·K)]
$k_{i,body}$ conductivity of inside layer (core plus muscle) of human body [W/m·K]
k_{O2} caloric equivalent of consumed oxygen [W/(kg/s)]
M metabolic rate [W/m^2]
$mass$ weight of occupant [kg]
$\dot{m}_{bl}$ blood flow rate [kg/(m^2·s)]
MR metabolic rate net of work [W/kg]
PMV predicted mean vote [-]
PPD percentage of person dissatisfied [%]
Q_{gain} thermal gain of the occupant [W]
Q_{HVAC} thermal load required for heating and cooling [W]
r radial spatial variable [m]
R_{cl} clothing thermal resistance [K/W]
$r_{s,body}$ external radius of skin layer[m]
SK_{sig} skin signal [°C]
t time [s]
T_{in} indoor air temperature[°C]
T_{inside} temperature at the external inside layer of human body [°C]
T_{mr} mean radiant temperature [°C]

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

T_{op} operative temperature [°C]
T_{skin} skin temperature [°C]
V_{inside} volume of inside layer [m^3]
V_{O2} volume of consumed oxygen [m^3]
V_{tot} total volume of human body [m^3]
w_{air} air velocity [m/s]

Greek letters

η efficiency of human body [-]
ρ_{body} density of global human body [kg/m^3]
$\rho_{i,body}$ density of inside layer of human body [kg/m^3]
φ relative humidity [%]

References

1. Fanger, P.O., *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. 1970: Copenhagen: Danish Technical Press. 244 pp.
2. González-Alonso, J., *Human thermoregulation and the cardiovascular system.* Experimental Physiology, 2012. **97**(3): p. 340-346.
3. Lim, C.L., C. Byrne, and J.K.W. Lee, *Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings.* Annals Academy of Medicine Singapore, 2008. **37**(4): p. 347.
4. Tansey, E.A. and C.D. Johnson, *Recent advances in thermoregulation.* Advances in physiology education, 2015.
5. Cramer, M.N. and O. Jay, *Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress.* Autonomic Neuroscience, 2016. **196**: p. 3-13.
6. Liu, W., et al., *Evaluation of calculation methods of mean skin temperature for use in thermal comfort study.* Building and Environment, 2011. **46**(2): p. 478-488.
7. Tanabe, S.-i., et al., *Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD).* Energy and Buildings, 2002. **34**(6): p. 637-646.
8. Kobayashi, Y. and S.-i. Tanabe, *Development of JOS-2 human thermoregulation model with detailed vascular system.* Building and Environment, 2013. **66**: p. 1-10.
9. Fiala, D., K.J. Lomas, and M. Stohrer, *A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system.* Journal of Applied Physiology, 1999. **87**(5): p. 1957-1972.
10. Stolwijk, J.A.J., *A mathematical model of physiological temperature regulation in man.* NASA-Langley, 1971, 1971.
11. Buonomano, A., *Code-to-Code Validation and Application of a Dynamic Simulation Tool for the Building Energy Performance Analysis.* Energies, 2016. **9**(4).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

12. Nelson, R.R., et al., *Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise.* Circulation, 1974. **50**(6): p. 1179-1189.
13. Kaynakli, O. and M. Kilic, *Investigation of indoor thermal comfort under transient conditions.* Building and Environment, 2005. **40**(2): p. 165-174.
14. Raja, I.A., et al., *Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings.* Energy and Buildings, 2001. **33**(3): p. 235-244.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

L'evoluzione della disciplina normativa in materia di produzione di energia idroelettrica da corsi d'acqua superficiali

Alessandro Formica[1,*]

[1] Università della Tuscia, Viterbo.

***** Autore di riferimento. E-Mail: avv.alessandroformica@gmail.com

Abstract: la disciplina in tema di concessioni di derivazione da corsi d'acqua superficiali per la produzione di energia idroelettrica si caratterizza per un'accentuata stratificazione normativa, che non sembra, a tutt'oggi, nonostante la recente novella introdotta dal d.l. n. 135/2018, aver raggiunto un assetto stabile e definito. Il nucleo centrale di tale composito *corpus* normativo continua a essere rappresentato dal R.D. n. 1775/1933, nell'ambito del quale le considerazioni legate allo sfruttamento economico continuano a mantenere un ruolo di sostanziale preminenza rispetto alle pur fondamentali esigenze di tutela della risorsa idrica, quale bene ambientale meritevole di protezione e conservazione. In tale prospettiva un ruolo determinante ha assunto la normativa di derivazione comunitaria che, attraverso il tradizionale pilastro rappresentato dalla tutela della concorrenza, ha incentivato il ricambio periodico della titolarità delle concessioni, favorendo il ricorso a modelli di selezione dei concorrenti volti a prediligere le offerte più vantaggiose sotto il profilo della compatibilità ambientale delle derivazioni idriche. Ciò nondimeno, permane una tendenziale contraddizione nel sistema normativo fra l'interesse a favorire lo sfruttamento economico in un settore che, da solo, vale il 70% dell'intera produzione europea di energia da fonti rinnovabili, e l'interesse ambientale alla conservazione dei valori dell'ecosistema in cui il corpo idrico è inserito, sovente incompatibile con provvedimenti concessori di durata molto estesa nel tempo, come tali insuscettibili di revisioni e adeguamenti periodici coerenti con la celerità dei mutamenti climatici e con la crescente scarsità della risorsa idrica.

Parole chiave: acqua; idroelettrico; concessione; derivazione; normativa; concorrenza; ambiente; energia; rinnovabili.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Premessa: l'acqua come "bene giuridico" oggetto di diritti di sfruttamento per fini economici.

Nell'approcciare il tema dell'uso delle acque superficiali ai fini di produzione di energia elettrica l'autore non può esimersi dal premettere un breve inquadramento sistematico del concetto di acqua quale "bene giuridico", suscettibile, come tale, di formare oggetto di diritti *uti singuli*.

Già in epoca romana l'ordinamento giuridico contemplava il principio dell'utilizzabilità da parte dei soggetti privati della risorsa idrica, seppure temperato dall'esigenza di garantire la compatibilità di tale uso individuale ed esclusivo con la destinazione dell'acqua a soddisfare interessi propri della collettività.

A tal fine, il Pretore era investito della competenza a risolvere i conflitti riguardanti l'impiego della risorsa idrica incompatibili con la sua preminente destinazione a uso pubblico [1].

In particolare, al Pretore spettava il compito di dirimere i conflitti derivanti dalla concorrenza di domande di utilizzo fra loro incompatibili e dalla loro conciliabilità con l'interesse pubblico.

La regolamentazione pubblica degli usi delle acque è poi costantemente cresciuta negli ordinamenti giuridici dell'Europa continentale, cha hanno introdotto prescrizioni sempre più ampie e incisive per garantire un efficiente utilizzo della risorsa.

In epoca moderna si è poi progressivamente affermato il principio, di derivazione francese, delle acque come beni demaniali, vale a dire di dominio pubblico, da cui è discesa la subordinazione del loro utilizzo privato a un provvedimento concessorio rilasciato dall'autorità.

Si è così venuto consolidando un regime giuridico fondato sulla proprietà pubblica delle acque superficiali, quali beni appartenenti al demanio (vedasi l'art. 822 c.c., ove si afferma che "*fanno parte del demanio pubblico*" i fiumi, i torrenti, i laghi e le altre acque definite pubbliche dalle leggi speciali), cui si accompagnava, in un rapporto di contraddizione soltanto apparente, la previsione della possibilità, a seguito di provvedimento concessorio, di un loro uso privato, a fronte del pagamento di un canone di utilizzo, in funzione di corrispettivo tendente a compensare il valore di scambio economico del bene concesso in uso con il pregiudizio subito dalla collettività per la privazione della risorsa a favore del singolo.

Lo strumento della concessione, dunque, ha definitivamente consacrato l'idea dell'acqua come bene giuridico, inteso come risorsa che può formare oggetto di diritti individuali di godimento, fonte di utilità per colui che può disporne, soprattutto in conseguenza dello sviluppo tecnologico, che ha consentito di accompagnare ai tradizionali usi della risorsa anche quello di forza motrice per la produzione di energia elettrica.

In tale ottica, è significativo richiamare il principio consacrato all'art. 814 del Codice civile, ove sono qualificate come "beni" (intesi quali "*cose che possono formare oggetto di diritti*" ex art. 810 c.c.) "*le energie naturali che hanno valore economico*" e che costituisce il fondamento, nel nostro ordinamento giuridico, della possibilità di costituire diritti d'uso sulle risorse idriche.

Alla tradizionale qualificazione dell'acqua come bene giuridico, suscettibile di uso individuale per fini economici, tuttavia, si è venuta affiancando, per effetto dell'evoluzione del sistema normativo in chiave di tutela della risorse ambientali dallo sfruttamento umano incondizionato, la nozione di acqua come "bene comune" e "patrimonio dell'umanità", da cui discende l'inderogabile esigenza di garantire che l'uso della risorsa non comporti un pregiudizio per la tutela ambientale, nonché un pregiudizio nei

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

confronti dei consociati nella sua fruizione, soprattutto in caso di usi c.d. “dissipativi” (es. irrigazione, usi industriali).

Tale principio è stato poi cristallizzato nell’art. 1 della L. n. 36/1994 (c.d. “legge Galli”), ove si afferma che “*Tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal sottosuolo, sono pubbliche e costituiscono una risorsa che è salvaguardata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà. // Qualsiasi uso delle acque è effettuato salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale. // Gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici*”.

In tale prospettiva hanno assunto una crescente rilevanza le politiche di programmazione e pianificazione dell’uso della risorsa, al fine di garantire il mantenimento dell’equilibrio idrico e dell’habitat naturale anche in funzione di tutela degli interessi delle generazioni future.

2. La normativa d’origine e la progressiva affermazione dell’esigenza di tutela della risorsa intesa come bene naturale meritevole di protezione.

La disciplina dell’uso della risorsa idrica a fini produttivi ha subito un primo importante intervento normativo di riordino con l’introduzione del R.D. n. 1775/1933 (*T.U. testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici*), che a tutt’oggi costituisce il testo di riferimento per la regolamentazione delle concessioni di derivazione per l’utilizzo della risorsa idrica a fini economici individuali, anche a seguito dell’entrata in vigore del Codice dell’ambiente, che ne ha modificato solo in parte in contenuti, lasciando inalterato l’impianto originale [2].

Significativo, pertanto, appare il fatto che la disciplina dell’uso delle acque a fini produttivi non sia stata trasfusa nel Codice ambientale, che pur dedica ampia parte della propria disciplina alla tutela dei corpi idrici, ma resti saldamente ancorata a un contesto normativo concepito in un’epoca in cui non esisteva ancora la consapevolezza della necessità di accordare adeguata tutela ai valori ambientali.

Tale constatazione dimostra che, nonostante la progressiva evoluzione dell’ordinamento (avvenuta soprattutto dietro impulso della normativa europea) in chiave di promozione della tutela ambientale della risorsa, il sistema interno risulta tutt’ora saldamente incardinato sul regime concessorio delineato in epoca pre-repubblicana, a sua volta orientato nel senso di privilegiare l’aspetto economico dell’uso della risorsa, che mantiene un ruolo centrale rispetto alle considerazioni di ordine prettamente ambientale, il cui ruolo, seppur progressivamente riconosciuto e valorizzato dalla normativa sopravvenuta, risulta in qualche modo mantenersi in posizione defilata, in attesa di una complessiva rivisitazione della materia, che tarda ancora, tuttavia, ad arrivare.

Ai sensi dell’art. 2 del Testo Unico surrichiamato “*Possono derivare e utilizzare acqua pubblica: [...] coloro che ne ottengono regolare concessione, a norma della presente legge*”, con ciò, dunque, riaffermando il principio della subordinazione dell’uso della risorsa all’esercizio del potere concessorio da parte dell’autorità competente (all’epoca, l’amministrazione statale). Il potere concessorio viene così individuato quale strumento di governo dell’uso delle acque, onde garantirne un utilizzo efficiente e compatibile con le risorse disponibili.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

A tal fine, l'art. 9 stabilisce una serie di criteri di priorità in caso di una pluralità di domande di derivazione concorrenti, accordando preferenza a quella che "*presenta la più razionale utilizzazione delle risorse idriche in relazione ai seguenti criteri: a) l'attuale livello di soddisfacimento delle esigenze essenziali dei concorrenti anche da parte dei servizi pubblici di acquedotto o di irrigazione e la prioritaria destinazione delle risorse qualificate all'uso potabile; b) le effettive possibilità di migliore utilizzo delle fonti in relazione all'uso; c) le caratteristiche quantitative e qualitative del corpo idrico oggetto di prelievo; d) la quantità e la qualità dell'acqua restituita rispetto a quella prelevata*".

Ai sensi dell'art. 6 viene poi stabilita la distinzione fra piccole e grandi derivazioni di acque (in relazione alle derivazioni per produzione di forza motrice, il discrimine è rappresentato dalla potenza nominale media annua superiore a 3000 kw).

La tendenziale prevalenza delle considerazioni di ordine economico propria dell'impianto ordinario del Testo Unico, a ogni modo, è stata successivamente temperata dalle modifiche introdotte dal legislatore delegato del D.Lgs. n. 152/2006, il quale, con l'art. 96, ha modificato l'art. 12-bis, che ora nella nuova versione subordina il rilascio del provvedimento concessorio a una serie di indefettibili requisiti volti a garantire la tutela della risorsa e la protezione dell'ecosistema nel quale è inserita [3].

In particolare, la nuova formulazione stabilisce che "*il provvedimento di concessione è rilasciato se: a) non pregiudica il mantenimento o il raggiungimento degli obiettivi di qualità definiti per il corso d'acqua interessato; b) è garantito il minimo deflusso vitale e l'equilibrio del bilancio idrico; c) non sussistono possibilità di riutilizzo di acque reflue depurate o provenienti dalla raccolta di acque piovane ovvero, pur sussistendo tali possibilità, il riutilizzo non risulta sostenibile sotto il profilo economico*", laddove per "minimo deflusso vitale" si intende la quota minima di acqua che occorre garantire nel corso d'acqua a valle di una presa perché il fiume rimanga vivo e mantenga una continuità tale da sostenere flora e fauna.

La nuova formulazione risulta coerente con i principi di derivazione comunitaria cristallizzati nell'art. 191 TFUE, che prescrive agli Stati una utilizzazione "*accorta e razionale delle risorse naturali*", e nella Direttiva 2000/60/CE (Quadro per l'azione comunitaria in materia di acque), che a sua volta impone l'adozione di "*misure di controllo delle acque dolci superficiali e sotterranee*", mediante un sistema amministrativo di autorizzazione all'uso delle derivazioni che garantisca l'inclusione delle esigenze di tutela ambientale nell'allocazione degli usi idrici, in una prospettiva intergenerazionale.

Naturale corollario di una simile impostazione è poi il principio di temporaneità della concessione, la cui durata deve essere limitata nel tempo (non oltre il periodo strettamente necessario per consentire il recupero dell'investimento effettuato dal concessionario – v. comunicazione interpretativa Commissione del 12.04.2000). Difatti, solo mediante una periodica rivalutazione delle condizioni per la prosecuzione del prelievo della risorsa idrica, accompagnata dalla ricerca di modalità di derivazione maggiormente orientate verso l'efficienza e la tutela dei profili quali-quantitativi, risulta possibile garantire la tutela dell'ecosistema.

In particolare, la previsione di un limite di durata (trentennale) delle concessioni "*senza alcuna proroga*" è stata indicata dalla Corte costituzionale come "*livello adeguato e non riducibile*" di tutela ambientale, che richiede ripetuti controlli (v. C. Cost., sent. n. 180 del 2010 e n. 225 del 2009). Per

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

l'effetto, sono state dichiarate incompatibili con la normativa europea tutte quelle disposizioni nazionali tendenti a disporre la proroga *sine die* delle concessioni in scadenza e il c.d. criterio dell'insistenza del concessionario uscente (in base al quale quest'ultimo, a parità di condizioni, viene a essere preferito rispetto ad altri aspiranti concessionari).

Accanto alle modifiche introdotte al Testo Unico in funzione di tutela dell'ecosistema nei confronti di un uso indiscriminato della risorsa, il Codice dell'ambiente ha, altresì, inaugurato una nuova prospettiva nella gestione della risorsa idrica, incentrata sul modello pianificatorio, attraverso la previsione di nuovi strumenti di programmazione dell'uso delle acque, onde garantirne la sostenibilità nel medio e lungo periodo.

Sono stati così introdotti dall'art. 65 i Piani di bacino distrettuali, funzionali alla pianificazione delle azioni volte alla difesa del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque; accanto a essi, l'art. 117 e l'art. 121 hanno disciplinato, rispettivamente, il Piano di gestione (di competenza dell'Autorità di bacino) e il Piano di tutela delle acque (di competenza della Regione), posti a salvaguardia della integrità quali-quantitativa della risorsa idrica, mediante la pianificazione dell'equilibrio del bacino idrografico, tenuto conto della disponibilità e della capacità di rigenerazione delle acque [4].

La pianificazione della risorsa, in tale prospettiva, ha assunto un ruolo determinante, quale espressione dell'esercizio di un potere discrezionale dell'autorità, volto a garantire che il rilascio o il rinnovo delle concessioni sia coerente con gli obiettivi di tutela ambientale della risorsa idrica predeterminati in sede programmatoria.

3. Il trasferimento delle competenze in capo alle Regioni e l'implementazione del principio di concorrenza nell'assegnazione delle concessioni di grandi derivazioni per uso idroelettrico.

La Legge n. 112/1998 ha trasferito tutte le funzioni amministrative in materia di gestione del demanio idrico alle Regioni, che hanno assunto così anche i relativi poteri in tema di rilascio delle concessioni di derivazione.

Parallelamente, in conseguenza della spinta innovativa della normativa comunitaria, il legislatore è intervenuto per rivedere il sistema concessorio, al fine di permettere il superamento del regime monopolistico, che vedeva concentrate nelle mani di un unico soggetto pubblico, ENEL s.p.a., oltre l'86% di tutte le concessioni di derivazione a uso idroelettrico (per effetto della nazionalizzazione della produzione idroelettrica disposta dalla L. n. 1643/1962), per di più in un regime di affidamento perpetuo. Con il D.Lgs. n. 79/1999 (noto come "decreto Bersani", di "*Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica*"), pertanto, si è scelto di abbandonare in via definitiva il monopolio statale del mercato dell'energia elettrica, mediante una revisione delle scadenze delle relative concessioni e un nuovo modello di aggiudicazione delle utenze idriche, ispirato ai principi della concorrenza imposti dalla normativa comunitaria, nell'ottica del superamento del regime previgente di cui al R.D. 1775/1933, che permetteva al concessionario uscente di conseguire la proroga *sine die* della concessione in essere [5].

Conseguentemente, il legislatore delegato ha introdotto, all'art. 12, un regime differenziato, che prevede la scadenza delle concessioni già di titolarità di ENEL s.p.a. fissata, *ope* legis, al 1° aprile 2029,

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

mentre per le altre concessioni tale scadenza è stata fissata originariamente al 31 dicembre 2010, termine ripetutamente prorogato, da ultimo, al 31 luglio 2024.

Al fine di garantire la contendibilità delle concessioni la norma in questione ha previsto, inoltre, che "*Almeno cinque anni prima della scadenza di una concessione di grande derivazione d'acqua per uso idroelettrico, ogni soggetto, purché in possesso di adeguati requisiti organizzativi e finanziari, può chiedere il rilascio della medesima concessione a condizione che presenti un programma di aumento dell'energia prodotta o della potenza installata, nonché un programma di miglioramento e risanamento ambientale del bacino idrografico di pertinenza*". La portata innovativa di questa disposizione, tuttavia, risultava attenuata nella sostanza dalla contestuale previsione di un diritto di prelazione in capo al concessionario uscente, il quale manteneva la facoltà di "*comunicare all'amministrazione il proprio impegno alla realizzazione di un programma avente contenuto identico o migliorativo rispetto a quelli giudicati idonei*", a fronte del quale l'Amministrazione, "*ove non ritenga sussistere un prevalente interesse pubblico ad un diverso uso delle acque, in tutto o in parte incompatibile con il mantenimento dell'uso a fine idroelettrico, rilascia la concessione, per un periodo trentennale, preferendo, a parità di condizioni, il precedente concessionario*".

In difetto di "rilancio" del concessionario uscente, invece, viene indetta una procedura di gara per l'attribuzione a titolo oneroso della concessione a un nuovo concessionario.

In ogni caso, è stabilito il fondamentale principio, a "chiusura" del sistema, in base al quale "*la nuova concessione deve essere compatibile con la presenza negli alvei sottesi del minimo deflusso costante vitale, individuato sentiti anche gli enti locali, e con le priorità di messa in sicurezza idraulica del bacino stesso ai sensi della legge n. 183/1989 e successive modifiche e integrazioni nonché con i deflussi ad uso idropotabile relativi alle concessioni che, in via prioritaria ai sensi dell'articolo 2 della legge 36/1994, dovessero essere assentite sul medesimo corpo idrico*".

La disciplina del regime concessorio, dunque, era orientata, da un lato, a garantire l'implementazione del principio di concorrenza nell'assegnazione delle concessioni, mediante un sistema basato sulla procedura di evidenza pubblica per l'individuazione del concessionario e, dall'altro, ad assicurare la tutela della risorsa idrica, attraverso la previsione di una di clausola di salvaguardia, tendente ad accordare preminenza alla protezione dell'ambiente naturale e delle esigenze legate al consumo idropotabile, considerate prioritarie rispetto agli usi di carattere produttivo.

In questa prospettiva, dunque, il principio di concorrenza, specie in un settore, come quello delle grandi derivazioni per uso idroelettrico, caratterizzato dalla tendenziale saturazione delle risorse disponibili, doveva permettere non solo di massimizzare gli obiettivi di miglioramento ed efficientamento nello sfruttamento della risorsa, attraverso un sistema volto a stimolare la competizione fra operatori, ma anche gli obiettivi di protezione del sistema idrico, ponendo quale condizione indefettibile per il rinnovo della concessione esistente o per l'assegnazione di una nuova concessione la preventiva valutazione della compatibilità ambientale del prelievo.

A fronte dei descritti e ragguardevoli elementi innovativi, tuttavia, la normativa in rassegna, disponendo la proroga automatica trentennale della maggior parte delle concessioni in essere (vale a dire quelle di titolarità del quasi-monopolista Enel s.p.a.), ha finito per smentire se stessa, evidenziando

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

già in fase "genetica" l'esistenza di un irriducibile conflitto di interesse in capo allo Stato, nella duplice veste di autorità di regolazione del mercato e soggetto monopolista nel mercato [6].

Tale constatazione appare tanto più grave ove si consideri che negli ultimi vent'anni i mutamenti climatici e la conseguente diffusa siccità ha reso sempre più evidente la necessità di aumentare la cadenza periodica per la revisione delle condizioni ambientali per il rinnovo o la riassegnazione delle concessioni. Più sono ampi i tempi di durata dei provvedimenti concessori, difatti, più si rinvia nel tempo l'effettuazione delle valutazioni funzionali alla verifica della compatibilità del prelievo della risorsa a scopo produttivo con le esigenze sopravvenute di tutela dell'ecosistema e del bacino idrico di riferimento.

La questione della durata delle concessioni, d'altro canto, investe il delicato rapporto fra l'interesse del concessionario alla stabilità del regime concessorio, onde garantire al medesimo il rientro dai costi di investimento e la giusta remunerazione del capitale investito, l'interesse della collettività alla tutela dell'integrità della risorsa ai fini del suo utilizzo per esigenze di interesse pubblico (vedi uso idropotabile), nonché l'interesse (anch'esso riferibile alla collettività) alla protezione della risorsa come bene naturale deperibile.

La normativa succitata non è poi sfuggita alla censura della Commissione Europea, che ha avviato due procedure di infrazione (in data 15 marzo 2011 e 26 settembre 2013) nei confronti dell'Italia proprio in virtù del regime preferenziale riconosciuto in favore del concessionario uscente, a discapito degli operatori economici presenti sul mercato e interessati a partecipare all'assegnazione della concessione, ritenuto incompatibile con il diritto europeo.

Da ultimo, a completamento dell'attribuzione delle funzioni amministrative afferenti al demanio idrico alle Regioni già disposto dalla L. n. 112/1998, l'art. 12 del D.Lgs. n. 79/199 ha stabilito il conferimento alle regioni e alle province autonome della competenza al rilascio delle concessioni di derivazione.

Alla luce del quadro descritto, pertanto, la novella legislativa risultava aver innovato il sistema delle concessioni a uso idroelettrico in misura molto meno accentuata di quanto apparentemente poteva desumersi dalla lettura delle relative disposizioni.

4. La normativa introdotta dal D.L. n. 135/2018 e la ricerca di un assetto stabile fra tutela della concorrenza e protezione della risorsa idrica.

Il Governo ha così avvertito l'esigenza di intervenire nuovamente, anche in virtù della pressione esercitata dalle autorità europee, sulla disciplina delle concessioni, sotto il profilo della loro contendibilità mediante procedure di evidenza pubblica, e per l'effetto ha provveduto, con l'articolo 11-quater del D.L. n. 135/2018 (*Disposizioni urgenti in materia di sostegno e semplificazione per le imprese e per la pubblica amministrazione*, c.d. "D.L. Semplificazioni", convertito con modificazioni dalla L. 11 febbraio 2019 n. 12) a modificare l'art. 12 del D.Lgs. n. 79/1999.

La novella dispone, *in primis*, la regionalizzazione della proprietà delle opere idroelettriche alla scadenza delle concessioni e nei casi di decadenza o rinuncia alle concessioni, mediante il trasferimento alle regioni, una volta cessata la concessione, delle c.d. "opere bagnate" (dighe, condotte etc.) a titolo

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

gratuito, fatto salvo il diritto del concessionario a un indennizzo per le opere realizzate a proprie spese (purché previsti dall'atto concessorio o comunque autorizzate dal concedente), per la parte non ancora ammortizzata, nonché per gli oneri di straordinaria manutenzione sostenuti.

È previsto, altresì, il passaggio in proprietà alle regioni delle cd. "opere asciutte" (beni materiali), con corresponsione di un prezzo da quantificare al netto dei beni ammortizzati.

Una volta scadute le concessioni, inoltre, le regioni, ove non ritengano sussistere un prevalente interesse pubblico ad un diverso uso delle acque, tale da determinare il venir meno dell'interesse al mantenimento della derivazione a uso produttivo (es., per uso idropotabile o irriguo) possono assegnare le concessioni a operatori economici, individuati attraverso l'espletamento di gare con procedure ad evidenza pubblica; oppure a società a capitale misto pubblico privato, nelle quali il socio privato viene scelto attraverso l'espletamento di gare c.d. a doppio oggetto; o, ancora, mediante le forme di partenariato pubblico-privato disciplinate dal D.Lgs. n. 50/2016.

La definizione delle modalità e dei criteri da seguire nelle procedure di assegnazione delle concessioni di grandi derivazioni d'acqua a scopo idroelettrico (es. criteri di ammissione operatori, requisiti capacità tecnico professionale, criteri per la valutazione proposte progettuali, ecc...) è stata, invece, riservata alla competenza legislativa regionale (con termine scaduto al 31 ottobre 2020 dall'articolo 125-bis del D.L. n. 18/2020), nel rispetto dei principi fondamentali e dei requisiti minimi stabiliti dal decreto.

L'elemento innovativo, inoltre, è rappresentato dalla revisione dei termini di durata delle nuove concessioni, che risultano ora compresi tra 20 e 40 anni, con facoltà, tuttavia, di incrementare ulteriormente il termine massimo sino a ulteriori 10 anni (per complessivi 50 anni, quindi), in relazione alla complessità della proposta progettuale presentata e all'importo dell'investimento, e fatti salvi gli obblighi o le limitazioni gestionali, ivi compresa la possibilità di utilizzare l'acqua invasata per scopi idroelettrici per fronteggiare situazioni di crisi idrica o per la laminazione delle piene.

Innovazione interessante è, poi, quella rappresentata dalla previsione di obiettivi minimi da conseguire nell'esercizio della concessione in termini di miglioramento e risanamento ambientale del bacino idrografico di pertinenza, in coerenza con gli strumenti di pianificazione a scala di distretto idrografico, in attuazione della Direttiva 2000/60/UE.

A tal fine, l'ente condente è tenuto a individuare obbligatoriamente una quota degli introiti derivanti dall'assegnazione, da destinare al finanziamento delle misure dei Piani di gestione distrettuali o dei piani di tutela, finalizzate alla protezione e al ripristino ambientale dei corpi idrici interessati dalla derivazione, nonché misure di compensazione ambientale e territoriale, anche a carattere finanziario, da destinarsi ai territori dei comuni interessati dalla presenza delle opere e della derivazione compresi tra i punti di presa e di restituzione delle acque garantendo l'equilibrio economico finanziario del progetto di concessione.

La selezione delle proposte progettuali presentate dovrà poi essere effettuata nell'ambito di un procedimento unico, da svolgersi secondo lo schema della conferenza di servizi ex art. 14 L. n. 241/1990, che tiene luogo della verifica o valutazione di impatto ambientale, della valutazione di incidenza nei confronti dei siti di importanza comunitaria interessati, nonché dell'autorizzazione paesaggistica e di

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

ogni altro atto di assenso, concessione, permesso, licenza o autorizzazione, previsto dalla normativa nazionale, regionale o locale.

Da ultimo, la nuova disciplina stabilisce che le procedure di assegnazione delle concessioni di grandi derivazioni idroelettriche debbano essere avviate entro due anni dall'entrata in vigore della legge regionale, prevedendo, in caso di inerzia, l'esercizio di poteri sostitutivi da parte dello Stato.

Altra previsione qualificante della novella è, poi, rappresentato dalla disciplina del canone concessorio dovuto dal concessionario.

Quest'ultimo è tenuto a corrispondere semestralmente alle regioni un corrispettivo, stabilito con legge regionale, sentita l'ARERA, articolato in una componente fissa, legata alla potenza nominale media di concessione, e in una componente variabile, calcolata come percentuale dei ricavi normalizzati, sulla base del rapporto fra la produzione dell'impianto, al netto dell'energia fornita alla regione, ed il prezzo zonale dell'energia elettrica.

Inoltre, è prevista la possibilità per la legge regionale di prevedere l'obbligo per i concessionari di fornire gratuitamente alle stesse regioni, 220 kWh per ogni kW di potenza nominale media di concessione, da destinarsi per almeno il 50% a servizi pubblici e categorie di utenti dei territori provinciali interessati dalle derivazioni.

È poi rimessa all'emanando decreto del Ministro dello sviluppo economico, sentita l'ARERA e previo parere della Conferenza Stato-Regioni, la determinazione del valore minimo della componente fissa del canone e del valore minimo del canone aggiuntivo.

Dalla lettura della novella, dunque, emerge, innanzitutto, la chiara volontà di garantire una piena attuazione al principio di concorrenza, stabilendo l'obbligo per le regioni di procedere all'assegnazione delle concessioni scadute, secondo procedure di evidenza pubblica conformi al diritto europeo, entro e non oltre 2 anni dall'entrata in vigore della norma, con la previsione di penetranti poteri sostitutivi dell'amministrazione statale in caso di inerzia delle regioni.

Rispetto tale condivisibile approccio, tuttavia, appare censurabile la scelta di estendere la durata delle concessioni sino a un massimo di 50 anni, in luogo dei precedenti 30 anni.

La criticità di una simile scelta, come già evidenziato, risiede essenzialmente nel fatto che il vincolo concessorio impedisce di rivalutare la destinazione delle acque all'uso produttivo, atteso che, a seguito dei cambiamenti climatici, la cui rapidità aumenta di decennio in decennio (se non di anno in anno), non può ragionevolmente prevedersi quali saranno le esigenze di tutela della risorsa idrica da qui a 50 anni. In sostanza, i mutamenti climatici e la conseguente scarsità della risorsa avrebbero consigliato di optare per scadenze meno distanti, onde permettere di rivalutare, al termine della concessione, l'opportunità di mantenere la destinazione a uso produttivo delle acque, in luogo di altri usi più vantaggiosi per le esigenze fondamentali della collettività e/o per la tutela dell'ambiente, soprattutto qualora la scarsità della risorsa dovesse accentuarsi nel tempo a causa dei mutamenti climatici cui stiamo già da tempo assistendo.

In tale ottica, quindi, può essere positivamente valutata la previsione della possibilità di imporre in capo al concessionario il conseguimento di obiettivi di miglioramento e risanamento ambientale del bacino idrografico di pertinenza, nonché l'assolvimento di obblighi di cessione della risorsa idrica in

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

caso di siccità o per la laminazione delle piene.

Sotto questo profilo, si avverte il tentativo di cercare un punto di equilibrio fra contrapposte esigenze, vale a dire, da un lato, la tutela degli interessi degli investitori, che logicamente pretendono garanzie in ordine al recupero dei costi di investimento, che presuppone la stabilità del provvedimento concessorio per un determinato periodo temporale, la cui estensione dovrà essere, quindi, proporzionata all'entità dell'impegno economico assunto, e, dall'altro, la protezione della risorsa idrica in quanto tale e in quanto espressione dell'ecosistema di riferimento, che, per quanto già chiarito, porterebbe a prediligere l'assunzione di vincoli concessori di estensione temporale più limitata.

In quest'opera di bilanciamento di contrapposti interessi sembra oggi prevalere, nella disciplina normativa illustrata, l'interesse economico alla massimizzazione dei corrispettivi derivanti dal canone concessorio, rispetto alle considerazioni di carattere ambientale.

È pur vero, che la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili costituisce, di per sé, un fattore idoneo a determinare effetti vantaggiosi per l'ambiente, rispetto alle tradizionali fonti di produzione energetica, ragion per cui i potenziali effetti sfavorevoli connessi allo sfruttamento della risorsa sull'habitat naturale di riferimento risultano in parte compensati, su scala globale, dalla riduzione dell'uso di combustibili fossili.

Inoltre, va segnalata la previsione di misure economiche a carattere "compensativo", rappresentate dalla possibile destinazione, a titolo gratuito, di una quota dell'elettricità prodotta a favore delle utenze site nel territorio regionale di riferimento (come avviene già per il calore prodotto dai termovalorizzatori di rifiuti).

In linea generale, è evidente la volontà di ridare slancio a un settore caratterizzato, per troppi anni, da un regime sostanzialmente monopolistico e, come tale, avulso dalle logiche della concorrenza nel mercato e dai conseguenti benefici in termini di efficientamento delle gestioni.

Merita segnalare che taluni importanti rilievi sono stati espressi anche dall'Autorità garante della concorrenza e del mercato, che, in data 3 settembre 2020, ha inviato un parere al Parlamento, Governo e Conferenza delle regioni (Parere n. AS1697), nel quale ha espresso le proprie perplessità in ordine alla durata delle concessioni, nonché in ordine alla frammentazione normativa derivante dall'adozione di discipline regionali potenzialmente disomogenee, che finirebbe per innalzare i costi di partecipazione alle gare, determinando un'alterazione del contesto concorrenziale, in cui a venir penalizzati sarebbe soprattutto gli operatori di minori dimensioni.

Inoltre, rilevanti perplessità sono state espresse anche con riferimento alla individuazione di modalità di selezione del concessionario diverse dall'ordinaria procedura a evidenza pubblica, che secondo l'Autorità dovrebbe essere privilegiata rispetto alla gara a doppio oggetto o ad altre forme di partenariato pubblico/privato, ex art. 179 del D.Lgs. n. 50/2016.

5. La legge regionale adottata dall'Emilia-Romagna in attuazione del D.L. n. 135/2018.

Fra le leggi regionali attuative della novella, giova richiamare la L.R. 16 dicembre 2020, n. 9, con al quale la Regione Emilia-Romagna ha disciplinato le modalità di svolgimento delle procedure di evidenza pubblica per l'assegnazione delle concessioni di grandi derivazioni idroelettriche.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

L'art. 6 stabilisce, in via preliminare, che i procedimenti per l'assegnazione delle concessioni di grandi derivazioni idroelettriche, aventi scadenza successiva alla data di entrata in vigore della medesima legge, sono avviati almeno due anni prima della scadenza, in modo tale da addivenire all'individuazione del nuovo concessionario subentrante in tempo utile per il termine della concessione. Ove, tuttavia, ciò non dovesse avvenire, è prevista, in via automatica, l'operatività della c.d. proroga tecnica, mediante la quale i titolari delle concessioni in scadenza sono tenuti a proseguire l'esercizio della concessione anche oltre la scadenza della stessa, "*per il tempo strettamente necessario al completamento del procedimento di assegnazione, fermo restando il pagamento del canone, compreso quello aggiuntivo*".

Ai sensi del successivo art. 7, alla scadenza della concessione in essere l'amministrazione regionale è tenuta a effettuare una valutazione preliminare, tendente a verificare "*se sussiste un prevalente interesse pubblico a un diverso uso delle acque, incompatibile in tutto o in parte con il mantenimento dell'uso per la produzione di energia idroelettrica, anche ai fini delle successive valutazioni ambientali*". Tale verifica dovrà essere condotta tenendo conto "*delle previsioni contenute nella pianificazione e programmazione territoriale, ambientale ed energetica, statale e regionale, e, in particolare, nel Piano di gestione del distretto idrografico del fiume Po, nel Piano di tutela delle acque regionale, nel Piano di gestione del rischio alluvioni e nel Piano energetico regionale, con specifico riferimento agli obiettivi di copertura dei consumi finali lordi di energia da fonti energetiche rinnovabili, tenendo conto dell'emergenza idrica anche in coerenza con il D.Lgs. n. 152 del 2006*".

In modo del tutto condivisibile, dunque, il legislatore regionale si è preoccupato di definire in modo puntuale quale ordine di valutazioni sia chiamato a svolgere, in vista della scadenza di una concessione, al fine di stabilire l'opportunità o meno di mantenere la derivazione e il conseguente uso produttivo della risorsa oggetto di prelievo, specificando la necessità di verificare, in via preliminare, la prevalenza dell'interesse pubblico a un uso alternativo delle acque e individuando i parametri cui ancorare tale valutazione, rappresentati dai fondamentali strumenti di pianificazione della risorsa idrica, nonché dal piano energetico regionale.

Trattasi, di tutta evidenza, di una valutazione dai contenuti ampiamente discrezionali, che si sostanzia nel raffronto e nel contemperamento di una pluralità di interessi potenzialmente confliggenti fra loro, fra i quali emergono la protezione dell'habitat naturale e la tutela del suolo dai fenomeni alluvionali, la conservazione della risorsa idrica, in un quadro di crescente scarsità della medesima, a fronte dell'interesse nazionale alla promozione della produzione energetica da fonti rinnovabili.

In questa prospettiva, il mantenimento della derivazione potrà essere disposto solo allorquando, all'esito della valutazione ponderativa, la destinazione della risorsa idrica a fini produttivi risulti comunque compatibile con le esigenze di tutela dei suindicati interessi.

Alla luce della previsione normativa in rassegna, dunque, la tutela degli interessi di carattere ambientale e di protezione delle acque appare uscire rafforzata, in quanto la permanenza del regime concessorio non potrà essere disposta ove sia accertato che sussistano possibilità di un uso alternativo delle acque (es., idropotabile) che risulti più confacente all'interesse pubblico.

Quanto alle modalità di selezione delle offerte, l'art. 8 prevede l'applicazione del criterio dell'offerta

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

economicamente più vantaggiosa, da apprezzarsi sulla base della qualità dell'offerta tecnica e dell'entità dell'offerta economica relativa all'incremento del canone posto a base di gara, fermo restando che a quest'ultima che non potrà comunque essere assegnato un punteggio superiore al 20% di quello complessivo.

Gli elementi da valorizzare ai fini della valutazione dell'offerta tecnica dovranno essere rappresentati dall'esperienza di gestione diretta degli impianti idroelettrici; l'esperienza e la professionalità del personale impiegato nella gestione; le modalità organizzative e gli standard assicurati per l'esecuzione delle manutenzioni ordinarie e straordinarie necessarie per assicurare la sicurezza e l'efficienza dell'impianto; gli interventi e gli investimenti per l'efficientamento della capacità produttiva degli impianti, ulteriori rispetto a quelli minimi fissati nel bando di gara, con riferimento all'aumento dell'energia prodotta o alla potenza degli impianti, o tramite l'aumento del grado tecnologico e di automazione dell'impianto idroelettrico o di sue parti; l'uso plurimo delle acque, affinché la risorsa possa essere utilizzata a fini potabili e irrigui e per fronteggiare situazioni di emergenza idrica in coerenza con il d.lgs. n. 152 del 2006; le misure e gli interventi di miglioramento e risanamento ambientale e paesaggistico del bacino idrografico di pertinenza; l'attività di gestione dell'invaso, con particolare riferimento a elementi quali l'individuazione e sviluppo delle modalità operative idonee a minimizzare gli impatti sull'ecosistema e sull'assetto morfologico e fisico del corso d'acqua, misure di carattere sociale finalizzate allo sviluppo formativo e occupazionale nei territori interessati, con particolare attenzione per i giovani, interventi di miglioramento della sicurezza delle infrastrutture idriche e delle dighe, investimenti complessivi che il proponente si impegna a sostenere per la durata della concessione, possesso di certificazioni e attestazioni in materia ambientale, di sicurezza e salute dei lavoratori, e di qualità, nonché le modalità di tutela della salute e della sicurezza degli stessi lavoratori, con particolare riferimento alla gestione di impianti idroelettrici.

In conformità con le previsioni della normativa nazionale, l'assegnazione delle concessioni di grande derivazione a scopo idroelettrico avviene nell'ambito di un procedimento unico, nel rispetto in particolare dei principi di concorrenza, economicità, semplificazione e accelerazione dell'azione amministrativa, efficacia, imparzialità, parità di trattamento, trasparenza, proporzionalità, pubblicità, tutela dell'ambiente ed efficienza energetica.

Il procedimento in questione è volto alla valutazione delle proposte progettuali gestionali, al quale partecipano tutte le amministrazioni competenti a rilasciare autorizzazioni, concessioni, permessi, licenze, pareri, nulla osta e assensi comunque denominati previsti dalla normativa statale, regionale e locale, e che si articola nelle seguenti fasi (v. art. 11): a) approvazione del bando di gara per la selezione del concessionario; b) pubblicazione del bando per la selezione del concessionario nel Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna; c) presentazione delle istanze; d) verifica di ammissibilità e di completezza documentale delle istanze; e) convocazione di una conferenza di servizi per la selezione della migliore proposta sulla base delle disposizioni e dei criteri previsti dal bando; f) pubblicizzazione del progetto selezionato e consultazioni secondo le modalità indicate all'articolo 25; g) eventuali integrazioni; h) convocazione di una conferenza di servizi per l'assegnazione e l'autorizzazione del progetto; i) adozione del provvedimento unico di concessione.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tale ultimo atto è costituito dalla determinazione motivata di conclusione della conferenza di servizi, che assegna la concessione e costituisce il provvedimento unico di concessione, comprendente il provvedimento di valutazione di impatto ambientale e tutti i titoli abilitativi rilasciati per l'esercizio dell'impianto e per la realizzazione degli interventi, e delle opere previste nel progetto approvato e costituisce, ove occorre, variante agli strumenti di pianificazione urbanistica ai sensi dell'articolo 12 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387.

Ai sensi dell'art. 12 il procedimento unico "*è avviato con l'approvazione del bando di cui all'articolo 11, comma 1, lettera a), ed è concluso con l'adozione del provvedimento unico di concessione di cui all'articolo 11, comma 1, lett. i), entro il termine di 18 mesi*".

Di particolare interesse, poi, sono gli articoli da 15 a 18, che disciplinano, sotto vari aspetti, gli impegni che assume il concessionario in forza del rapporto concessorio.

In particolare, l'art. 15 prevede che "*Il bando di gara definisce specifici obblighi e limitazioni gestionali, ai quali devono essere soggetti i progetti di utilizzo delle opere e delle acque ai fini dell'ammissibilità*", tra i quali giova ricordare la "*previsione dell'utilizzo delle acque invasate per usi diversi, quali quello potabile e quello irriguo previsti dalla pianificazione in materia di acqua, e per fronteggiare situazioni di emergenza idrica anche in coerenza con il d.lgs. n. 152 del 2006*" e gli "*obblighi riguardanti la messa a disposizione di acque, in presenza di situazioni straordinarie, quali la prevenzione di calamità e degli incendi ovvero necessità di protezione civile*".

Di rilievo è anche la previsione dell'art. 16, riguardante i miglioramenti energetici che il concorrente si impegna a conseguire, mediante interventi di manutenzione straordinaria e modifica degli impianti, volti a garantire "*l'incremento della producibilità e dell'efficienza d'impianto, a parità di risorsa idrica utilizzata, attraverso interventi di ammodernamento del complesso degli impianti di generazione, trasformazione e connessione elet*trica" e "*l'incremento della potenza nominale dell'impianto mediante interventi di ripotenziamento*".

Sotto il profilo della tutela ambientale, l'art. 17 stabilisce l'obbligo per i concorrenti di individuare misure di miglioramento e risanamento ambientale, connesse "*alla gestione dei livelli di invaso e alle modalità di rilascio delle portate nei corpi idrici a valle delle opere di captazione e di derivazione d'acqua, in relazione agli effetti sulle biocenosi lacuali e fluviali di valle*", nonché "*alla mitigazione delle alterazioni all'ecosistema, alla biodiversità e al paesaggio interessati o impattati dalla gestione e dalle opere a servizio degli impianti afferenti alla concessione*".

Parimenti, l'art. 18 prevede l'impegno a porre in essere misure di compensazione ambientale e territoriale, riguardanti "*l'attuazione di interventi a favore dell'ecosistema e delle caratteristiche idromorfologiche del bacino idrografico interessato, nonché a favore della tutela dell'ambiente e dei siti naturali*"; "*la disponibilità di quantitativi di risorsa idrica concessa da destinarsi ai fini ambientali o per le esigenze del territorio di valle quali l'uso potabile o irriguo nel rispetto della disciplina in materia di deflusso ecologico*"; "*il riassetto territoriale e viabilistico, nonché il paesaggio*"; "*il risparmio e l'efficienza energetica*"; "*la valorizzazione turistica e infrastrutturale e dei servizi dei territori interessati dalla derivazione*".

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Dalla lettura delle disposizioni testé riportate, dunque, emerge chiaramente la volontà del legislatore regionale di valorizzare i profili ambientali, mediante misure di mitigazione e valorizzazione dell'ecosistema di riferimento e la destinazione della risorsa a finalità di pubblico interesse, in modo da controbilanciare l'uso privato del bene naturale e la sua funzione produttiva.

6. Le concessioni di media e piccola derivazione per uso idroelettrico.

Come già segnalato, il mercato delle grandi derivazioni è da tempo saturo e, per la gran parte, ancora soggetto a regime monopolistico, essendo l'86% delle concessioni di titolarità di Enel s.p.a., con scadenza fissata al 2029.

Nel breve e medio periodo, dunque, le prospettive di sviluppo del settore sono concentrate sugli impianti di generazione di taglia medio-piccola, suscettibili di determinare un impatto più contenuto sul sistema idrico superficiale, non essendo necessaria la creazione di invasi o di opere di sbarramento di particolare rilevanza.

Per l'effetto, la diffusione di questa tipologia di derivazioni appare senz'altro maggiormente compatibile con la tutela dell'ecosistema di riferimento e con la protezione della risorsa da uno sfruttamento suscettibile di limitarne il godimento da parte della collettività.

Più in dettaglio, la normativa distingue fra piccole derivazioni (per potenze fino a 220 kW) e medie derivazioni (per potenze tra 220 kW ed inferiori a 3000 kW).

Ai sensi dell'art. 7 del R.D. n. 1775/1933, il rilascio della concessione per piccola o media derivazione presuppone comunque la preventiva verifica, da parte dell'autorità amministrativa regionale, della "*compatibilità della utilizzazione con le previsioni del piano di tutela*" e "*ai fini del controllo sull'equilibrio del bilancio idrico o idrologico*", atteso che non tutte le utilizzazioni, ancorché di modesta rilevanza, potrebbero risultare coerenti con le caratteristiche del sistema fluviale interessato dal prelievo.

In caso di una pluralità di domande concorrenti, l'art. 9 prevede che sia "*preferita quella che da sola, o in connessione con altre utenze concesse o richieste, presenta la più razionale utilizzazione delle risorse idriche in relazione ai seguenti criteri: a) l'attuale livello di soddisfacimento delle esigenze essenziali dei concorrenti anche da parte dei servizi pubblici di acquedotto o di irrigazione e la prioritaria destinazione delle risorse qualificate all'uso potabile; b) le effettive possibilità di migliore utilizzo delle fonti in relazione all'uso; c) le caratteristiche quantitative e qualitative del corpo idrico oggetto di prelievo*", fermo restando che, "*a parità di tali condizioni è prescelta quella che offra maggiori ed accertate garanzie tecnico-finanziarie ed economiche d'immediata esecuzione ed utilizzazione*", mentre, *"In mancanza di altre condizioni di preferenza, vale il criterio della priorità di presentazione*".

La durata delle concessioni di piccola e media derivazione è fissata in trent'anni, suscettibili di rinnovo. Orbene, se un siffatto termine può risultare giustificabile nel caso delle grandi derivazioni, ove, come visto, si deve garantire al concessionario il recupero dei costi di investimento, altrettanto non può dirsi per le piccole e medie derivazioni, rispetto alle quali l'incidenza del capitale investito è nettamente inferiore, se non proprio trascurabile.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Il Tribunale Superiore delle Acque Pubbliche, tuttavia, ha recentemente ribadito che la disposizione del Regio Decreto testé richiamata "*deve essere disapplicata nella parte in cui consente il rinnovo di contratto di concessione, senza la previa indizione di una procedura, trasparente e conoscibile, che consenta ai terzi che vi hanno interesse di formulare una proposta concorrente*", in applicazione dei principi stabiliti dalla Direttiva Bolkestein del 2006, che impone la contendibilità anche delle concessioni demaniali.

In prospettiva, peraltro, questa tipologia di concessioni potrebbe essere destinata a un sensibile incremento, dando vita a un sistema produttivo per la generazione di energia elettrica capillarmente diffuso sul territorio, in modo da sfruttare la ricchezza di corsi d'acqua che caratterizza il territorio nazionale.

6. Conclusioni.

Il settore delle concessioni idroelettriche si caratterizza, a tutt'oggi, per la sensibile frammentazione della disciplina giuridica di riferimento, che risulta essere il frutto di una serie di stratificazioni normative, non sempre lineari e coerenti, sovente frutto di spinte esogene (*in primis*, quelle derivanti dal diritto comunitario), e che tradisce l'esistenza di una contraddizione di fondo fra le esigenze proprie dello sviluppo economico e della promozione della produzione energetica da fonti rinnovabili, con gli obiettivi di tutela dell'habitat naturale e di protezione della risorsa idrica da uno sfruttamento indiscriminato e incompatibile con le esigenze della collettività.

In questo quadro, sin dagli esordi del nuovo millennio, sotto l'impulso della normativa europea, il legislatore si è prefisso lo scopo di superare il tradizionale assetto monopolistico (o perlomeno oligopolistico) per passare a un modello concorrenziale.

Ciò non di meno, nonostante l'introduzione di regole volte a promuovere la contendibilità delle concessioni di grande derivazione, il sistema è tutt'ora sostanzialmente cristallizzato, in attesa che vengano a scadere la maggior parte delle concessioni detenute da Enel s.p.a., la cui scadenza è stata rinviata al 2029, il che comporta inevitabilmente la tendenziale sottrazione del settore alla concorrenza.

Questa situazione di stallo, cui il recente intervento normativo di cui al D.L. n. 135/2018 ha cercato in parte di porre rimedio, prevedendo l'obbligo per le regioni di procedere entro due anni alla riassegnazione delle concessioni in essere, mediante procedure di evidenza pubblica idonee a garantire un effettivo confronto concorrenziale, finisce così per riverberarsi anche sulla tutela ambientale della risorsa, nella misura in cui la mancata messa a gara delle concessioni impedisce anche la valutazione della persistenza delle condizioni di compatibilità della derivazione con i preminenti interessi della collettività e con la tutela della risorsa idrica e dell'ambiente naturale in cui è inserita.

Soltanto attraverso la riaffermazione del fondamentale principio di temporaneità della concessione e della conseguente rivalutazione periodica delle condizioni per la sua persistenza risulta possibile garantire il corretto bilanciamento fra le esigenze della produzione energetica e quelle di tutela della risorsa, quale bene naturale meritevole di salvaguardia.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Riferimenti bibliografici.

1. Casalini, D. *Fondamenti per un diritto delle acque dolci*. Torino, 2014, pp. 172 ss.
2. Florenzano, D. *La disciplina dello sfruttamento idroelettrico fra Stato e regioni*. In AA.VV. *L'acqua e il diritto*. Trento, 2011, pp. 378 ss.
3. Boscolo E. *Le politiche idriche nella stagione della scarsità*. Milano, 2012, pp. 463 ss.
4. Pellizzari, S. *La pianificazione della risorsa idrica*. In AA.VV. *L'acqua e il diritto*, cit., pp. 357 ss.
5. Sandulli, M. A. *Le concessioni per le grandi derivazioni di acqua a scopo idroelettrico: evoluzione normativa e questioni aperte sull'uso di una risorsa strategica*. Federalismi.it n. 24/2013.
6. De Foocatis M., Maestroni A. (a cura di), *Dialoghi sul diritto dell'energia. Vol. 1. Le concessioni idroelettriche.* Torino, 2014.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

La consapevolezza e la sensibilizzazione degli occupanti come strumento per l'efficienza energetica, la sostenibilità ambientale e il comfort: il caso di studio ARPA UMBRIA

Maria Giulia Proietti[1*], Elisa Moretti [1], Anna Laura Pisello[1], Andrea Nicolini[1], Agnese Corneli[2] and Luca Proietti[3]

[1] CIRIAF– Università di Perugia, Via G. Duranti 63 (Perugia, Italia)

[2] Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università di Perugia, Via G. Duranti 93 (Perugia, Italia)

[3] ARPA UMBRIA – Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale dell'Umbria, Via Pievaiola 207/B-3 - Loc. S. Sisto - 06132 Perugia

***** maria.proietti@studenti.unipg.it

Abstract: Il settore della Pubblica Amministrazione può assumere un ruolo strategico in materia di efficienza energetica e sostenibilità ambientale, attraverso specifiche politiche energetiche per l'attuazione di interventi e nella gestione ed uso delle risorse, nella consapevolezza che azioni di successo possono fungere da volano per il settore privato, indirizzando cittadini ed imprese. In tale contesto, negli ultimi anni sta emergendo il ruolo che il comportamento degli occupanti riveste nell'ambito del consumo energetico negli edifici e dell'impatto sull'ambiente. Il lavoro presenta i primi risultati di uno studio finalizzato alla ricerca di soluzioni innovative per il miglioramento del comfort indoor, l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale relativamente agli immobili sedi di ARPA UMBRIA, con particolare riferimento al ruolo degli occupanti. Al fine di evidenziare l'impatto degli occupanti sui consumi energetici, sull'uso delle risorse e sulla produzione dei rifiuti, sono stati elaborati degli appositi questionari costituiti da domande aperte e chiuse relative a: caratteristiche del soggetto (età, sesso, titolo di studio, ecc.) profili di occupazione e comportamenti (anche in relazione alla produzione di rifiuti e alla mobilità verso il luogo di lavoro), sensazioni rispetto al luogo di lavoro, attitudini, ecc.. Contestualmente è stato effettuato il monitoraggio delle condizioni termoigrometriche e del comfort in alcuni locali presi come riferimento. I risultati pongono le basi per l'individuazione di strategie di intervento non convenzionali che prevedono la promozione della consapevolezza degli occupanti e/o l'adozione di strumenti di premialità per favorire comportamenti orientati alla sostenibilità.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Cod_043_pp_431

Keywords: Sostenibilità ambientale, comfort, risparmio energetico, efficienza energetica.

1. Introduzione

La sostenibilità ambientale degli edifici è strettamente connessa al tema dell'efficienza energetica e del comfort microclimatico. Tuttavia, spesso accade che il soddisfacimento di esigenze legate al benessere visivo, termico, acustico e di qualità dell'aria vada ad inficiare negativamente sulla domanda energetica per la climatizzazione e l'illuminazione artificiale. È quindi indispensabile trovare un compromesso tra risparmio energetico e qualità dell'ambiente interno. Il monitoraggio ambientale indoor, unito ad un'indagine sui comportamenti e la gestione degli spazi da parte degli occupanti, possono rappresentare dunque un valido strumento nell'individuazione di criticità nei consumi energetici legati al sistema edificio-impianto e inoltre possono essere utili per una preliminare valutazione degli interventi migliorativi [1-2]. Questo tipo di approccio metodologico può quindi essere impiegato a supporto della diagnosi energetica, della gestione efficiente degli impianti, dell'informazione, sensibilizzazione e coinvolgimento degli utenti in merito al risparmio energetico e alla sostenibilità ambientale; temi di grande attualità che riguardano non soltanto il settore terziario ma anche quello residenziale. Sulla base di tali premesse si inserisce il presente lavoro che ha per oggetto l'efficientamento energetico e lo studio delle condizioni microclimatiche interne della sede di Arpa UMBRIA a Perugia. Nello specifico, in questa prima fase, è stato condotto un monitoraggio invernale dei parametri termoigrometrici in diversi locali dell'edificio, al fine di caratterizzare il microclima interno e di valutare il comfort degli occupanti mediante lo studio degli indici del benessere. Le normative tecniche forniscono infatti indicazioni precise sulle misure da effettuare e sulla loro elaborazione in funzione del tipo di edificio, per raggiungere condizioni di benessere termoigrometrico e di qualità dell'aria indoor, che rappresentano un target fondamentale di cui tener conto nell'ambito di una riqualificazione energetica e che indirizzano gli interventi in fase di progetto. Tale studio, d'integrazione alla diagnosi energetica, stabilisce quindi una baseline per la riqualificazione energetica dell'edificio oggetto di analisi, dove allo stato attuale il microclima interno è disomogeneo, a causa di un involucro non performante e di un impianto non perfettamente rispondente alle esigenze sia nella stagione invernale che in quella estiva.

2. Descrizione del caso di studio: la sede di Arpa UMBRIA a Perugia

L'edificio oggetto di studio, sede operativa dell'Arpa di Perugia, è situato in località San Sisto (Perugia), in una zona industriale non soggetta ad alcun tipo di vincolo. L'edificio è caratterizzato da due parti, costruite in anni diversi e pertanto caratterizzate da differenti tipologie costruttive e impiantistiche: la parte più grande degli anni '70 e l'ampliamento costruito nel 2015 (Figura 1). Nel suo complesso l'edificio ospita all'interno uffici e laboratori e si sviluppa su 5 livelli, di cui uno seminterrato. La struttura in elevazione della parte più "vecchia" è in acciaio, con ampie superfici vetrate su tutti e quattro i lati dell'edificio (diverse tra loro in termini di stratigrafia dei vetri); la parte più recente invece

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

è in cemento armato con aperture finestrate più performanti (doppio vetro con trattamento basso-emissivo) dotate di schermature solari esterne regolabili. La copertura piana della parte più vecchia non è isolata, mentre quella della parte più recente ospita un tetto giardino.

Figura 1: Sede Arpa UMBRIA di Perugia (parte originaria a sinistra e particolare dell'ampliamento a destra).

L'impianto termico della parte più vecchia è costituito da 2 generatori di calore tradizionali alimentati a gas metano, ubicati in apposita centrale termica al piano seminterrato, adibiti al riscaldamento e alla produzione di acqua calda sanitaria; ai fini della climatizzazione estiva sono invece presenti 2 pompe di calore installate esternamente al piano terra e numerosi split ad espansione diretta ubicati principalmente negli uffici del terzo piano e in alcuni laboratori del primo piano (unico piano in cui è presente la ventilazione meccanica). I terminali di immissione sono caratterizzati da ventilconvettori la cui regolazione è gestita dagli occupanti. Per quanto riguarda la parte più nuova della struttura, sono installate delle unità di trattamento dell'aria e la termoregolazione è pilotata dalla temperatura rilevata nei singoli ambienti (Figura 2). È inoltre presente un impianto fotovoltaico la cui potenza è di circa 65 kWp, installato su pensiline esterne.

Figura 2: Locale della parte vecchia (sinistra) e locale della parte nuova (destra).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. Monitoraggio microclimatico invernale dell'edificio

La percezione di comfort di un ambiente da parte degli occupanti dipende da vari aspetti connessi tra loro, alcuni legati alla struttura stessa, altri alla persona e al tipo di attività che svolge all'interno del locale; da ciò si evince che il concetto di benessere indoor è molto soggettivo. Tuttavia è possibile comunque valutarlo attraverso la misura di una serie di parametri ambientali e l'elaborazione di specifici indicatori che sono funzione di tali parametri misurati (Fanger 1970). Questi indici sono basati sulla teoria del bilancio termico del corpo umano e ad essi si rifanno le principali normative tecniche in materia quali la UNI 7730, UNI 15251. I principali modelli di calcolo per la valutazione del comfort termico sono: modello di Fanger, da usarsi in presenza di un sistema di condizionamento attivo (come nel presente caso) e il modello di comfort detto "adattivo", dedicato invece agli edifici sprovvisti di un impianto di condizionamento meccanico dove si considera quindi la capacità di adattamento del corpo umano alle condizioni termoigrometriche dell'ambiente [1-4].

La sensazione termica percepita dall'uomo dipende dalla quantità di energia che esso scambia con l'ambiente circostante, per questo è fondamentale valutare, oltre che l'attività fisica e l'abbigliamento del soggetto, anche altre 4 grandezze fisiche quali: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria e umidità relativa dell'aria.

Dalla misura o dal calcolo di questi parametri, è possibile quindi prevedere la sensazione termica del corpo ed esprimerla mediante gli indicatori: PMV e PPD. Il primo, Predicted Mean Vote (PMV), fornisce una stima della sensazione termica espressa da un certo numero di persone esposte allo stesso ambiente. Il secondo, Percentage Predicted Dissatisfied (PPD), esprime invece il disagio termico percepito, stimando la percentuale di utenti che manifestano insoddisfazione riguardo all'ambiente. Chiaramente i due indici sono legati tra loro, infatti il PPD è funzione del PMV che a sua volta dipende dalle grandezze termoigrometriche che caratterizzano l'ambiente, dal soggetto e dall'attività che esso svolge. In questo lavoro, il monitoraggio del microclima interno ha riguardato la sola stagione invernale, in particolare è stata presa in esame la settimana dal 15 al 22 febbraio 2021: tale periodo si può infatti ritenere rappresentativo della stagione invernale e contempla sia giorni con cielo sereno che giornate con cielo parzialmente coperto. Lo stesso tipo di indagine, negli stessi locali, verrà condotta poi anche nella stagione estiva per avere un quadro completo dello stato attuale.

3.1. Scelta dei locali da monitorare e grandezze misurate

In base all'orientamento dell'edificio sono stati scelti dei locali da monitorare che sono poi stati mantenuti per ogni piano (eccetto il piano seminterrato che è rimasto escluso dall'analisi in quanto ospita perlopiù magazzini e spogliatoi), in modo da valutare contemporaneamente i parametri termoigrometrici lungo la verticale dell'edificio, al fine di capire se ci sono differenze sostanziali tra un piano e l'altro e tra diversi punti di uno stesso piano.

In Figura 3 è riportata la pianta dell'edificio, in cui sono evidenziati i locali oggetto di monitoraggio: la scelta di questi ambienti, come già detto, è stata poi mantenuta, laddove possibile, negli altri piani. In totale gli ambienti analizzati sono 11.

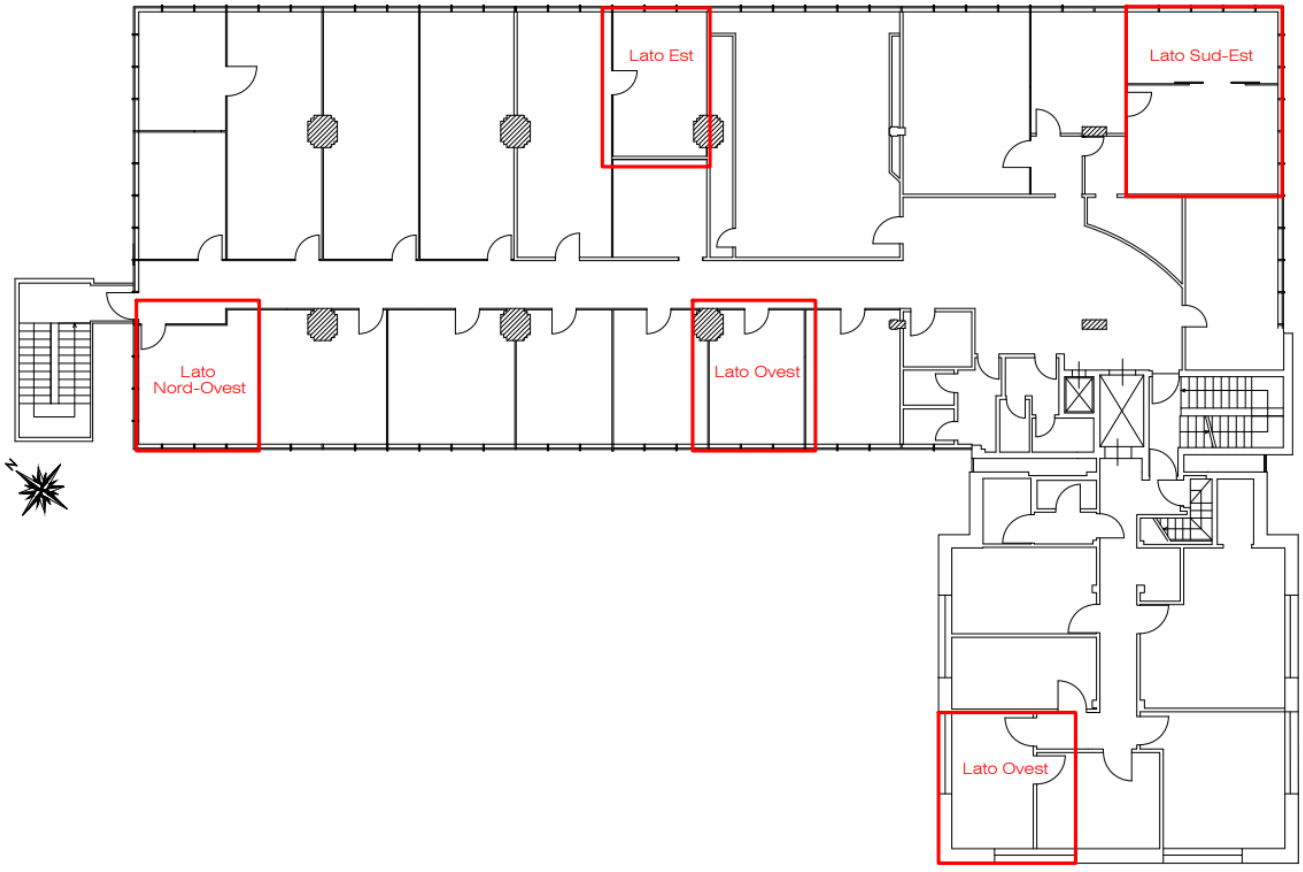
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Le grandezze misurate sono la temperatura e l'umidità relativa dell'aria. Inoltre, in due ambienti specifici, uno della parte vecchia e uno della parte nuova dell'edificio, è stato condotto un monitoraggio più approfondito, misurando, oltre alle due grandezze sopra menzionate, anche la velocità dell'aria, la pressione dell'aria e la temperatura di globotermometro.

È per questi due locali che sono stati quindi calcolati gli indici del benessere di Fanger. In tali ambienti infatti è stato possibile alloggiarvi comodamente la strumentazione più ingombrante e, per valutare l'impatto delle superfici vetrate sui carichi termici della parte vecchia, in uno dei due ambienti è stato inserito anche un sensore di temperatura superficiale posizionato sul vetro.

In questo modo è stato effettuato un confronto tra le due parti dell'edificio; va però precisato che, mentre l'ufficio situato nella parte nuova si può ritenere rappresentativo delle condizioni dei locali degli altri piani, non è del tutto corretto fare la stessa assunzione per l'altro locale, in quanto la parte più vecchia dell'edificio è caratterizzata da superfici vetrate molto ampie e quindi l'esposizione solare gioca un ruolo fondamentale nella valutazione del microclima interno.

Figura 3: Pianta dell'edificio in cui sono evidenziati i locali oggetto di monitoraggio.



In Tabella 1 sono riportate tutte le informazioni relative ai locali monitorati. È stato scelto di monitorare anche le grandezze termoigrometriche esterne (temperatura e umidità relative dell'aria) per analizzare l'influenza che queste hanno sull'ambiente interno.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 1: Locali oggetto di monitoraggio e grandezze misurate.

LOCALE	POSIZIONE NELL'EDIFICIO	ORIENTAMENTO	GARNDEZZE MISURATE
UFFICIO 1	PIANO TERRA - parte vecchia	Lato Ovest	T - UR
UFFICIO 2	PIANO SECONDO - parte vecchia	Lato Ovest	T - UR
UFFICIO 3	PIANO SECONDO - parte vecchia	Lato Sud-Est	T - UR
UFFICIO 4	PIANO TERZO - parte vecchia	Lato Nord-Ovest	T - UR
UFFICIO 5	PIANO TERZO - parte nuova	Lato Ovest	T - UR
UFFICIO 6	PIANO TERZO - parte vecchia	Lato Ovest	T - UR - $T_{radiante}$ - v_{aria} - p_{aria} - T_{sup}
UFFICIO 7	PIANO TERZO - parte vecchia	Lato Est	T - UR
UFFICIO 8	PIANO PRIMO - parte nuova	Lato Ovest	T - UR - $T_{radiante}$ - v_{aria} - p_{aria}
UFFICIO 9	PIANO SECONDO - parte vecchia	Lato Est	T - UR
LAB. RIFIUTI	PIANO PRIMO - parte vecchia	Lato Ovest	T - UR
LAB. TOSSICOLOGIA	PIANO PRIMO - parte vecchia	Lato Sud-Est	T - UR

3.2. Strumentazione impiegata

La strumentazione impiegata consiste in:

- Tinytag TGU4500 per la misura di temperatura e umidità relativa dell'aria interna (Figura 4);
- Tinytag TGP4500 per la misura di temperatura e umidità relativa dell'aria esterna (Figura 5);
- Tinytag TGP4510 con sonda esterna per la misura di temperatura superficiale nell'ufficio 6 (Figura 6);
- Centraline microclima complete di sonda esterna per la misura di temperatura e umidità relativa, globotermometro, sonda a filo caldo per la misura della velocità dell'aria e sonda integrata per la misura della pressione dell'aria, posizionate negli uffici 6 e 8 (Figure 7 e 8).

In ogni locale monitorato è stato lasciato agli occupanti un registro in cui segnare le attività che possono influenzare il microclima interno, come ad esempio fonti di carico dovute a particolari macchinari in funzione, un affollamento diverso dal solito nel locale (presenza di più persone o totale assenza), variazioni nella gestione dell'impianto di riscaldamento (regolazione manuale dei ventilconvettori della parte vecchia, variazione della temperatura di setpoint dei termostati nella parte nuova) e apertura delle finestre. In questo modo, dai dati di monitoraggio, è possibile valutare come e se tali azioni influenzano il microclima nei locali.

Figura 4: TGU4500 per misure di T e UR interne.

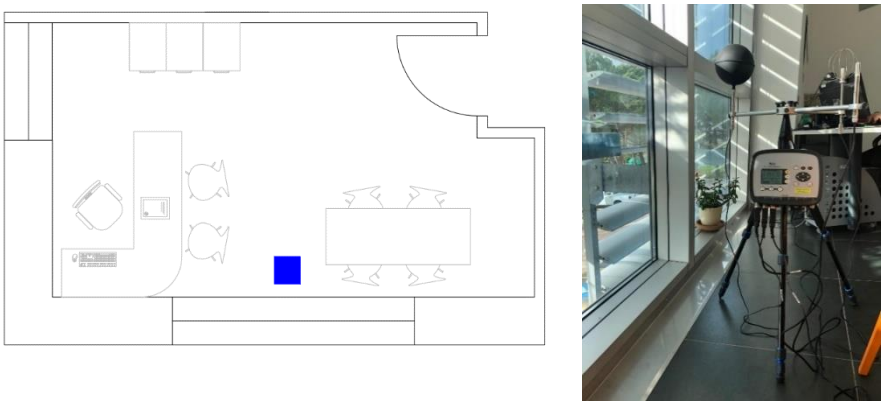
Figura 5: TGP4500 per misure di T e UR

Figura 6: TGP4510 per misure di T superficiale.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 7: Posizionamento della centralina microclima (blu) e del tinytag TGP4510 (rosso) nell'ufficio 6 al piano terzo.

Figura 8: Posizionamento della centralina microclima (blu) nell'ufficio 8 al piano primo.



4. Risultati preliminari

Per semplicità di trattazione, per quanto riguarda il monitoraggio dei parametri termoigrometrici (temperatura e umidità relativa), sono stati riportati soltanto i dati e le relative elaborazioni di alcuni locali, ritenuti più significativi (Tabella 2):

Tabella 2: Caratteristiche dei locali scelti per l'elaborazione dei risultati.

LOCALE	PIANO ED ESPOSIZIONE	SUPERFICIE (m^2)	VOLUME (m^3)	SUP. VETRATA (m^2)	N. OCCUPANTI
Ufficio 1	Terra (p. vecchia) - O	39,7	107,2	3,3	2
Lab. Rifiuti	Primo (p. vecchia) - O	30,8	92,4	18,0	>2
Ufficio 2	Secondo (p. vecchia) - O	17,7	53,1	10,2	1
Ufficio 6	Terzo (p. vecchia) - O	15,4	46,2	12,6	1
Ufficio 5	Terzo (p. nuova) - O	17,2	51,6	10,2	1
Ufficio 3	Secondo (p. vecchia) - S/E	19,7	59,1	27,0	2

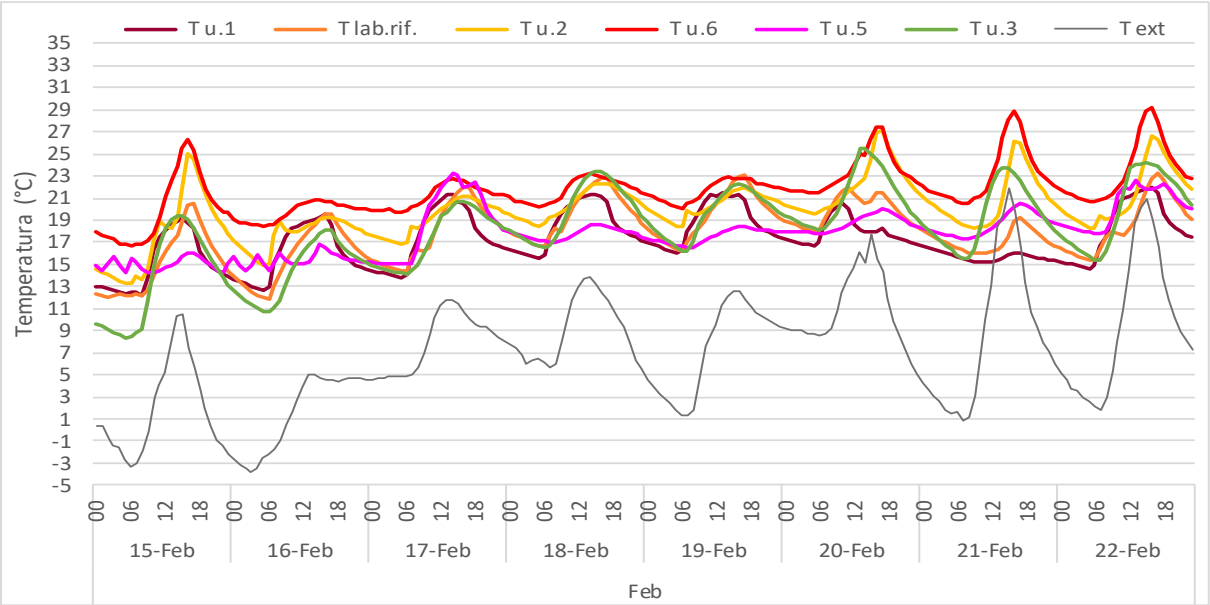
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.1. Risultati ottenuti e criticità emerse

Nelle Figure 9 e 10 sono riportati gli andamenti orari di temperatura e umidità relativa interne ed esterne, mentre le Tabelle 3 e 4 ne riportano i valori medi giornalieri. Il lato Ovest è stata l'unica parte dell'edificio in cui sono stati monitorati almeno un locale per piano, compresa anche la parte nuova che è rappresentata dall'ufficio 5 situato al piano terzo.

Come si può osservare anche dalla Tabella 3, le temperature dei locali situati sulla parte vecchia ai piani 2 e 3 sono quelli con temperature più alte (leggermente più alte per l'ufficio 6 che subisce l'influenza della copertura), aspetto ben evidente anche dal grafico in Figura 9.

Figura 9: Andamento orario della temperatura.



Gli andamenti delle temperature degli uffici 6 e 2 sono molto simili, con valori che raggiungono quasi 30 °C nelle ore pomeridiane dei giorni più caldi della settimana. Essendo disposti sul lato Ovest, infatti, questi locali sono soggetti ad una maggiore esposizione ai raggi solari nel pomeriggio; viceversa accade nel lato Est, in cui la maggiore esposizione si ha la mattina, come accade infatti nell'ufficio 3. È importante evidenziare un altro aspetto relativo agli uffici 2 e 6: essendo questi locali uguali tra loro per dimensioni e destinazione d'uso (uffici), gli occupanti sono soliti avere le stesse abitudini per quanto riguarda la regolazione dei ventilconvettori, che molto spesso spengono, e l'apertura delle finestre. Per quanto riguarda l'ufficio 1 (piano terra lato Ovest) e il laboratorio rifiuti (piano primo lato Ovest), l'andamento delle temperature è decisamente diverso: i valori massimi raggiungono 21 °C, mentre la notte si attestano intorno a 17 °C, così come nel fine settimana (cosa che non accade nei locali dei piani superiori dove non c'è distinzione tra giorni festivi e giorni feriali pur essendo l'impianto di riscaldamento spento).

Questo perché nel caso del laboratorio, per praticità la porta rimane quasi sempre aperta e quindi la temperatura si uniforma a quella dell'ambiente circostante; mentre nel caso dell'ufficio 1, questo

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

rimane più freddo rispetto agli altri perché è molto diverso sia dimensionalmente (più ampio) e sia strutturalmente, dato che l'involucro del piano terra è costituito da pareti in calcestruzzo con aperture finestrate di dimensioni ridotte.

Nell'ufficio 5, invece, che è l'unico situato nella parte nuova, le temperature massime si mantengono sempre intorno a 19/20 °C, abbassandosi di circa 3 °C durante la notte; ciò è dovuto anche ad un impianto termico diverso, in cui la temperatura è regolata con dei termostati presenti in ogni ufficio impostati con dei valori limite, e ad un involucro migliore rispetto a quello della parte vecchia.

Tabella 3: Valori medi giornalieri della temperatura.

		15/02	16/02	17/02	18/02	19/02	20/02	21/02	22/02
Ufficio 1	**T °C**	*15,1*	*16,0*	*17,5*	*18,4*	*18,8*	*17,9*	*15,7*	*18,3*
	T_{min} °C	*12,1*	*12,6*	*13,8*	*15,5*	*15,9*	*16,6*	*15,2*	*14,6*
	T_{max} °C	*19,7*	*19,8*	*21,6*	*21,6*	*21,6*	*20,7*	*16,7*	*22,0*
Lab. Rifiuti	**T °C**	*15,0*	*15,8*	*17,9*	*19,5*	*19,4*	*19,8*	*17,2*	*18,6*
	T_{min} °C	*11,9*	*11,8*	*14,3*	*16,5*	*16,0*	*17,9*	*16,0*	*15,3*
	T_{max} °C	*20,8*	*19,8*	*22,1*	*23,1*	*23,3*	*22,2*	*19,3*	*23,3*
Ufficio 2	**T °C**	*17,6*	*17,7*	*19,2*	*20,5*	*20,3*	*22,1*	*20,8*	*21,3*
	T_{min} °C	*13,0*	*14,7*	*16,6*	*18,4*	*18,2*	*19,5*	*18,3*	*18,0*
	T_{max} °C	*25,7*	*19,3*	*21,2*	*22,4*	*21,9*	*27,9*	*26,8*	*26,9*
Ufficio 6	**T °C**	*20,0*	*19,7*	*21,2*	*21,7*	*21,7*	*23,3*	*23,1*	*23,5*
	T_{min} °C	*16,5*	*18,2*	*19,2*	*19,9*	*19,9*	*21,2*	*20,2*	*20,3*
	T_{max} °C	*26,4*	*21,4*	*23,2*	*23,7*	*23,2*	*27,9*	*28,9*	*29,3*
Ufficio 5	**T °C**	*15,0*	*15,4*	*18,8*	*17,8*	*17,5*	*18,6*	*18,6*	*20,1*
	T_{min} °C	*14,1*	*14,1*	*15,0*	*17,0*	*16,5*	*17,9*	*17,4*	*17,7*
	T_{max} °C	*16,1*	*17,0*	*23,6*	*18,7*	*18,4*	*20,0*	*20,5*	*22,6*
Ufficio 3	**T °C**	*13,7*	*14,4*	*17,4*	*19,9*	*19,5*	*21,0*	*19,3*	*20,0*
	T_{min} °C	*8,1*	*10,7*	*14,2*	*16,5*	*16,1*	*18,1*	*15,5*	*15,3*
	T_{max} °C	*19,5*	*18,4*	*20,7*	*23,4*	*22,3*	*25,8*	*23,8*	*24,4*
Esterno	**T °C**	*1,7*	*1,5*	*7,9*	*9,0*	*7,3*	*10,8*	*8,4*	*9,3*
	T_{min} °C	*-3,5*	*-4,0*	*4,5*	*5,0*	*1,2*	*4,7*	*0,8*	*1,7*
	T_{max} °C	*12,2*	*5,3*	*11,9*	*14,2*	*12,8*	*19,2*	*22,6*	*21,4*

Per quanto riguarda l'umidità relativa, come è lecito aspettarsi, negli uffici dove le temperature sono più elevate (ufficio 2 e ufficio 6) l'umidità relativa è invece tendenzialmente più bassa.

L'andamento medio in alcuni locali è leggermente al di sotto dei valori consigliati per gli "ambienti moderati" come questi presi in esame, infatti tale range è 30 - 70%.

Tuttavia, in generale, si può assumere che in termini di umidità relativa non ci siano state riscontrate particolari criticità nei locali.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 10: Andamento orario dell'umidità relativa.

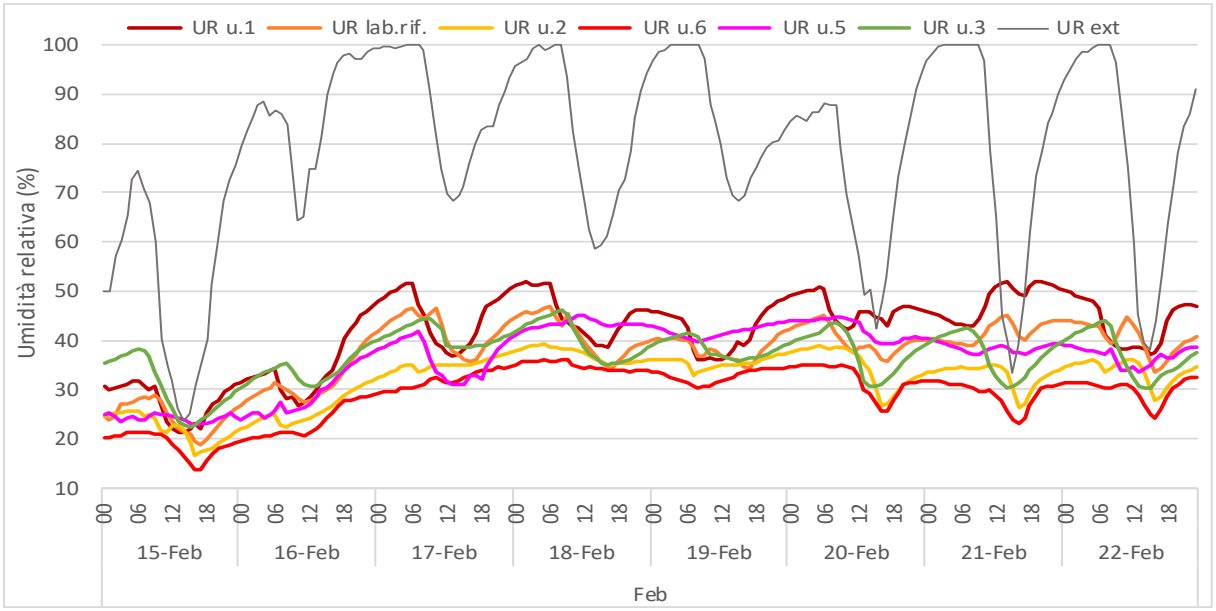


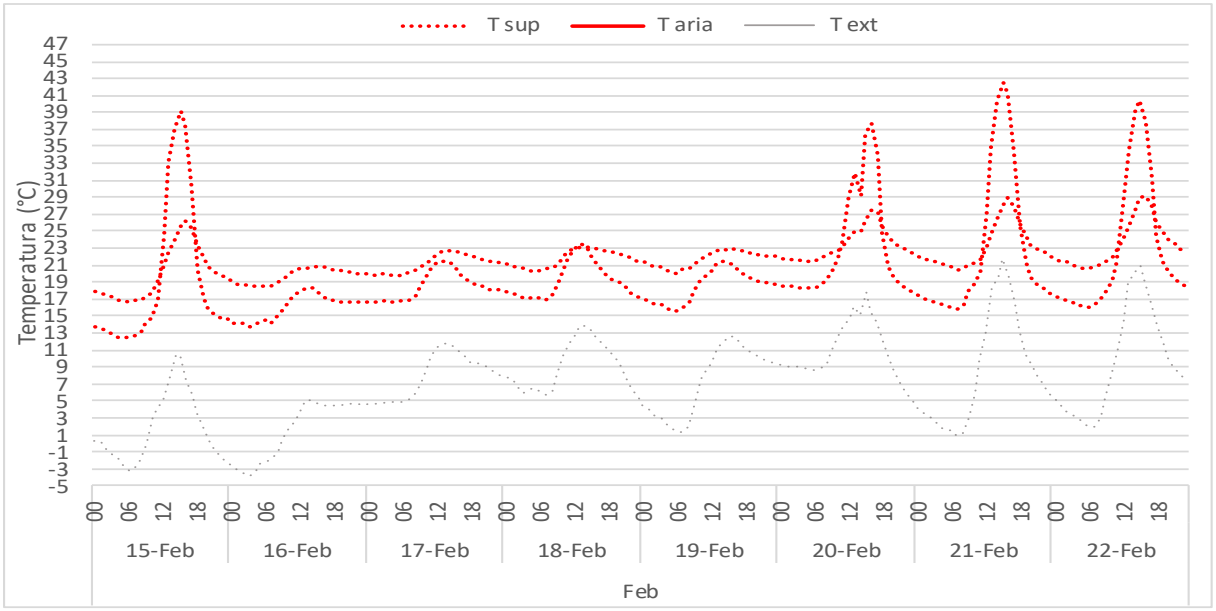
Tabella 4: Valori medi giornalieri dell'umidità relativa.

		15/02	16/02	17/02	18/02	19/02	20/02	21/02	22/02
Ufficio 1	**UR %**	*27,5*	*34,5*	*45,0*	*45,4*	*41,8*	*46,5*	*47,8*	*43,5*
	UR_{min} %	*19,0*	*26,0*	*36,5*	*37,2*	*34,3*	*38,2*	*42,5*	*36,2*
	UR_{max} %	*32,1*	*47,2*	*52,3*	*52,6*	*48,7*	*51,0*	*52,3*	*50,5*
Lab. Rifiuti	**UR %**	*24,5*	*31,4*	*41,8*	*41,1*	*38,3*	*40,3*	*41,5*	*40,4*
	UR_{min} %	*18,3*	*26,3*	*35,4*	*33,7*	*33,7*	*35,2*	*38,8*	*33,0*
	UR_{max} %	*29,3*	*41,4*	*47,5*	*47,0*	*41,9*	*45,2*	*45,2*	*44,9*
Ufficio 2	**UR %**	*22,1*	*25,7*	*34,9*	*37,1*	*35,4*	*34,8*	*32,9*	*33,7*
	UR_{min} %	*16,1*	*21,7*	*32,1*	*35,0*	*32,1*	*25,4*	*25,6*	*27,2*
	UR_{max} %	*26,1*	*32,1*	*37,7*	*39,4*	*37,5*	*38,9*	*35,0*	*36,3*
Ufficio 6	**UR %**	*18,8*	*23,2*	*31,9*	*34,8*	*32,7*	*32,1*	*29,1*	*30,0*
	UR_{min} %	*13,3*	*19,1*	*28,6*	*32,5*	*29,4*	*24,9*	*22,7*	*24,2*
	UR_{max} %	*21,7*	*29,8*	*35,4*	*36,9*	*35,1*	*35,6*	*32,3*	*33,0*
Ufficio 5	**UR %**	*24,2*	*29,2*	*36,4*	*43,3*	*41,8*	*42,4*	*38,5*	*36,8*
	UR_{min} %	*21,9*	*23,7*	*29,7*	*41,0*	*39,8*	*39,0*	*37,1*	*33,0*
	UR_{max} %	*25,3*	*37,8*	*42,4*	*45,1*	*43,9*	*44,8*	*40,5*	*39,0*
Ufficio 3	**UR %**	*30,3*	*33,8*	*40,9*	*40,1*	*38,3*	*37,7*	*37,2*	*37,1*
	UR_{min} %	*22,3*	*29,9*	*38,3*	*34,8*	*35,5*	*30,5*	*30,3*	*29,6*
	UR_{max} %	*38,6*	*40,0*	*44,3*	*46,4*	*41,4*	*43,6*	*42,6*	*44,1*
Esterno	**UR %**	*51,9*	*86,1*	*87,6*	*83,5*	*86,3*	*74,0*	*79,7*	*78,9*
	UR_{min} %	*19,5*	*62,0*	*67,7*	*56,9*	*66,9*	*38,3*	*32,0*	*37,3*
	UR_{max} %	*77,8*	*99,6*	*100,0*	*100,0*	*100,0*	*95,1*	*100,0*	*100,0*

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Per avere un'idea dell'impatto che hanno le superfici vetrate di cui è costituito l'involucro della parte vecchia, in Figura 11 è riportato il grafico della temperatura superficiale del vetro monitorata dall'apposito sensore nell'ufficio 6 al piano terzo (superficie dotata di doppio vetro): nei giorni più caldi, la temperatura del vetro ha raggiunto valori superiori a 40 °C nel primo pomeriggio, mentre nel giorno più freddo ha raggiunto appena i 19 °C.

Figura 11: Andamento orario della temperatura superficiale del vetro nell'ufficio 6.



4.2. Calcolo degli indici di Fanger per la verifica del comfort termoigrometrico

Per l'ufficio 6 e l'ufficio 8 (il primo situato nella parte vecchia e il secondo nella parte nuova), unici locali in cui sono state posizionate le centraline del microclima, sono stati calcolati gli indicatori di Fanger, PMV (voto medio previsto) e PPD (Percentuale prevista di insoddisfatti), per valutare le condizioni di benessere termoigrometrico indoor percepite dagli utenti.

Nel caso in esame, per caratterizzare i soggetti occupanti i locali, sono stati assunti per i calcoli rispettivamente i valori di:

- 1,33 Met per l'attività metabolica (attività sedentaria da ufficio) che corrisponde a 77,34 W/m^2;
- 0,92 CLO (valore tipico per l'abbigliamento invernale) che corrisponde a 0,14 m^2°C/W.

In base al valore assunto dal PMV è possibile valutare un locale mediante la scala di sensazione termica percepita dagli occupanti che va da -3 (sensazione di molto freddo) a +3 (sensazione di molto caldo), in cui 0 rappresenta una condizione di neutralità termica (UNI 7730).

Al PMV è correlato il PPD, i cui valori sono calcolabili mediante una relazione matematica. In base ai valori degli indicatori PMV e PPD ottenuti, è possibile dare una valutazione sul benessere termoigrometrico globale dell'ambiente, come riportato in Tabella 5.

Tuttavia, talvolta, il disagio termico può essere percepito anche a livello locale a causa di asimmetria della temperatura radiante, correnti d'aria, marcate differenze della temperatura dell'aria in funzione dell'altezza e superfici eccessivamente fredde o calde.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 5: Scala di valutazione dell'ambiente termico.

PMV	PPD %	VALUTAZIONE AMBIENTE TERMICO
3	100	Molto caldo
2	75,7	Caldo
1	26,4	Leggermente caldo
0,85	20	Ambiente termicamente accettabile
+0,5<PMV<-0,5	<10	Benessere termico
-0,85	20	Ambiente termicamente accettabile
-1	26,8	Leggermente freddo
-2	76,4	Freddo
-3	100	Molto freddo

Di seguito sono riportati gli indicatori per i due ambienti monitorati. Tutte le grandezze fisiche (temperatura dell'aria, temperatura radiante, umidità relativa, velocità dell'aria, PMV e PPD) sono state calcolate come valore medio nel periodo di occupazione dell'edificio (intervallo orario 8:00-18:00[EM1]), per poi successivamente ricavarne il valor medio indicativo della settimana lavorativa in esame (Tabella 6).

Come si può osservare, gli indici non evidenziano situazioni critiche nei due locali, contrariamente a quanto ci si aspetterebbe per la parte vecchia; tuttavia va precisato che:

- i primi giorni della settimana esaminati sono stati particolarmente freddi e quando la temperatura esterna è aumentata (22/02) la percezione del locale della parte vecchia è diventata quella di «leggero caldo»;
- l'utente di tale ufficio è solito spegnere il ventilconvettore e aprire la finestra quando possibile, abitudini che sono piuttosto insolite data la stagione.

Per quanto riguarda l'ufficio 8 invece, trattandosi della parte nuova dell'edificio, la condizione riscontrata è sempre quella di benessere termico e l'occupante non avverte alcuna condizione di disagio.

Tabella 6: Valori di PMV e PPD degli uffici 6 e 8.

	UFFICIO 6 - Parte Vecchia			UFFICIO 8 - Parte Nuova		
	PMV_m	PPD_m %	VALUTAZIONE AMBIENTE	PMV_m	PPD_m %	VALUTAZIONE AMBIENTE
15/02	*-0,04*	*14,04*	*Termicamente accettabile*	*0,16*	*8,65*	*Benessere termico*
16/02	*-0,28*	*6,94*	*Benessere termico*	*-0,03*	*6,91*	*Benessere termico*
17/02	*0,09*	*5,72*	*Benessere termico*	*0,16*	*6,16*	*Benessere termico*
18/02	*0,21*	*6,51*	*Benessere termico*	*0,24*	*7,70*	*Benessere termico*
19/02	*0,15*	*5,99*	*Benessere termico*	*0,04*	*5,86*	*Benessere termico*
22/02	*0,70*	*22,31*	*Accettabile / Legg. caldo*	*0,33*	*9,01*	*Benessere termico*
media	*0,14*	*10,25*	*Termicamente accettabile*	*0,15*	*7,38*	*Benessere termico*

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Con i dati a disposizione in Tabella 7, è possibile anche effettuare una valutazione preliminare delle condizioni di discomfort locale: secondo l'approccio indicato dalla norma UNI 7730, il rischio di correnti d'aria nei due locali è del tutto scongiurato, visti i bassi valori di velocità misurati. Rispetto a questo aspetto pertanto non si manifestano situazioni di insoddisfazione.

Inoltre, per entrambi i locali la temperatura dell'aria interna si discosta leggermente dalla temperatura radiante, quindi, pur non avendo effettuato misure specifiche in tutte le superfici dei locali, si può affermare che c'è una uniformità termica negli ambienti.

Tabella 7: Valori medi delle grandezze fisiche misurate negli uffici 6 e 8.

	UFFICIO 6			**UFFICIO 8**		
	T_a °C	**T_{rad} °C**	**v_a m/s**	**T_a °C**	**T_{rad} °C**	**v_a m/s**
15/02	*21,6*	*21,30*	*0,002*	*22,5*	*22,69*	*0,001*
16/02	*20,3*	*20,00*	*0,001*	*21,6*	*21,27*	*0,000*
17/02	*21,9*	*21,49*	*0,001*	*22,2*	*21,96*	*0,000*
18/02	*22,5*	*22,11*	*0,001*	*22,5*	*22,34*	*0,001*
19/02	*22,2*	*21,86*	*0,002*	*21,7*	*21,28*	*0,002*
22/02	*25,0*	*24,65*	*0,000*	*22,9*	*23,09*	*0,000*
media	*22,3*	*21,90*	*0,001*	*22,2*	*22,11*	*0,001*

Per una trattazione più approfondita sarebbe opportuno valutare anche la temperatura operativa dei due locali, che rappresenta un buon indicatore del livello di comfort percepito dagli utenti in quanto tiene conto sia degli scambi convettivi con l'aria circostante che di quelli radiativi. Tale grandezza può essere espressa in funzione della temperatura media radiante e dei coefficienti legati alla velocità, in accordo con la UNI 7730 che ne fornisce anche i range accettabili in base alla destinazione d'uso del locale. Tuttavia, questo approfondimento è stato rimandato a successivi sviluppi del lavoro.

5. Qualità degli ambienti interni percepita dagli occupanti

Come già esposto sopra, un'attenta analisi del microclima indoor dell'edificio, in affiancamento alle indagini di prestazione e diagnosi energetica, è utile a indirizzare gli interventi di riqualificazione energetica anche verso opportuni standard di comfort ambientale e qualità dell'aria; tuttavia, a parità di strutture e tecnologie, il comfort percepito si combina a numerosi altri fattori che determinano i comportamenti degli occupanti nell'ambiente, i quali a loro volta influenzano sensibilmente il consumo energetico negli edifici [4-7]. Nel caso specifico le abitudini degli occupanti di regolare autonomamente l'impianto di climatizzazione e l'apertura/chiusura di finestre, sono dettate da situazioni di disagio che evidenziano quanto il sistema edificio-impianto non soddisfi le loro esigenze. Per capire più approfonditamente queste condizioni di discomfort e al fine di analizzare le prestazioni ambientali dell'edificio in esame, alle campagne sperimentali di monitoraggio microclimatico sul campo sono state affiancate campagne di questionari. L'obiettivo è quello di comprendere da un lato le condizioni ambientali interne realistiche in termini di parametri fisici e misurabili, e dall'altro di confrontarle con

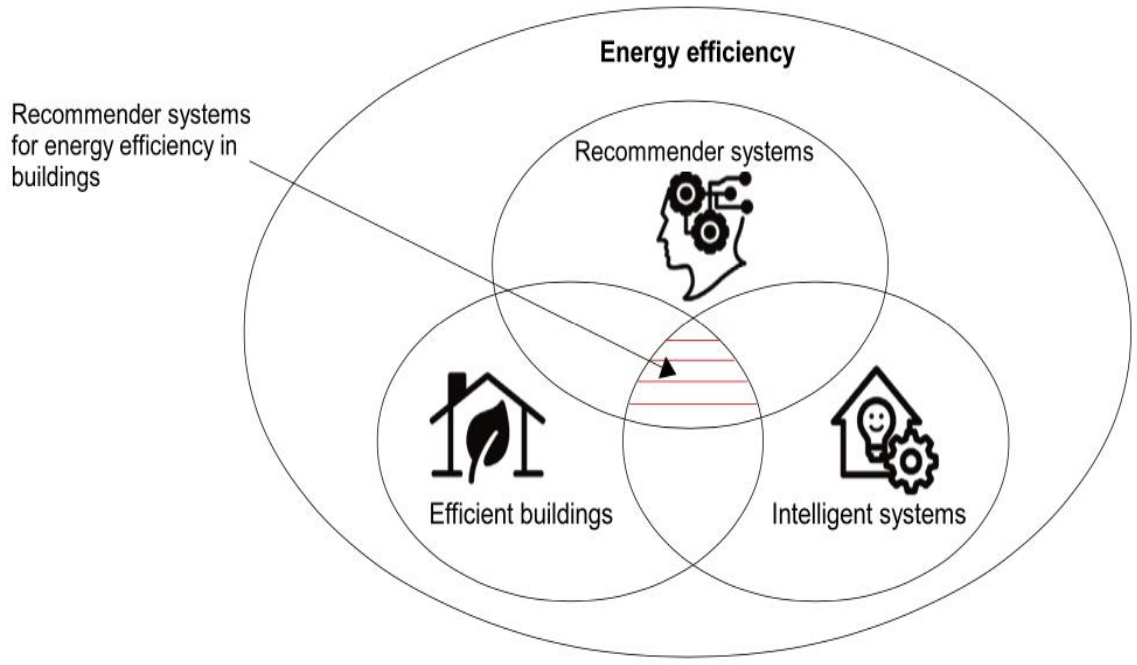
ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

le percezioni personali e gli atteggiamenti degli occupanti rispetto a quegli stessi parametri ambientali, per evidenziare così l'impatto dei fattori non direttamente misurabili sul comfort indoor. Attraverso questi questionari, è stato deciso di indagare anche l'impatto sull'ambiente così da aprire lo sguardo a politiche migliorative su diversi fronti. Infatti i temi sviluppati nei sondaggi investigativi non riguardano soltanto il benessere termoigrometrico, acustico e visivo, ma anche la sostenibilità ambientale (trasporti, produzione di rifiuti, consumo di risorse) e i cambiamenti che l'emergenza legata al Covid-19 ha indotto nella vita di tutti i giorni, sia in ambito lavorativo che domestico.

I questionari inviati a tutti gli occupanti saranno utili per comprendere la loro percezione, le preferenze e il livello di tolleranza rispetto ai diversi parametri ambientali e per indagare come il loro comfort generale sia influenzato dalle loro attitudini personali, abitudini comportamentali, condizioni di salute e politiche ambientali attuate dalla direzione aziendale. Questo tipo di indagine soggettiva verrà eseguita in diversi momenti dell'anno per avere un quadro completo delle percezioni degli occupanti nelle varie stagioni. I risultati ottenuti saranno utili non soltanto ad indirizzare le strategie di intervento per l'edificio ma anche a promuovere comportamenti virtuosi per gli occupanti rispetto al tema della sostenibilità ambientale e del risparmio energetico, sensibilizzando e informando le persone a queste tematiche importanti non soltanto nella sfera lavorativa ma anche in quella domestica.

L'obiettivo finale di questo grande lavoro non sarà quindi limitato esclusivamente alla progettazione di soluzioni impiantistiche ma anche ma alla promozione di comportamenti e abitudini per una corretta gestione degli impianti e razionalizzazione del consumo di energia. In questo senso le raccomandazioni saranno perlopiù rivolte agli occupanti le cui azioni hanno un impatto notevole sul consumo energetico dell'edificio (Figura 12) [8-9].

Figura 12: L'impatto dell'efficienza energetica negli edifici e la sensibilizzazione degli occupanti verso tale tematica.



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

5.1. Analisi soggettiva mediante questionari

Sulla base di quanto espresso, in Tabella 8 si riportano in sintesi le tematiche affrontate nel primo questionario inviato a tutti gli occupanti dell'edificio, riguardante le loro abitudini e le loro sensazioni nel posto di lavoro relativamente alla stagione invernale. Il questionario è composto principalmente da domande a risposta chiusa e alcune domande a risposta aperta. Le risposte ottenute verranno elaborate mediante grafici e diagrammi a torta per avere un quadro generale rispetto ai temi affrontati.

Tabella 8: Tematiche affrontate nel questionario investigativo.

TEMATICHE AFFRONTATE	
Informazioni personali	– età e sesso; – particolari malattie che influenzano la percezione termica dell'ambiente; – background geografico e culturale del soggetto;
Informazioni di carattere generico	– orientamento del locale; – tipologia di impiego e frequenza nel posto di lavoro; – condivisione del locale con altre persone;
Comfort termoigrometrico, visivo e acustico	– percezione termica, visiva e acustica del locale; – regolazione di climatizzazione, ventilazione e schermature solari; – giudizio sul comfort termico, visivo e acustico del locale; – possibili miglioramenti;
Sostenibilità ambientale	– mezzi di trasporto utilizzati negli spostamenti; – raccolta differenziata dei rifiuti; – utilizzo di plastica e carta; – possibili miglioramenti e/o iniziative sul tema della sostenibilità;
Cambiamenti legati al Covid-19	– cambiamenti nelle abitudini lavorative; – giudizio sullo smart-working e accorgimenti da attuare.

6. Conclusioni

Nel lavoro sono presentati i primi risultati di una campagna sperimentale effettuata presso alcuni locali della sede di Arpa UMBRIA a Perugia, al fine di valutare le condizioni di comfort microclimatico. Pertanto sono stati effettuati i rilievi delle principali grandezze che caratterizzano il microclima interno ed esterno nella stagione invernale ed i calcoli dei relativi indici del benessere in 11 locali differenti per esposizione, caratteristiche costruttive, destinazione d'uso e tipologia di impianti presenti. La fase di monitoraggio, ancora in corso, è accompagnata da un primo questionario investigativo indirizzato a tutti gli occupanti per valutare non soltanto il benessere termoigrometrico, visivo e acustico degli ambienti ma anche il grado di sostenibilità ambientale e quanto l'emergenza legata al Covid-19 abbia inciso su questo tema. Dai primi risultati ottenuti dal monitoraggio, prendendo in riferimento una settimana caratteristica della stagione più fredda, sono emerse criticità relativamente alla parte più

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

vecchia dell'edificio, che sarà oggetto di progettazione di interventi di riqualificazione. Infatti in tali locali si avverte una sensazione di "caldo" tanto che gli utenti sono spesso costretti ad abbassare o addirittura spegnere il riscaldamento e ad aprire le finestre quando possibile, come testimoniato dagli stessi utenti in diversi sopralluoghi. I risultati dei questionari e le relative elaborazioni costituiranno una base di partenza per la progettazione di interventi migliorativi e saranno di supporto alla successiva fase di diagnosi energetica per la riqualificazione energetica dell'edificio. I suggerimenti e i giudizi degli occupanti sul tema della sostenibilità ambientale e del risparmio energetico potranno essere infine considerati come spunto per future politiche gestionali dell'azienda volte a tali tematiche.

Riferimenti

1. Poggi, F., Pili, S., Loria, E., Frau, C. Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu. *Report Ricerca di Sistema Elettrico - ENEA* 2018.
2. Centi, G., Iatauro, D., Romeo, P., Signoretti, L., Terrinoni, L. Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del Sulcis: analisi del monitoraggio microclimatico della sede del centro ricerche Sotacabro. *Report Ricerca di Sistema Elettrico - ENEA* 2016.
3. Buratti, C., Ricciardi, P., Simoncini, C. Il benessere termoigrometrico nelle aule universitarie: primi risultati di una campagna sperimentale presso le Università di Perugia e Pavia effettuata secondo nuove metodologie basate sul modello adattivo. *5° Congresso Nazionale CIRIAF – Atti* Perugia (8/9 aprile 2005).
4. Attainese, E., d'Ambrosio Alfano, F.R. Il ruolo dell'ergonomia e fattori umani nella sostenibilità energetica degli edifici. *Aicarr Jurnal.*
5. Bolis, I., Morioka, S.N., Brunoro, C.M., Zambroni-de-Souza, P.C., Sznelwar, L.I. The centrality of workers to sustainability based on values: Exploring ergonomics to introduce new rationalities into decision-making processes. *Applied ergonomics* 2020.
6. Castaldo, V.L., Pigliautile, I., Rosso, F., Cotana, F., De Giorgio, F., Pisello, A.L. How subjective and non-physical parameters affected occupants' environmental comfort perception. *Energy and Buildings* 2018, 178, 107-129.
7. Paone, A., Bacher, J.P. The impact of building occupant behaviour on energy efficiency and methods to influence it: a review of the state of the art. *Energies* 2018, 11, 953.
8. Himeur, Y., Alsalemi, A., Al-Kababji, A., Bensaali, F., Amira, A., Sardianos, C., Dimitrakopoulos, G., Varlamis, I. A survey of recommender systems for energy efficiency in buildings: Principles, challenges and prospects. *Information Fusion* 2021, 72, 1-21.
9. Zhang, Y., Bai, X., Mills, F.P., Pezzey, J.C.V. Rethinking the role of occupant behaviour in building energy performance: A review. *Energy and buildings* 2018, 172, 279-294.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

A list of dos and don'ts in view of the next earthquake in Italy

Gastone Ave[1,*]

[1] Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, Via della Ghiara 36, 44121 Ferrara

* Author to whom correspondence should be addressed: avg@unfe.it

Abstract: The paper compares the earthquakes that struck the northern region of Friuli in 1976 and the southern city of Aquila in 2009. The Friuli case is a success story, because the reconstruction identified the dispersed industrial sector as the economic and social engine of the damaged area and the reconstruction activity was focused on it. On the contrary, the Aquila case is a planning failure since there was no identification of the economic and social engine of that area. Reconstruction resources were wasted in costly housing projects built on green-field locations, thus adding urban sprawl which has severely hindered restoration plans of the community. This paper highlights the need for a short list of dos and don'ts about how to rebuild core urban areas hit by earthquakes, as a standard guidance beforehand the next natural disaster. There should be some agreed guidelines concerning how to plan the reconstruction in case of new earthquakes. While these guidelines need to be adapted on a case by case basis, it seems likely that any successful reconstruction plan will have to include the following factors: 1. direct involvement of local municipalities in the decision-making process; 2. swift identification of the social and economic engine of the destroyed urban area; 3. efficient management of the time factor in restoring the social and economic engine of the destroyed urban area; 4. strategic urban planning focused on long-term renaissance goals and on short-term milestones relevant to the local community; 5. stop future urban sprawl, mend past ones.

Keywords: threshold analysis, reconstruction, earthquakes, Friuli, Aquila, Udine, San Daniele del Friuli, strategic planning, Country Alliance-ECA, Italian Civil Protection Department-CPD.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1.The day after any earthquake: first things first

The first activity to carry out after any earthquake is quite obviously to save as many human lives as possible. On this point, it is interesting a comparison between the Italian Civil Protection Department (CPD) and the California equivalent institution, the Earthquake Country Alliance (ECA).

1.1 The experiences of the Italian Civil Protection Department (CPD)

Let us see first the case of the CPD. As stated in its official web site, the Italian Civil Protection Department was set up under the Presidency of the Council of Ministers in 1982. Since then, the CPD has gained a quite relevant experience on this matter. Its official site, however, does not give practical advises on what to do after an earthquake. Under the key question "*Are You prepared?"* there is a list of important points that every citizen should become familiar with, but there are not practical dos and don'ts. The text explains that

"*The Italian territory is exposed to seismic risk, thus being prepared for an earthquake is fundamental. Safety depends mainly on the building where you live. If it is an ant-seismic building, it won't be subject to major damages and will protect you. Wherever you are in the moment of an earthquake, it is very important to keep calm and follow some simple rules of behavior.*" [1]

However, what follows this introductory note are not rules of behavior, but general things to know in advance of an earthquake, as it is summarized below in 8 points :

1. Italy is a seismic country

The text reminds that Italy had in its past almost 300 earthquakes with a magnitude higher than 5,5, that is a destructive energy like the earthquake which struck the city of Aquila in 2009. While Italy is as a whole a seismic country, historically the "*strongest earthquakes are focused in the following areas: Northern-Eastern Italy (Friuli Venezia Giulia and Veneto), Western Liguria, Northern Apennines (from Garfagnana to the Rimini area), and, above all, across the Central and Southern Apennines, in Calabria and Eastern Sicily.*"

2. What happens to a building?

This point describes how seismic tremors provoke oscillations which affect buildings in various ways. "*Today's buildings need to be built in compliance with seismic regulations*."

3. Will the next earthquake cause major damage?

The explanation of this point ends with "*The next earthquake can do great harm: this is way we need to be informed, make prevention and be ready for a possible earthquake*".

4. When will the next earthquake occur?

In sum, the answer is "*Nobody knows (…). We know, though, which are the most dangerous areas (…) being prepared is the best thing towards prevention and reduction of the earthquake consequences*".

5. Are the earthquake effects the same everywhere?

Here the explanation is basically: it depends on distance, type of soil, shape of buildings and location of buildings, with greater effects on cliffs and hill tops.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

6. How can the State help me?

The text refers that after the earthquake in the city of Aquila in 2009, the State launched a national plan for seismic prevention aiming at 3 objectives: 1. Identification of areas that amplify ground shaking; 2. construction works to reduces the seismic risks of public buildings; 3. subsidies for seismic improvements of private buildings.

The third object has been attained in July 2020 when the so called "superbonus 110%" was approved. It is a tax deduction of 110% of the cost of construction works on existing buildings, granted in a few cases including the reduction of two seismic risk classes of existing properties.

7. Where you live

Here the text reminds that the whole country is divided in zones with different levels (seismic classes) of dangerousness. The advice is to contact relevant public offices to obtain information on which regulations apply in each case.

8. Safety of your home

Under this point, the text reminds that it is important for every citizen to know if his home respects the prescribed seismic standards. The list ends with the following recommendation: "*You need to know when and how your house was built, on which type of soil, with which materials.*"

The 8 points summarized above, touch key elements of awareness on how to deal with seismic risks in the country, but do not give any practical advice on what to do in case an earthquake takes place. To get such practical advises, the text in the official site of CPD refers to a communication campaign entitled "Io non rischio" (I do not take risks) which has been promoted and realized by CPD with other institutions. Here are the practical advices given by this campaign:

"*In case of an earthquake - What to do during an earthquake*

If you are indoors

Find a shelter under a beam, in the doorway or by a load-bearing wall

Watch out for things that could fall and hit you (plaster, ceilings, windows, furniture, etc.)

Pay attention to the stairs: in general they are not very resistant and can be damaged

Avoid taking the lift: it can get stuck

If you are outdoors

Move away from buildings, trees, lampposts, power lines: you could be hit by vases, tiles and other materials that can fall

Pay attention to other possible consequences of the earthquake: collapse of bridges, landslides, gas leaks, etc.

What to do after an earthquake

Check the state of health of the people around you and, if necessary, be the First Aider

Come out with caution, wearing shoes: you may get hurt in the streets with broken glass

If you are in a zone exposed to tsunami risk, move away from the beach and reach a higher place

Limit, as much as possible, the use of the phone

Limit the use of the car to avoid obstructing the passage of emergency vehicles

Reach the waiting areas provided by the Local Emergency Plan " [2]

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1.2 The experience of the Earthquake Country Alliance (ECA)

Let us see now the case of ECA. The Earthquake Country Alliance (ECA) is a public-private-grassroots partnership of people, organizations, and regional alliances that work together to improve earthquake and tsunami preparedness, mitigation and resiliency.

ECA develops resources and organizes activities to help everyone who lives, works, or travels in earthquake country be prepared to survive and recover quickly. It is worth noticing that the logo of ECA reports the following claim "*We're all in this together*" which stresses the need for a sense of community to overcome any kind of natural disaster. The concept of being in the same community is a fundamental guiding principle on which any policy towards a recovery from a natural disaster like an earthquake should be based. I will retrieve and expand this concept later in the second part of this paper.

The ECA approach shows several common features with the one of CPD, but it is somewhat more practical. It seems a mix between the official site of CPD and the site of the communication campaign "I do not take risks", as it uses a direct language with most terms taken from everyday spoken English. Listed below is the full set of advices given by ECA to "*help everyone who lives, works, or travels in earthquake country be prepared to survive and recover quickly*". The list is entitled "Seven Steps to Earthquake Safety". The seven steps are grouped in 3 parts: prepare, survive and recover. The introduction to these steps is straightforward: ""*Before the next big earthquake we recommend these four steps that will make you, your family, or your workplace better prepared to survive and recover quickly*".

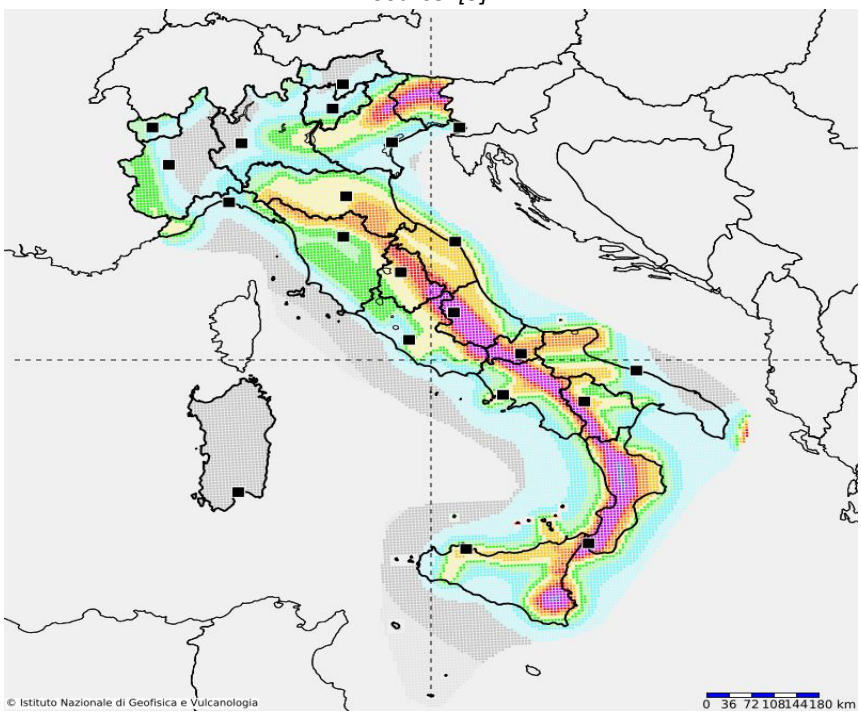
This concept is quite similar to what the CPD explains in its web site: while no one knows when the next earthquake will hit, there is no doubt that there will be one in the near future. In the Italian case, given the track record of the last 3 centuries and with a focus on the last 50 years, it seems very likely that there will be in the period 2020-2040 a major earthquake of magnitude similar to the earthquakes of Friuli 1976, Irpinia 1980 , Aquila 2009, Emilia-Romagna 2012 and Centre of Italy in 2016 and 2017 with focus in the Apennine areas of the regions of Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria. The next new earthquake will hit urban centers in the areas subject to the highest seismic risk in the country, which are the following: Northern-Eastern Italy (the regions of Friuli Venezia Giulia and Veneto), Western Liguria, Northern Apennines (an vast horizontal area from Garfagnana to the Rimini province), and last but obviously not least the Central and Southern Apennines till the region Calabria and Eastern Sicily.

It is a fact that Italy is a seismic country, where in the past there have been some 3,000 earthquakes including about 300 seismic major events, that is earthquakes with a magnitude higher than 5.5. In this context, the widespread risk of a next major earthquake somewhere in the country is well portrayed by the well-known map of Seismic hazard model MPS04-S1 of the INGV (Italian Institute of Geophysics and Volcanology). This map shows, among other things, that most of the country is within a 10% probability of a major seismic event in the next 50 years, with the notable exception of what are now the largest cities of the country (Rome, Milan, Turin, Naples) which probably have become so precisely because of the lack of seismic activities in the past centuries.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figure 1. Seismic hazard model MPS04-S1 of the Italian Institute of Geophysics and Volcanology (INGV)

Source: [3]



Going back now to the ECA approach, the following are the seven recommendations made in in various languages (English, Spanish, Chinese) in the state of California, plus 10 regional versions, taken from the official documents of that institution.

1.2.1 ECA -Seven Steps to Earthquake Safety

Phase 1 Prepare

Before the next big earthquake we recommend these four steps that will make you, your family, or your workplace better prepared to survive and recover quickly:

Step 1:

Secure your space by identifying hazards and securing moveable items. This step is portrayed with a drawing of two people securing a bookshelf and water heater to prevent them from falling in an earthquake.

Step 2:

Plan to be safe by creating a disaster plan and deciding how you will communicate in an emergency. This step is portrayed with a drawing of a family discussing their emergency plan at a dining table.

Step 3:

Organize disaster supplies in convenient locations. This step is portrayed with a drawing of a parent and child organizing disaster supplies in a backpack and a larger container.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Step 4:

Minimize financial hardship by organizing important documents, strengthening your property, and considering insurance.

Phase 2 and 3 Survive And Recover

During the next big earthquake, and immediately after, is when your level of preparedness will make a difference in how you and others survive and can respond to emergencies:

Step 5:

Drop, Cover, and Hold On when the earth shakes or you get an alert. This step is portrayed with a drawing of a family protecting themselves during an earthquake, under a table and in a wheelchair.

Step 6:

Improve safety after earthquakes by evacuating if necessary, helping the injured, and preventing further injuries or damage. This step is portrayed with a drawing of people after a quake cleaning up debris, helping the injured, and moving to high ground in case of tsunami.

After the immediate threat of the earthquake has passed, your level of preparedness will determine your quality of life in the weeks and months that follow:

Step 7:

Reconnect and Restore

Restore daily life by reconnecting with others, repairing damage, and rebuilding community. This step is portrayed with a drawing of people reconnecting with family, repairing a damaged window, and reopening a school [4].

Each one of the above-mentioned steps is described in ECA documents in details both in words, about one page text, and with even further details with links to videos of about one hour lenght each, available on YouTube as a webinar series produced by the same institution. Furthermore, ECA is very active within the state of California as a documentation center on earthquakes, tsunami and natural disasters. For example, members of ECA are available as speakers, on a voluntarily basis, for online events organized by local communities.

As the above show, the experience of Italian Civil Protection Department (CPD) and the experience of the American Earthquake Country Alliance (ECA) are quite similar in terms of recommendations to the respective residents on what to do before, during and after a major earthquake. It appears, in my view, that the down-to-earth approach of ECA is more effective than the somewhat academic style of CPD., but in it should also be noted that the language differences depend more from the cultural context of the two countries rather than from real differences in the core message. What is relevant, is that both institutions have seen the urgency to prepare well in advance from the next “big one” (earthquake) a list of recommendations directed to citizens as well as to policy-makers on the best behavior to minimize the damages connected to seismic risks. Other national institutions dedicated to manage natural disasters have prepared similar lists of dos and don’ts with the aim to be prepared on what to do in case of new earthquakes take place.

So if a list of dos and don’ts make sense to direct public action before, during and in the aftermath of an earthquake, we should push forward this public policy approach and focus on the reconstruction

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

phase which should begin immediately after the search and rescue phase is over. The point that this paper tries to clarify is whether or not it is in the public interest to draw a list of dos and don'ts on how to go about the reconstruction phase. And in case the answer would be a positive one, what are the key elements which should be included in this list.

2. A comparison between the reconstruction plans after the earthquakes of Friuli 1976 and Aquila 2009.

As previously stated, Italy is a seismic country so there is plenty of earthquakes in recent decades to analyze. I propose here to focus on the seismic major events of Friuli 1976 and Aquila 2009 because they epitomize respectively success and failure in the literature concerning the analysis of planning tools applied to the reconstruction of urban areas hit by earthquakes. Before going into the details of each of the two cases, it is useful to remind that the claim under the logo of ECA- Earthquake Country Alliance reads as follows: "*We're all in this together*". This claim should be borne in mind, in my view, in the Italian scenario since Italy is the country of the bell towers, a collection of thousands municipalities whose origins date deep back in the past, so that claim reminds us that the concept of local community is the cornerstone of a successful reconstruction phase to overcome any kind of natural disaster.

Ultimately, what is the object of a successful reconstruction is the local community life, with all its tangible connections (i.e. roads, bridges, public spaces, water and gas pipelines, electric grids, communication networks etc.) and with all the complex interactions of non-measurable nature, first of all the link between home and work places, not to mention the links between home and retail and leisure areas. In sum, for a reconstruction activity to be remembered as a success in history books, it must reconnect and restore the community as a live entity. A reconstruction activity limited to the rebuilding of the fallen real estate properties without a community idea in mind, is bound to be a failure and produce a waste of public resources.

The earthquakes of Friuli 1976 and Aquila 2009 have been analyzed extensively so far, but a comparison between the two events has not yet been conducted. This task exceeds the scale of this paper too, and it would also be out of topic. The scope of the proposed comparison is to focus strictly on the few key elements that have played the major role in the final outcome of the reconstruction activities, and on this basis draw a list of dos and don'ts with the final goal to reconnect and restore community life. In short, the planning literature refers to the Friuli case as a success, while the case of Aquila is generally regarded a failure from the urban planning viewpoint.

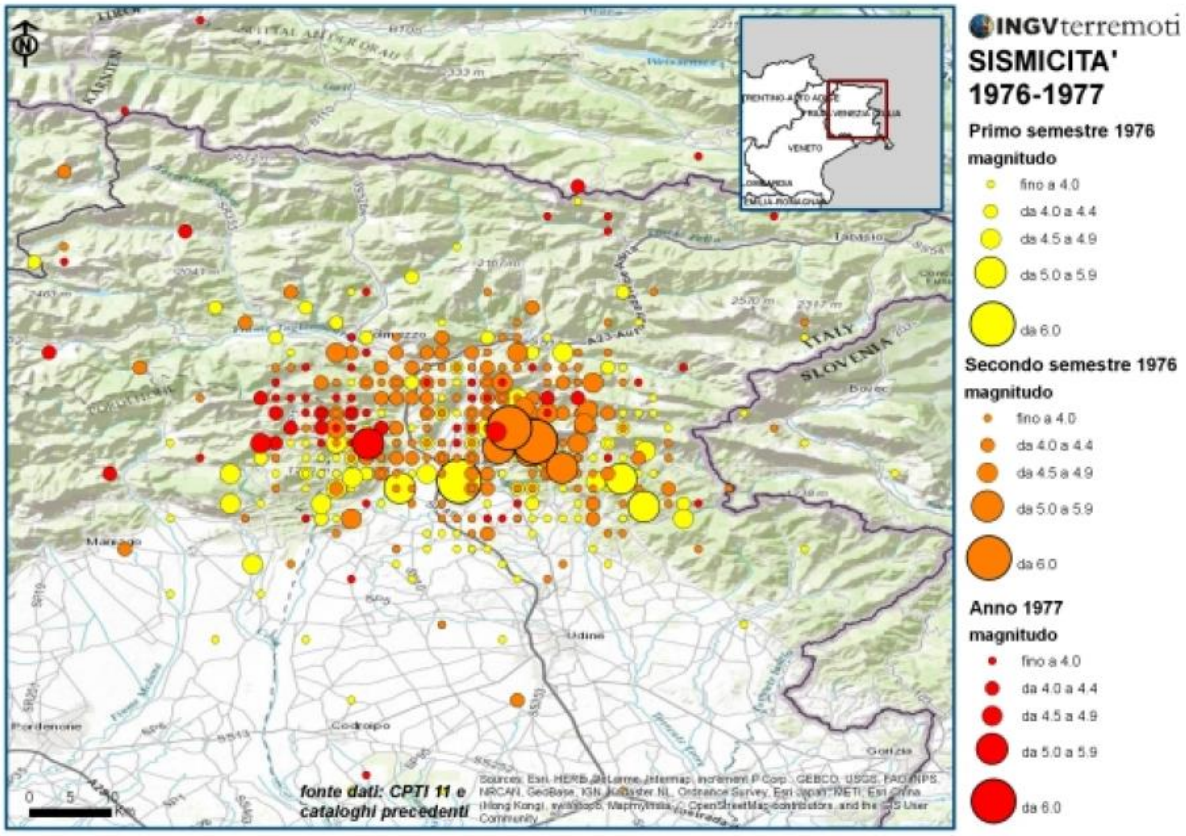
2.1 The case of Friuli 1976

With reference to the concept outlined above, in the case of Friuli the local community forged the reconstruction phase as an opportunity to reconnect and restore the community. While doing this, the local community took also the earthquake as a chance to boost the economy and the self-esteem of residents by pretending from the central state the foundation of the University of Udine.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The Friuli earthquake hits a vast foothill strip north of the city of Udine for the first time on May 6, 1976 and a second time in September of the same year. The strong reaction of the local community, supported in an excellent way by the solidarity of the other Italian regions, led to the foundation of the University of Udine, which was inaugurated on 6 March 1978. In the short period of 2 years there is the end of an era and the beginning of a new phase of development, still in progress.

Figure 2. Friuli earthquakes magnitudes, 1976-1977



Source: [5]

The city of Udine, the capital of Friuli (north-east of Italy, on the border with Yugoslavia) had already started in the 1960s the project to have a public university institution, which it lacked. But it is only with the strong reaction to the 1976 earthquake that the project became concrete and was realized. In 1968 the Consortium was established for the establishment and development of university teaching in Udine (with the prefectural decree 27/11/1967 n. 6237). The effort continued in 1972 with the establishment of the Committee for the Friulian University which launched and implemented in 1976, amid a thousand difficulties including the earthquake, the decisive action of the popular initiative law proposal for the foundation of the University. The target of 50,000 signatures was exceeded, reaching over 125,000 signatures, "*many of which were collected in post-earthquake tent cities. In this way, the Friulian people showed their willingness to bet on their future starting from higher education, from knowledge, from young people* "[6].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

I mention these facts, which are now part of history and are well documented [6-7], because the success of the post-earthquake reconstruction of Friuli cannot be understood, if it is not seen as the rebirth of local community. A rebirth that was not limited to the physical reconstruction of the collapsed buildings, but which made the reconstruction of the collapsed buildings a tool for a strategic renewal project of the local community. It was a strategic project because it was oriented to the future, not to the past, and was aimed at building with the material and intangible resources made available after the earthquake, new job opportunities and cultural and social growth hitherto unknown in that land of emigration.

It has already been clarified [8] that in Italy there is only one other case in which the post-earthquake reconstruction led to the foundation of a university institution in a territory that until that moment was devoid of it. This is the University of Basilicata, established in the city of Potenza (in the Basilicata region, in southern Italy) in 1981, after the 1980 earthquake. Thanks to this new institution, Potenza has developed cultural activities and services that have had an positive also on the city of Matera and on the whole region. But it was with the 1976 earthquake in Friuli that for the first time the attempt was made to combine the physical reconstruction of a territory with the reconstruction of the economic and social relations of the local community.

It seems to me quite necessary to deepen, albeit briefly, the close connection between the post-earthquake reconstruction activity and the foundation of the University of Udine. The new official website of the University of Udine proudly so explains that crucial step in the reconstruction of the region after the earthquake of 1976:

"*The academic activity of the University of Udine began on November 1, 1978 and the establishment of the University of Friuli was desired, unique in the Italian panorama, by popular will.*

In 1976, after the devastating earthquake that struck Friuli, the population and local institutions mobilized to collect the necessary signatures (at least 50,000) for a popular initiative bill to ask for the birth of a university in Friuli. There were 125,000 signatures, many of which were collected in post-earthquake tent cities. In this way the Friulian people showed the will to bet on their future starting from high education, from knowledge, from young people.

Friuli obtained its own University through a regulation contained in the first organic law for the financing of post-earthquake reconstruction: article 26 of law 546 of 8 August 1977. The regulation was implemented on 6 March 1978 by decree of the President of the Republic no. 102, published in the Official Gazette no. 102 of April 13, 1978. This decree established and de facto initiated the University of Udine, as an institution aimed at "contributing to the civil, social and economic birth of Friuli and to become an organic tool for the development and renewal of originals of the culture, language, traditions and history of Friuli » [6].

The earthquake of Friuli 1976 caused over 900 casualties, compared to slightly more than 300 in the city of Aquila in 2009. Moreover, in Friuli the seismic shakes occurred in a vast portion of the region and lasted in a stop and go form for about one year.

The planning of the reconstruction phase took momentum in the second semester of 1977, in the aftermath of the kidnapping of the Italian prime minister Aldo Moro which occurred in march 1977. At

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

the time there was no Civil Protection Department in Italy, so the search and rescue activities were done by the military, while the newly borne regional institutions established direct cooperation agreements with the Region Friuli Venezia Giulia and other institutions like municipalities and associations of municipalities like the Hill Community of Colloredo di Monte Albano whose main city is San Daniele del Friuli.

The numerous urban centers hit by the 1976 Friuli earthquake have been rebuilt as they were and where they were, starting from their respective historical centers. The anti-seismic regulations have been applied to all the damaged buildings that could be recovered. The new buildings were built according to measures exceeding the minimum requirements imposed by the anti-seismic legislation. From the viewpoint of urban and regional planning, it is important to note that the reconstruction plans aimed at avoiding any form of urban sprawl. Modern duplicates of the destroyed centers were not built, and there was the foresight to avoid building on agricultural land. Greenfield projects were the exception, not the rule. This happened in the municipalities of Tolmezzo, San Daniele, Gemona, and in a hundred other municipalities in Friuli.

The best example of how the reconstruction was conducted in Friuli is the case of the Hill Community of Colloredo di Monte Albano (HCC). At the time it included a dozen municipalities (including: Buja, Colloredo di Monte Albano, Fagagna, Majano, Moruzzo, Osoppo, Ragogna, San Daniele del Friuli, San Vito di Fagagna, Treppo Grande) and today it still exists with the denomination of Hill Community of Friuli (Comunità Collinare del Friuli) and a larger number of adherents. The reconstruction plan was studied very quickly (12 months) thanks to a collaboration between HCC and the Piedmont Region which sent a multidisciplinary group from the Polytechnic of Turin and the University of Turin to the site for a year.

I was part of this group from the beginning, and I contributed to the study of the “Threshold Analysis” and its possible application to the reconstruction plan of San Daniele del Friuli and the other municipalities of the HCC [9]. Based on the planning analysis of that part of the region Friuli, it became evident to us that the threshold theory could give a useful direction to post-earthquake reconstruction, even if it had not been developed for this purpose. The threshold analysis takes its first steps in the second post-war period in Poland and arises from the need to efficiently plan post-war reconstruction. The method of analysis is interdisciplinary, with an important role given to economic analysis. The method was formalized in the 1960s [10] and subsequently developed by a multidisciplinary group at the Scottish universities of Edimburgh and Glasgow (respectively by the department of Urban Design and Regional Planning and the Department of Social and Economic Research).

In brief, the theory in its latest version [11] was based on a quantitative method for measuring the costs related to the individual inhabitant to direct the development of a city in one direction rather than another. The method made it clear the various costs associated with the choices of territorial direction, and made it possible to identify the thresholds, or steps, that each choice of plan could generate. For example, crossing a river with urban development requires a bridge or a tunnel whose construction and maintenance costs are important and which for economic efficiency (from the viewpoint of municipal budgets) cannot be charged to a small number of inhabitants. Or on the

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

contrary they can be, as long as the choice is made with good reason and full implications of its consequences on the city budget for years to come.

The reconstruction in the case of the municipalities within the HCC was exemplary. The earthquake-stricken urban cores were rebuilt as they were and where they were, starting with the historic centers, on the basis of an overall plan with the direction in the hands of local authorities. It was not labelled as "strategic plan" but it made strategic choices, on the contrary to some present day strategic plans which are not strategic at all. The planning based on threshold analysis made it possible to look beyond the emergency to the reconstruction of centers with their social and economic relations. Local construction companies played a key role. Many emigrants have returned to work. New businesses have sprung up. The management and public service functions were kept where they were, within the building centers, limiting the new building on country land to a very few exceptions.

In the area of HCC and in the whole Friuli, the reconstruction was focused from day one towards restarting the economic engine of the region which was made of a high number of business enterprises producing large household appliances, furniture (chairs, chickens etc.) and specialized food products (ham, vine, alcoholic beverages etc.). This choice was taken as part of comprehensive scheme which put aside the temptation to use the available resources to build temporary homes on agricultural land. On the opposite, this option was considered highly negative for the future of the community. Perhaps the main reason was not a ban on green-field projects for itself, or an abstract will to protect the environment, but a rationale choice to concentrate all reconstruction efforts to revive the economic engine of the region to prevent a further shift of outmigration flows, which was a real and imminent danger for the community at the time.

2.2 The case of Aquila 2009

In the case of the earthquake which struck the city of Aquila in 2009, an urban and territorial scale problem was addressed as if it were a choice of building technology. The Civil Protection Department (CPD) has been entrusted with a role that is not within its competence, that of territorial planning, and which has shown that it does not know how to play. Thus the CPD has expanded the emergency phase to the point of making choices that introduce new problems for proper spatial planning, as well as having absorbed an excessive amount of economic resources, including time which is perhaps the most limited factor in a reconstruction process. The television tried, with inaugurations, to accredit the idea that the reconstruction had been completed well and on schedule. This was not the case in reality.

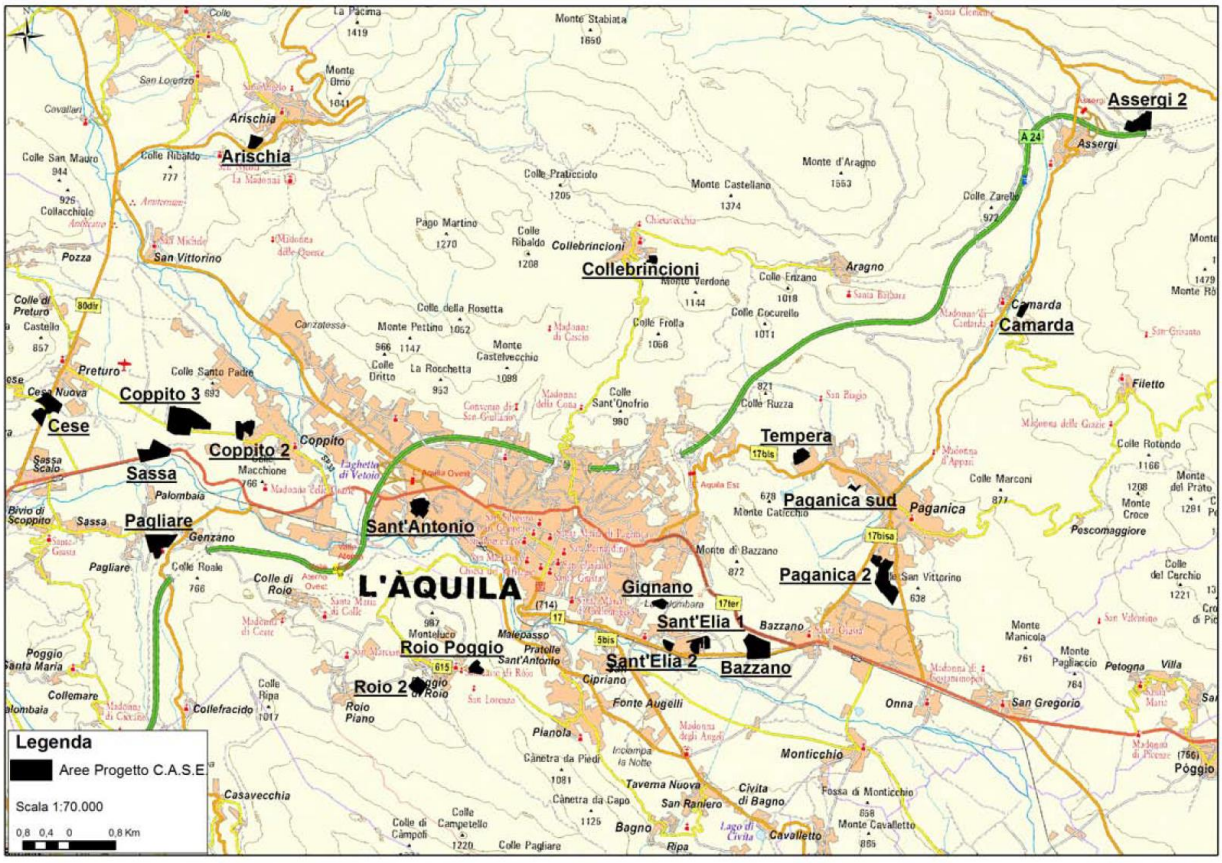
In July 2009 the Italian National Planning Institute (*Istituto Nazionale di Urbanistica-INU*) released a "manifesto of the planners for the reconstruction of the city of Aquila" which affirmed that the reconstruction must be done with a guiding vision of the post-earthquake of the city through a "plan of urban structures" aimed at recovering the role of the historic center and the quality of life. That document maintained that the decision-making method must be participatory, with an active role of citizens, authorities and local businesses. In essence, it was the description of what had happened in Friuli following the 1976 earthquake, as previously described.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

At the decision-making table for the reconstruction, space was left only to the CPD and the central government. Local administrations, including the Province and the Municipality of the city of Aquila, were not left with any decision-making power or even consultative power in the reconstruction process. In this context, the Civil Protection Department conceived and implemented a project named Sustainable and environmentally friendly anti-seismic complexes" (*Complessi Antisismici Sostenibili ed Ecocompatibili - C.A.S.E.*)

The idea was to raise multi-storey residential buildings resting on large concrete slabs cushioned by a system capable of neutralizing the seismic waves of future earthquakes. As it is known, the Civil Protection identified 19 sites (of the initial 20 planned) in tiny hamlets outside the city, at distances of several kilometers from the urban center in a mountainous area, all curves and ups and downs (this is the case, for example of Arischia at 14 kilometers, Assergi at 11 kilometers, etc.), as the map below shows.

Figure 3. City of Aquila, locations of 19 new housing settlements of the project C.A.S.E.



Source: [12]

While the identified locations had up to 7-800 residents at most, the project CASE dumped 1-3 thousands people in each place, housed in buildings built on green-field-areas. The new settlements were pompously presented as "new towns" by government spokesmen, while in reality they were just dormitories in the middle of nowhere.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The project CASE is the pinnacle of a poor management of the reconstruction phase centralized by the government, with total disruption of basic city and regional planning principles, and disregard for the historical characters of the city of Aquila and its landscape. Urban sprawl did exist before the earthquake, but the project CASE as managed by the Civil Protection Department gave a boost to spread out housing and services activities from the historical city center.

Nevertheless, the worst planning mistake that was made in the Aquila case was a different one. In fact, the government gave to the Civil Protection Department a task that was outside the culture and technical expertise of that otherwise useful institution. The result was like placing all chips on the wrong number: the new dormitories scattered around the city, while the historical city center, the true economic and social engine of the wrecked city, was just forgotten.

In December 2009 the Higher Council of Cultural Heritage (*Consiglio superiore dei Beni Culturali*, a central state office) affirmed that 8 months past the earthquake the reconstruction has not even begun, nothing had been done for the historic center, still left to itself. President Andrea Carandini clearly stated that the construction of the "housing project" on green-field land in scattered locations risks bringing the city of Aquila to collapse and transforming it into an empty center, a new Pompeii.

In February 2010 the well-known environment institution Italia Nostra denounced with the urban planner Pier Luigi Cervellati that the city of Aquila risks becoming a "modern necropolis". The reconstruction was set up as an exclusively building problem and not a territorial one: the choice of durable buildings of the “housing CASE project” is wrong, because it drained most economic resources with the only outcome to unbalance the territorial structure of the place. Without its center, the city of Aquila has become a land of frenetic car journeys, and social relations are broken. The CASE project has poured into small hamlets a number of inhabitants even 4 times greater than the local inhabitants, with obvious technical, social and traffic problems. In the beginning of 2010, for the first time the public opinion grasped the gravity of the situation: the absence one year after the earthquake of a reconstruction plan for the historic city and a land reorganization plan.

As a sign of this public awareness, in March 2010 the television gave space to the "wheelbarrow people", indignant residents who begun to remove with their bare hands on a voluntary basis the rubble left on the ground since April 6, 2009. Perhaps the real reconstruction begun with that civil protest which was accompanied by a participatory movement of citizens and local businesses, jointly with local authorities eager to come back in the reconstruction process and play the role that they deserve.

Following the example of Friuli, the reconstruction of Aquila in Abruzzo should have begun with an effort to restart the economic engine of the hit city. The case of Friuli took place in the late Seventies, so it is not a surprise that the economic engine there was a mix of the secondary sector and specialized primary sector business activities. But in the case of Aquila, 33 years later, the economic engine of the city was neither the agricultural nor the industrial sectors, but the mixed-service sector housed in the historical city center of Aquila. Thus, restarting the economic engine of Aquila meant rebuilding as top priority the historical city center. But the reconstruction took a different path, despite several warnings not to do so [13-14-15,169].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

The economic and social engine of the city of Aquila and surrounding region is by no doubts the historical city center, fulcrum of mixed used activities and beating heart of a services-based city exactly as the industrial sector and specialized primary sector were the engine of Friuli in 1976. It is time to recognize how severe was the mistake to invest most of the available economic resources in new housing settlements built by the CASE project on green-field locations scattered with no reason around the city. In 2014 Massimo Cialente, the mayor of Aquila, declared with reference to the master plan of the city that he hoped to approve within 2016, that some of the newly constructed housing neighborhoods had to be teared down [16].

To date, the new master plan has not yet been completed, it has just reached the first draft stage following the decision n. 38/2017 made by the City Council (CC) of Aquila. Embarking now in a battle to refurbish and/or demolish the badly built new housing plots would be a new mistake. Based on the successful experience of Friuli 1976, all financial and intellectual efforts should be concentrated in turning on the engine of Aquila, the one that was forgotten after the earthquake of 2009.

The engine to be turned on in full as soon as possible is the historic center of the city of Aquila. The complete reconstruction of the historic center of the city of Aquila means that its economic base will be reborn. With the city service economy up and running, the social networks of the city will be also revived and the institutional mission to reconnect and restore a live community after the earthquake will be accomplished. If this will be done, the city of Aquila can go back to being what it always was, a compact, lively, dense city, and not a series of dormitory settlements in a suburb without a center.

3. The first item of the to-do-list: single out the engine of the community

Italy is one of the countries in the Mediterranean region with the highest seismic risk, due to its geographic position at the conjunction of the African and Eurasian plates. As shown by the above Figure 1 of the Italian Institute of Geophysics and Volcanology (INGV), the highest seismicity is concentrated in the central-southern part of the peninsula, along the Apennine ridge, plus in the northern part of the country in the regions of Friuli and , western Liguria, and in the southern regions of Calabria and Sicily. Wherever the next big earthquake will hit, it makes sense to have a readily available list of dos and don’ts for the first hours and days after the disaster, to save as many lives as possible. As the first section of this paper has detailed, the Italian Civil Protection Department has already fulfilled this task, the list is available in Italy and it is comparable with the “Seven Steps to Earthquake Safety” produced by the Earthquake Country Alliance (ECA) in California. But it would also make sense to prepare as a joint venture of public institutions with the support of independent experts, an agreed list of dos and don’ts for the first 12 months after the disaster, to restart the economic and social engine of the destroyed centers.

It is relevant to pose the question, how to reconnect and restore (with ECA words) a community after an earthquake? The case of Friuli 1976 teaches that a complete reconstruction is possibly without expanding the urban centers hit by the seismic shakes, under the condition to concentrate the efforts on the economic engine of the local community with a strategic plan. The case of the city of Aquila has

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

made more than clear what are the dangers for community life if the economic and social engine of a place is forgotten in the reconstruction phase.

There is enough evidence in the recent history of natural disasters in Italy, to draft a list of best practices and a list of what has proved to be a dead-end road. The text is restrained to the earthquakes of the north-east region Friuli in 1976 and of the city of Aquila in the southern region Abruzzo in 2009. These two events epitomize two different methods of approaching the reconstruction phase after a major natural disaster. The two cases differ in terms of local governance, urban planning and overall outcome. In Friuli there have been about three times casualties than in the earthquake of Aquila. In the first case the earthquake hit the region twice in the same year (1976) and in a larger area, compared to a single strike and a smaller area of the second case. Nevertheless, the reconstruction of Friuli is generally regarded as a success, while Aquila is not. Indeed, the case of Aquila was such a major failure, that it has become a living lab of what not to do in case an earthquake will hit again an historic city of comparable size somewhere else in Italy.

A complete set of dos and don'ts is useless without a good knowledge of the urban and regional context in which planners act. To compare the two cases, one should notice that public authorities identified different engines for the reconstruction phase. In the Friuli case, the engine was identified with the economic base of the area, thus policies were directed at making business firms up and running as soon as possible. The historical city center of Aquila was the economic and social engine of the destroyed area, thus public policies should have acted accordingly, but they did not. Most of public spending was placed on the development of housing clusters scattered in various municipalities, far from the city core. The outcome was the displacement of residents and business activities, with permanent negative effects. The core-built area of any city should be regarded as the engine for a strategic reconstruction plan, to be implemented within strict deadlines after the next earthquake.

A real reconstruction means restore daily life by reconnecting with others, repairing damage, and rebuilding community threads. This can be done by anchoring the residents to their usual workplace and by providing new ones. The focus should be on the community throughout the reconstruction phase, and by "community" we should mean the residents (people, enterprises, institutions), with all their personal plans, resources and hopes, not just the collapsed walls to be repaired or, worst, be rebuilt somewhere else.

Timing is the key factor for any successful reconstruction program. A debate on reconstruction principles alongside an emergency event is not the ideal setting to make rational decisions, thus national guidelines for reconstruction plans should always be available. Saving lives is of course top priority following an earthquake. But right after this phase, local and central governments are expected to implement a reconstruction plan swiftly. The reconstruction should be a policy prepared in advance at local level through a strategic approach whose guidelines should be set at national level. Having regard to the experiences of two iconic cases of earthquakes occurred in Italy (Friuli 1976 and Aquila 2009), it seems possible to jot down a brief list of dos and don'ts as a guidance for the first 12 months of the reconstruction phase of future earthquakes.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Table 1 A list of dos and don'ts for the next earthquake reconstruction in Italy

Successful factors to watch	Friuli 1976	Aquila 2009	The next place
1. Local governance Reconstruction plan with single desk with direct involvement of municipalities, citizens, grass-root stakeholders and business enterprises	Yes	No	Yes
2. Community engine Swift identification of the social and economic engine of the destroyed urban area	Yes	No	Yes
3. Fast response Efficient management of the time factor in restoring the social and economic engine of the destroyed urban area	Yes	No	Yes
4. Strategic plan Strategic urban planning focused on long-term renaissance goals and on short-term milestones relevant for the local urban community and their business environment	Yes [1]	No	Yes
5 No urban sprawl Brown-field projects as a rule, green-field project as rare exceptions. No "new towns" whatsoever. Recover from past urban sprawl, ovoid new urban sprawl	Yes	No	Yes

According to the list in Table 1 above, the way to go about the reconstruction phase in future earthquakes in Italy seems to have some strong reference points. Any successful reconstruction activity should be inspired by the goal to revive the local community as soon as possible after the disaster. The preferred form of governance should include a representative mix of municipalities, citizens, grass-root stakeholders and business enterprises. The reconstruction program should not be based solely on urban planning rules, whose limits have already been highlighted [17, 379]. A strategic planning process should be designed and implemented, based on a single decision-making table with public and private stakeholders joint in the effort to single out, in the case at hand, the economic and social engine of the community. The available resources should be targeted to turn on swiftly the engine so identified. A critical factor to watch is timing. The reconstruction strategic plan should be focused on long-term renaissance goals and on short-term milestones relevant to the local urban community and their business environment. As the strategic planning method requires, monitoring and reporting should be carried out on an open-source platform.

New green-field real estate developments may be admitted as rare exceptions, while brown-field projects should be the rule for local building codes. No "new towns" whatsoever should be allowed. Finally, the reconstruction plan may become a great opportunity to fix cases of past urban sprawl, which are present almost everywhere now, not just to prevent new urban sprawl waves.

Notes

1. Reconstruction plan of the Hill Community of Colloredo di Monte Albano.

References

1. protezionecivile.gov.it
2. iononrischio.protezionecivile.it/en/earthquake/are-you-ready/case-of-an-earthquake/

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3. esse1-gis.mi.ingv.it/mps04_eng.jsp
4. earthquakecountry.org/sevensteps/
5. Amato A., Pignone M., Nostro C. (editors), “Friuli 1976 earthquake and multiple seismic swarms”, *Earthquake*, 6/5/**2016** [Online] <http://iononrischio.protezionecivile.it/en/friuli-1976-earthquake-and-multiple-seismic-swarms/> [last seen 10/03/2021]
6. uniud.it/it/ateneo-uniud/ateneo-uniud/storia/storia#section-1
7. Fabbro S., Gennaro P. S., (editors), *Università e territorio*, Forum Editrice, Udine, **2019**.
8. Ave G., “La città universitaria, fattore strategico della competizione territoriale”, in: Fabbro S. , Gennaro P. S. (editors), *Università e territorio*, Forum Editrice, Udine, 45-78, **2019**.
9. G. Ave; A. Spaziante, *Proposte per un adattamento delle procedure di indagine previste dal metodo dell'analisi della soglia*, Regione Piemonte, Torino, **1978**.
10. Malisz B. , *Ekonomika ksztaltowania miast (Economics of Town Planning)*, Polish Academy of Science, Warsaw, **1963**.
11. Kozlowski J., Hughes J.T. with Brown R., *Threshold Analysis. A quantitative planning method*, The Architectural Press, London, **1972**.
12. www.protezionecivile.gov.it/media-communication/news/detail/-/asset_publisher/default/content/avviati-i-cantieri-in-tutte-le-19-aree-del-progetto-c-a-s-e-
13. G. Ave, “L’Aquila: primo, ricostruire la città storica”, in: *Il Nuovo Cantiere*, n. 3, **2010**, 94.
14. Lauraq, Ancsa, Inu (editors), “Dio salvi l’Aquila. Una ricostruzione difficile. Libro bianco”, Allegato a: *Urbanistica Informazioni*, n. 235, December **2010**.
15. G. Ave, *Città e interesse pubblico. Analisi e proposte per le città italiane, 1989-2020*, Gangemi Editore International, Roma, **2020**.
16. Ciuffini R., “PRG, Cialente: Alcuni quartieri del Progetto Case andranno rimossi", in: *Newstown.* Le notizie dalla città che cambia, 11th December **2014** [Online] <https://news-town.it/politica/5887-nuovo-prg,-il-procedimento-entra-nel-vivo-cialente-approvazione-nel-2016.html > [last seen 10/03/2021].

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale: primi risultati su edifici rappresentativi del parco edilizio italiano

Marianna De Monaco [1,*], Laura Canale, Giorgio Ficco[1], Andrea Frattolillo[2], Marco Dell' Isola[1], Biagio Di Pietra[3], Giovanni Puglisi[3], Ilaria Bertini[3]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica, Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Via G. Di Biasio 43, 03043 Cassino (FR), Italia

[2] Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e Architettura, Università di Cagliari, via Marengo 2, 09123 Cagliari, Italia

[3] ENEA, Dipartimento Unità Efficienza Energetica, Roma, Italia

* Autore di riferimento. e-mail: marianna.demonaco@unicas.it

Abstract: La Energy Performance of Building Directive (EPBD) 2018/844/UE ha recentemente confermato la primaria importanza degli Smart Buildings, introducendo lo Smart Readiness Indicator (SRI) al fine di fornire un quadro per valutare e promuovere la smartness degli edifici in Europa. Tale indicatore ha l'obiettivo di misurare la capacità dell'edificio di adattare il proprio funzionamento alle esigenze sia dell'occupante sia della rete e di migliorarne l'efficienza e la prestazione energetica complessiva. Recentemente La Commissione Europea ha emanato un regolamento delegato e un regolamento esecutivo con i quali viene definito un quadro metodologico di calcolo dello SRI e sono individuati diversi percorsi d'attuazione possibili per gli Stati Membri che decideranno di implementare lo schema comune europeo. In questo lavoro gli autori applicano la metodologia di calcolo dello SRI, proposta dallo studio tecnico di supporto allo sviluppo dello schema comune europeo, a tre casi di studio presi come rappresentativi del parco edilizio italiano. I risultati ottenuti consentono di valutare con maggiore dettaglio il livello di smartness raggiungibile dagli edifici esaminati, valutando anche gli effetti di interventi di riqualificazione applicati allo specifico dominio acqua calda sanitaria, e di proporre possibili suggerimenti per una migliore implementazione dell'SRI nello scenario italiano.

Keywords: Smart Readiness Indicator; acqua calda sanitaria; efficienza energetica; smart building.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

1. Introduzione

È ben noto che, nell'Unione Europea, il settore residenziale è responsabile di circa il 40% del consumo energetico e il 36% delle emissioni di CO_2 [1] e che, nell'ultimo ventennio, l'Unione Europea ha emanato una serie di provvedimenti per far fronte alla problematica energetica nel settore residenziale. In particolare, la Energy Performance of Building Directive (EPBD), a partire dal 2002 [2], ha introdotto una serie di misure per il potenziamento delle performance energetiche degli edifici. L'ultimo recente emendamento della EPBD (2018/844/UE) [3], ha integrato e modificato le precedenti versioni, introducendo alcuni obiettivi principali: i) promuovere la mobilità sostenibile (incrementando le possibilità di gestione sul fronte dei veicoli elettrici) [4,5]; ii) incoraggiare l'utilizzo di tecnologie smart per edifici esistenti e di nuova costruzione [6,7]; iii) sensibilizzare e accrescere la consapevolezza energetica degli utenti [8–10]; iv) incentivare alla decarbonizzazione, allo sviluppo di un parco edilizio NZEB (Nearly Zero Energy Building) e all'azzeramento delle emissioni di gas climalteranti entro il 2050 [11,12]. In particolare, è emersa sempre di più l'importanza di edifici che non solo rispettino stringenti requisiti prestazionali (i.e., NZEB) ma che associno a tale caratteristica la possibilità di interagire in maniera attiva con gli utenti e con le reti. In questa accezione, gli "Smart Buildings" presentano una serie di fattori migliorativi, in linea con gli obiettivi Europei [13], quali ad esempio: i) la possibilità per occupanti e operatori di comunicare con l'edificio in modo agevole [14]; ii) la raccolta di informazioni utili da e per l'occupante; iii) la comunicazione con la rete elettrica [15]; iv) l'applicabilità di sistemi per il controllo del carico sulla rete elettrica [16]; v) la maggiore sicurezza [17,18]; vi) maggiore comfort [14,19]; vii) riduzione delle emissioni di CO_2 [20]; viii) riduzione dei costi operativi di riscaldamento, raffrescamento e illuminazione [21].

In tale contesto, la Direttiva Europea 2018/844/UE [3] ha introdotto lo Smart Readiness Indicator (SRI), con l'obiettivo di predisporre un quadro comunitario facoltativo per la valutazione del grado di intelligenza degli edifici [22]. Come previsto dall'articolo 8 della stessa Direttiva, la Commissione Europea ha emanato un regolamento delegato [23] e un regolamento esecutivo [24] con i quali vengono definiti, rispettivamente, un quadro metodologico di calcolo dello SRI e le modalità di attuazione dello stesso da parte dei singoli Stati Membri. Per fornire un supporto alla definizione della metodologia di calcolo dello SRI, la DG ENERGY della Commissione Europea ha promosso due studi tecnici condotti da un consorzio di ricerca [25,26], durante i quali è stata elaborata e proposta una metodologia di calcolo dell'indice e il relativo catalogo dei servizi intelligenti da valutare nell'edificio esaminato.

Per la valutazione dello SRI, vengono presi in considerazione nove domini di valutazione (riscaldamento, raffreddamento, acqua calda sanitaria, ventilazione controllata, illuminazione, involucro edilizio dinamico, generazione di energia rinnovabile in loco, gestione lato domanda, ricarica, monitoraggio e controllo di veicoli elettrici). A ciascun dominio, sono associati diversi livelli di funzionalità, per i quali valori più elevati indicano un'implementazione più intelligente del rispettivo servizio [27]. L'implementazione dello SRI conduce ad alcuni vantaggi, tra i quali: i) sostenere l'innovazione delle tecnologie smart negli edifici; ii) aumentare la consapevolezza degli occupanti nei confronti del consumo energetico; iii) migliorare l'efficienza energetica complessiva e la performance dell'edificio; iv) contribuire all'obiettivo di decarbonizzazione e sensibilizzazione nell'utilizzo di tecnologie da fonti rinnovabili

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Pochi studi sono disponibili in letteratura che analizzano in maniera dettagliata lo SRI, in riferimento sia alla metodologia di calcolo che all'applicazione a diversi edifici caso di studio. In particolare, Marzinger et al. [27] hanno descritto una metodologia semplificata per la valutazione quantitativa dello SRI, basata su modelli numerici, permettendo la categorizzazione degli edifici in base alla loro capacità di accumulo di energia, del potenziale spostamento del carico e dell'interazione degli edifici con la rete. Janhunen et al. [28] hanno sperimentato il calcolo dello SRI in alcuni edifici del nord Europa. In questo studio, la valutazione degli smart ready services del dominio Acqua Calda Sanitaria (ACS) è stata condotta su tre edifici campione evidenziando come, indipendentemente dalla tipologia di edificio lo SRI non sia in grado di riconoscere le caratteristiche specifiche degli edifici in un clima freddo, in particolare di quelli che impiegano sistemi avanzati di teleriscaldamento. Gasparella et al. [29] hanno valutato l'impatto delle valutazioni soggettive sull'indicatore calcolato, adottando una valutazione in due fasi con il coinvolgimento di due team di esperti e presentando una serie di raccomandazioni per un'efficace e ampia implementazione della metodologia SRI.

I risultati di uno studio condotto da Fokaides et al. [30] hanno evidenziato valori di SRI particolarmente penalizzanti in piccoli edifici dove non è presente un sistema BMS (Building Management Systems).

In questo lavoro gli autori presentano l'applicazione della metodologia di calcolo dello SRI per il dominio ACS, in riferimento ad alcuni edifici caso di studio di edilizia residenziale in Italia, analizzando il livello di intelligenza e le potenzialità dei dispositivi attualmente presenti. È stato scelto il dominio ACS per diversi motivi: i) i consumi di ACS avranno un peso percentuale sempre maggiore sul totale dei consumi energetici negli edifici ad elevate prestazioni [31,32]; ii) le tecnologie di retrofit e di risparmio energetico sono state negli ultimi anni sempre di più indirizzate alla climatizzazione piuttosto che alla produzione di ACS; iii) i consumi di ACS impattano anche sui consumi di acqua e quindi hanno un duplice ruolo sulla sostenibilità energetica. A tal fine, è stata condotta un'analisi preliminare dei sistemi di ACS in riferimento ai sistemi di: produzione, accumulo, distribuzione, regolazione, monitoraggio e utilizzo. Il calcolo dello SRI viene poi applicato a 3 edifici focalizzando l'attenzione sul dominio ACS, al fine di valutare il livello di smartness raggiunto dalle soluzioni analizzate e individuare i possibili miglioramenti applicabili con specifico riferimento alle tipologie impiantistiche utilizzate nel parco edilizio nazionale. Sono stati quindi simulati possibili scenari di efficientamento del dominio ACS e valutati i rispettivi impatti sullo SRI totale e di dominio. Il contributo del presente lavoro è relativo alla stima dell'impatto sull'SRI totale di un singolo dominio, con l'obiettivo di individuare possibili sviluppi futuri della metodologia di calcolo per il contesto nazionale.

2. Sistemi per l'acqua calda sanitaria nel settore residenziale

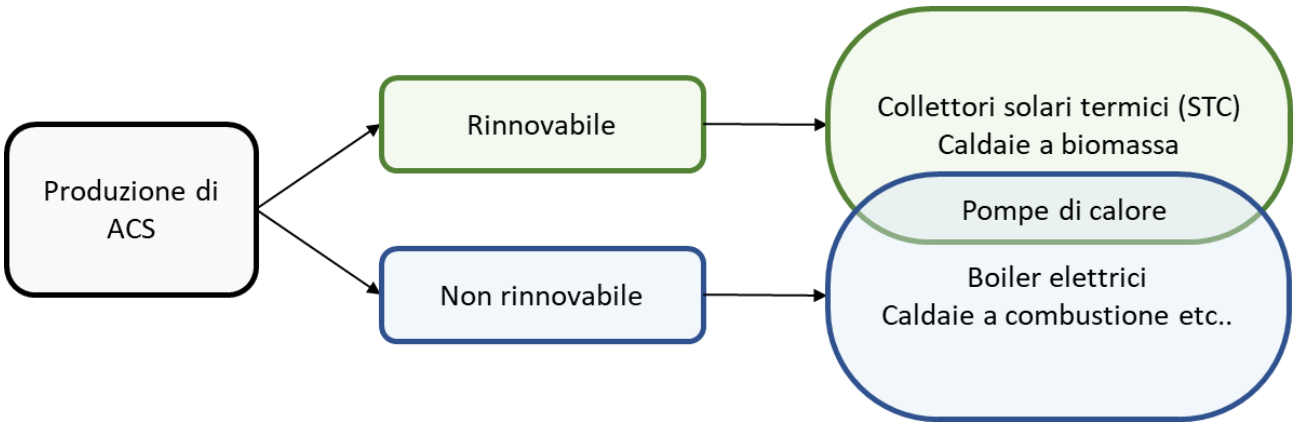
2.1 Sistemi di produzione, accumulo, distribuzione e regolazione

I sistemi di produzione di ACS possono essere classificati in elettrici (e.g., a resistenza e a pompa di calore) e non elettrici (e.g., caldaie a combustione), rinnovabili (e.g., collettori solari termici) e non rinnovabili e le rispettive ibridazioni [33] (e.g., sistemi integrati costituiti da pannelli fotovoltaici (PV)

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

[34,35] e pompe di calore o boiler elettrici etc.), come mostrato in Figura 1. È possibile osservare come le pompe di calore siano classificate sia come sistemi completamente rinnovabili (se alimentate da impianti PV) che parzialmente rinnovabili (se alimentate da rete elettrica). In particolare, si sottolinea come i sistemi di produzione di ACS costituiti da pompa di calore, pannelli PV e un sistema di accumulo opportunamente dimensionato, giocheranno un ruolo sempre maggiore nella fornitura di ACS in uno scenario di sistemi energetici fortemente decarbonizzati [36].

Figura 1. Classificazione dei sistemi di produzione di ACS.



I sistemi di accumulo nel settore residenziale consistono in serbatoi di diversi materiali opportunamente coibentati, le cui principali funzionalità e peculiarità sono:

- la capacità termica (in termini sia di gestione della domanda che di matching tra produzione e domanda);
- la disinfezione termica (contenimento del rischio di contaminazione da legionella, pseudomonas etc.);
- la stabilizzazione dei livelli di pressione dell'impianto di produzione e distribuzione;
- le dispersioni energetiche (derivanti da isolamento termico e dalle dimensioni del serbatoio) [37].

I sistemi di accumulo sono indispensabili alla funzionalità dell'impianto laddove la potenza del sistema di produzione o la disponibilità della fonte energetica siano insufficienti rispetto alla domanda. Ciò accade nei sistemi di produzione non istantanei, dove la potenza del generatore non consente un riscontro immediato tra la domanda di ACS e la disponibilità della stessa.

Il sistema di distribuzione è costituito da una molteplicità di componenti (i.e., tubazioni, valvole, pompe, miscelatori etc.) che devono essere opportunamente scelti e dimensionati [38,39]. Sono oggi disponibili numerose tecnologie impiantistiche e tubazioni di diversi materiali (e.g., rame, multistrato etc.). Il corretto dimensionamento dell'impianto di distribuzione è fondamentale per garantirne la corretta funzionalità e varia in funzione del tipo di utenza (abitazioni private, uffici, ospedali, alberghi, scuole), del numero di occupanti, del numero totale di punti di prelievo e della frequenza d'uso etc. Il sovradimensionamento di alcuni componenti non sempre dà migliori garanzie, in quanto comporta l'aumento delle dispersioni termiche ed il rischio di ristagno (con conseguente sviluppo batterico, formazione di depositi e degrado della qualità dell'acqua). Gli impianti possono essere sostanzialmente

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

distinti in sistemi con e senza ricircolo, questi ultimi prevalentemente applicati in impianti di grandi dimensioni con produzione centralizzata per garantire l'immediata disponibilità di ACS alla temperatura desiderata.

Pertanto, un sistema di distribuzione correttamente progettato ed esercito dovrebbe garantire: una portata idonea nelle diverse condizioni di utilizzo, un campo di temperatura ottimale dell'ACS (idoneo isolamento termico) ed una disponibilità immediata di ACS.

I sistemi di regolazione e controllo devono pertanto garantire le suddette funzionalità, operando sull'intero sistema di produzione, accumulo e distribuzione. Generalmente, questi sistemi sono caratterizzati da una catena di controllo aperta, regolando esclusivamente la pressione in ingresso, le portate di ricircolo (nel caso di sistemi centralizzati con ricircolo), le temperature di mandata e di stoccaggio. Particolarmente rilevante ai fini della salute e del benessere degli utenti è il problema del controllo della temperatura di stoccaggio che, in impianti dotati di accumulo, deve essere tale da evitare contaminazioni da agenti patogeni come legionella e pseudomonas [40–42].

2.2 Monitoraggio e utilizzo

Gli usi finali di ACS possono essere molteplici, in funzione delle tipologie di utenza. In particolare, sebbene l'ACS sia impiegata prevalentemente nelle utenze residenziali per l'igiene personale, l'uso di ACS è particolarmente rilevante anche per il lavaggio delle stoviglie, degli indumenti e degli ambienti domestici. Per tali motivi, il livello ottimale della temperatura di utilizzo può essere diverso in funzione delle finalità. A tal fine, il set-point di temperatura richiesto dovrebbe essere impostato sulla base della temperatura massima necessaria all'utenza, tenendo anche in conto i problemi di contaminazione summenzionati. Per quanto concerne i valori della temperatura ottimale di miscelazione dell'ACS ai fini dell'igiene personale, in letteratura viene riportato un valore compreso tra 40.2 °C e 43.8 °C [43,44]. Un aspetto particolarmente rilevante ai fini della caratterizzazione dell'utenza consiste nella valutazione dei profili tipici di prelievo [45]. È stato evidenziato come il consumo di ACS sia costituito da una componente deterministica e da una componente randomica. Da un lato, infatti, gli utenti tendono a utilizzare ACS più o meno alla stessa ora ogni giorno (con alcune differenze nei giorni lavorativi rispetto ai giorni non lavorativi), dall'altro, il consumo di ACS varia stocasticamente a causa di eventi difficilmente prevedibili come periodi di vacanza/non occupazione, ma anche del numero variabile di docce/persona/giorno, del numero variabile del carico e della temperatura dei cicli di lavaggio, dell'uso variabile di lavastoviglie, etc. [46]. In tal senso, Hendron et al. [46], hanno evidenziato come per la caratterizzazione dei profili di utilizzo di ACS, sia necessaria la conoscenza di: numero di prelievi, durata di prelievo, volumi, portate e gli orari di inizio degli eventi per diversi edifici, utenti e condizioni climatiche. La conoscenza approfondita e la definizione dei profili di utilizzo dell'ACS, consentono una migliore valutazione dell'efficienza energetica degli edifici e delle strategie di controllo basate sull'implementazione dei modelli di consumo [45,46].

È evidente dunque che la corretta previsione dei profili di consumo (necessaria per il raggiungimento di un elevato livello di smartness) richiede l'utilizzo di sistemi di monitoraggio in grado di raccogliere dati di utilizzo cumulati ed in tempo reale del consumo di ACS. Il monitoraggio dei consumi riveste un

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

ruolo fondamentale negli edifici smart per molteplici aspetti: i) la conoscenza dei consumi energetici da parte degli utenti finali è fondamentale per ottenere minori consumi di energia e di acqua [47]; ii) i sistemi di monitoraggio avanzati possono contribuire al rilevamento di guasti e perdite sui circuiti di distribuzione, produzione ed accumulo (fault detection) etc.; iii) l'implementazione di un elevato livello di intelligenza richiede anche l'applicazione di tecniche di analisi e previsione futura "data-driven".

Il monitoraggio dei consumi di energia termica, elettrica e di gas è realizzato principalmente attraverso contatori smart, mentre più rare sono le applicazioni di contatori smart di acqua e di ACS (che in linea di principio potrebbe anche essere misurata attraverso contatori di energia termica) in grado di fornire una o più delle seguenti funzioni: i) misura (attraverso uno o più sensori, e.g. temperatura, pressione, flusso, un sistema di conteggio e un sistema di cronometraggio); ii) attuazione (per telecontrollo, garanzia di sicurezza dell'utente e per garanzie contrattuali); iii) elaborazione (e.g. funzioni di calcolo integrale, compensazione, correzione, memorizzazione); iv) trasmissione bidirezionale (wired o wireless); v) visualizzazione; vi) allarme in caso di anomalie. Al contatore principale possono essere associati sensori secondari per il monitoraggio di altri parametri di interesse per la diagnosi (e.g. condizioni climatiche esterne ed interne). Prerequisito indispensabile per un sistema di monitoraggio è il sistema di comunicazione con gli occupanti (interfaccia utente). Il dato energetico può essere presentato in una forma non elaborata (i.e., valori attuali di consumo, temperatura etc.) oppure prevedere un opportuno sistema di post-elaborazione del dato che consenta di effettuare un benchmark dei consumi (confronti con consumi storici, consumi medi di utenti simili etc.) oppure effettuare un'analisi predittiva. In tal senso, si evidenzia come sia la letteratura che il mercato dei dispositivi smart di misura e monitoraggio sembrano essere più focalizzati sui consumi di energia termica per riscaldamento/raffrescamento, e di energia elettrica e di gas e meno sui consumi di acqua e di ACS, sebbene il potenziale impatto energetico ed ambientale di tali consumi sia estremamente elevato [48,49].

2.3 Sistemi smart per l'ACS

In definitiva, per poter ridurre gli impatti totali derivanti dall'uso di ACS, occorre agire anche simultaneamente su molteplici fattori, quali: i) aumentare la consapevolezza degli utenti attraverso l'applicazione di sistemi di monitoraggio, ii) l'uso di sistemi di produzione da energia rinnovabile (STC, PV e pompa di calore etc.); iii) il corretto dimensionamento dell'impianto, inclusi i sistemi di accumulo e i sottosistemi di regolazione (anche utilizzando dispositivi domestici per il risparmio idrico quali frangigetti, rubinetti temporizzatori); iv) esercire correttamente i sistemi attraverso una regolazione ottimale delle pressioni, delle temperature e delle portate di ricircolo.

I sistemi più moderni di gestione di ACS consentono l'utilizzo di dispositivi smart che adempiono diverse funzioni e abilitano una interazione bidirezionale dei sistemi con gli utenti e con le reti, assolvendo anche a funzioni complesse di controllo, profilazione e a funzioni elementari di monitoraggio, gestione degli allarmi e settaggio. In Tabella 1 vengono riportati gli impatti di queste funzionalità in relazione alla metodologia di calcolo dello SRI [25,26].

Tabella 1. Funzionalità intelligenti per ACS e relativi impatti.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Funzione	Salute, benessere e comfort	Risparmio energetico	Manutenzione predittiva e diagnosi	Flessibilità per la rete e lo stoccaggio	Informazione agli occupanti	Facilitazione gestionale
Capacità di modificare i parametri di funzionamento (temperatura, pressione, portata, orari) in funzione delle esigenze dell'utenza	X	X				X
Capacità di interagire con gli occupanti in modo bidirezionale (reporting e profilazione utente)		X	X	X	X	X
Capacità di interazione con lo stato delle reti (idrica/termica/elettrica/gas) (Demand Side Management)		X		X		X
Fault detection, diagnosi, allarmi, manutenzione predittiva			X		X	
Monitoraggio in tempo reale dei consumi e del sistema, delle funzionalità e dell'energy saving	X	X	X	X	X	X

3. Metodologia di calcolo dello SRI

Il metodo di calcolo dello SRI è descritto nel documento "Final Report On The Technical Support To The Development Of A Smart Readiness Indicator For Buildings" [25]. La metodologia è multilivello e si basa su criteri di impatto, servizi di dominio e livelli di funzionalità. Vengono in particolare valutati 9 domini di servizio (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica controllata, illuminazione, involucro dinamico, generazione elettrica, ricarica di veicoli elettrici, monitoraggio e controllo) e 7 criteri di impatto (risparmio energetico, manutenzione e fault detection, comfort, convenienza, informazione agli occupanti, salute e benessere, flessibilità della domanda energetica) come illustrato in Figura 2. Per ciascun dominio, sono definiti diversi servizi intelligenti (smart ready services) eventualmente presenti in funzione dalle caratteristiche impiantistiche del servizio considerato.

Ad ogni servizio possono essere assegnati diversi livelli di funzionalità, ognuno dei quali rappresenta un grado di intelligenza, in una scala crescente da 0 (i.e. servizio "non intelligente") a un valore massimo (che può variare da 2 a 5 a seconda del servizio) per le funzionalità avanzate. Poiché i punteggi massimi assegnati ai diversi livelli di funzionalità sono variabili, non è applicabile un confronto diretto tra i diversi servizi [29]. Per lo specifico dominio ACS sono previsti 4 servizi intelligenti. A titolo di esempio, in Tabella 2 sono mostrati i livelli di funzionalità per due dei servizi intelligenti del dominio ACS, rispettivamente: "Controllo della carica dell'accumulo di ACS con riscaldamento elettrico diretto o pompa di calore elettrica integrata" e "Informazioni relative alle prestazioni del servizio ACS".

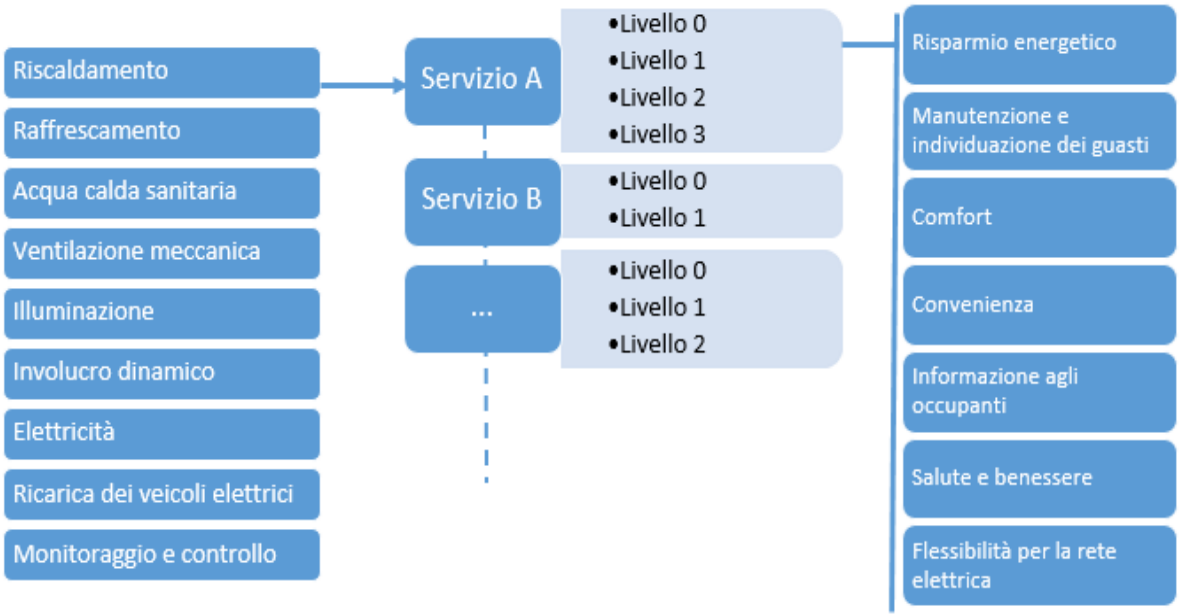
Tabella 2. Servizi e livelli di funzionalità del dominio ACS

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Servizio intelligente		Livello di funzionalità	
Controllo della carica dell'accumulo ACS	Con riscaldamento elettrico diretto o pompa di calore elettrica integrata	0	Controllo on/off
		1	Controllo automatico on/off e abilitazione della ricarica programmata
		2	Controllo automatico on/off e abilitazione della ricarica programmata, controllo e gestione dello storage multi-sensore
		3	Controllo automatico della carica basata sulla disponibilità locale di rinnovabili o informazioni dalla rete elettrica (DR, DSM)
Informazioni relative alle prestazioni del servizio ACS		0	Nessuno
		1	Indicazione dei valori attuali (e.g. temperature, consumi)
		2	Valori istantanei e dati storici
		3	Valutazione delle prestazioni incluso previsione futura e/o benchmarking

I punteggi assegnati ai singoli servizi possono essere sommati per ciascuno dei domini e divisi per i punteggi individuali massimi teorici al fine di ottenere un punteggio di impatto del dominio. Per ogni criterio di impatto, è possibile calcolare il punteggio totale come somma ponderata dei punteggi di impatto del dominio.

Figura 2. Metodologia multilivello SRI.



Lo SRI viene quindi determinato come somma ponderata dei punteggi di impatto totale ed esprime quanto è vicino (o lontano) l'edificio dalla sua massima intelligenza teorica (cioè 100%). Il valutatore è libero di scegliere il sistema di ponderazione predefinito oppure assegnare delle ponderazioni differenti sulla base delle caratteristiche proprie degli edifici oggetto di valutazione (condizioni climatiche, caratteristiche del parco edilizio nazionale o regionale etc.). È possibile calcolare uno SRI totale di

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

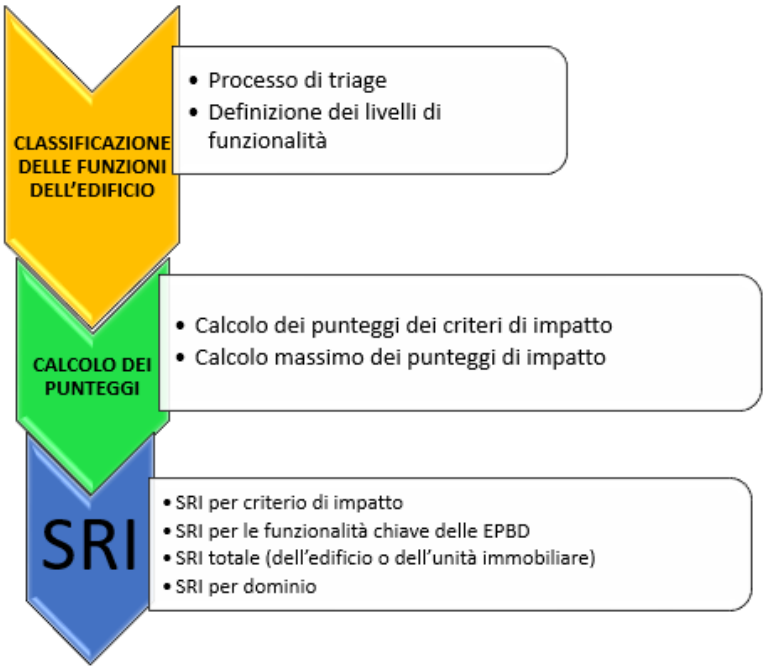
edificio, uno SRI per criterio di impatto, uno SRI relativo alle EPBD key capabilities, uno SRI per dominio. La Guida [25] propone tre metodi per la valutazione dello SRI:

- Metodo A: destinato a edifici residenziali o piccoli edifici non residenziali, consiste in una breve autovalutazione dei servizi intelligenti;
- Metodo B: consiste in una valutazione più dettagliata dei servizi intelligenti principalmente in edifici non residenziali, generalmente effettuata da parte di operatori esperti;
- Metodo C: consiste in una valutazione più avanzata basata sul monitoraggio diretto in campo dei livelli di funzionalità (da effettuarsi ad esempio attraverso l'auto-reporting da sistemi BACS); tale metodologia è comunque ancora oggetto di sviluppo.

L'applicazione del metodo A comprende un numero ristretto di servizi intelligenti (27 servizi), l'implementazione del metodo B, scelta come riferimento nel presente studio, consente invece di valutare edifici più complessi e servizi più avanzati con un catalogo di 54 servizi [25].

In fase preliminare, è essenziale definire inizialmente i domini presenti nell'edificio oggetto di valutazione, mediante un processo di valutazione iniziale denominato "triage process" [25]. In tale fase, viene redatto un inventario dei servizi intelligenti presenti nell'edificio analizzato mediante una semplice check-list. In una seconda fase, vengono assegnati i livelli di funzionalità a ciascuno dei servizi intelligenti individuati nella prima fase consentendo, in ultimo, di valutare l'SRI totale e gli SRI di dominio e di impatto, come mostrato in Figura 3. Nel presente studio, il calcolo dello SRI per gli edifici esaminati è stato effettuato utilizzando il metodo applicato nella prima fase di testing dello studio tecnico [25].

Figura 3. Step di calcolo metodologia SRI [25].



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

3.1 Descrizione degli edifici caso di studio

Gli autori hanno applicato la metodologia dello SRI a tre edifici residenziali tipici del parco edilizio italiano situati nel centro-sud Italia. Gli edifici caso di studio sono stati scelti con riferimento alle categorie edilizie tipiche del parco edilizio nazionale [50–52], sulla base di un'analisi dei dati statistici dell'ultimo censimento ISTAT degli edifici e delle abitazioni italiane già sviluppata dagli autori in una precedente attività di ricerca [52]. Sono stati in particolare considerati:

i) un edificio monofamiliare (caso di studio A) costruito prima degli anni '80 (circa il 70% degli edifici italiani sono riconducibili a questa epoca costruttiva), ovvero prima della definizione di un impianto legislativo e regolatorio sull'efficienza energetica degli edifici;
ii) un'unità immobiliare in un edificio multifamiliare (caso di studio B) costruita tra il 1981 e il 2000 (circa il 20% degli edifici italiani si riferiscono a tale epoca costruttiva);
iii) un edificio di recente costruzione (caso di studio C), dotato di impianti tecnici e di caratteristiche termofisiche particolarmente performanti.

La scelta dell'edificio C, sebbene poco rappresentativa del parco edilizio nazionale attualmente esistente, risulta interessante ai fini della valutazione dei valori di SRI delle "best practices" dell'edilizia residenziale. Di seguito si riporta una breve descrizione dei tre edifici casi di studio oggetto di valutazione.

L'edificio caso di studio A è rappresentato una villetta monofamiliare isolata, costruita negli anni '70. È costituita da un piano terra confinante con un sottotetto non isolato per una superficie netta totale di 133 m^2. L'involucro edilizio presenta basse performance energetiche, essendo costruito in muratura portante in mattoni pieni di tufo (spessore circa 0.65 m), con serramenti con telaio in alluminio senza taglio termico e a singolo vetro. Il riscaldamento è realizzato attraverso un camino a legna e da generatori a resistenza elettrica, mentre uno scaldacqua di potenza 16 kW alimentato a G.P.L. è utilizzato per la produzione di ACS. Date le caratteristiche termofisiche ed impiantistiche, l'edificio risulta rappresentativo di una categoria edilizia a basse performance energetiche peraltro molto diffusa nel parco edilizio regionale di riferimento [50–52].

L'edificio caso di studio B è un'unità immobiliare situata in un condominio multi-familiare, costruito negli anni '90, avente una superficie netta totale di 70 m^2. La muratura esterna è in tamponatura a corpo unico (spessore 0.40 m), i solai interpiano sono laterocementizi non isolati, i serramenti sono in alluminio, con doppio vetro e taglio termico. È presente una caldaia monostadio da 24 kW per la produzione combinata di ACS e riscaldamento e un impianto di climatizzazione a pompa di calore per il raffrescamento estivo.

Il caso di studio C è un'abitazione monofamiliare di nuova costruzione avente una superficie netta totale di circa 165 m^2. L'edificio risponde ai requisiti minimi prestazionali determinati dalla legislazione vigente sia in relazione all'involucro edilizio, che in relazione agli impianti [53]. Gli impianti tecnici sono costituiti da: i) una unità di trattamento aria con recupero termico dall'aria esausta; ii) un sistema solare termico con serbatoio di accumulo per la produzione di ACS; iii) un impianto PV con sistema di accumulo elettrico; iv) una gestione automatica degli schermi e v) un sistema di free cooling controllato in funzione dei dati di una stazione meteo installata in loco.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Al fine di valutare il potenziale miglioramento dell'indice SRI con specifico riferimento al servizio ACS, sono state valutate alcune soluzioni di retrofit per tutti i casi di studio. In Tabella 3 sono riportati i dispositivi e i sistemi impiegati per la realizzazione degli interventi di retrofit nei tre casi esaminati. Per la riqualificazione, sono stati considerati i soli interventi impattanti sul dominio ACS.

Tabella 3. Dispositivi e sistemi impiegati per il retrofit dei casi di studio

Tipo di riqualificazione	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
Produzione e accumulo	Sostituzione del sistema di produzione di ACS con sistema FER (STC) assistito da sistema di generazione elettrico e sistema di accumulo	Sostituzione del sistema di generazione esistente con una caldaia a condensazione intelligente comprensiva di: a) un piccolo sistema di accumulo (15 l)	--
Controllo e regolazione	Installazione di un sistema di controllo dello stato di carica dell'accumulo e di accensione/spegnimento generatore elettrico	b) controllo automatico di accensione/ spegnimento, del livello termico dell'accumulo programmato e gestione dell'accumulo mediante sensori	--
Monitoraggio	Installazione di un sistema di monitoraggio dei consumi di energia elettrica per la produzione di ACS	c) reporting sulle performance dell'impianto termico (incl. previsione futura e confronto con impianti di riferimento, individuazione predittiva dei guasti)	Installazione di un sistema di reporting delle performance dell'impianto (incl. previsione futura e confronto con impianti di riferimento, individuazione predittiva dei guasti)

4. Risultati

4.1 Fase di triage: individuazione dei domini, dei servizi e dei livelli di funzionalità

I domini tecnici presenti nei tre edifici esaminati, determinati a valle del processo di triage sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4. Domini presenti nei casi di studio.

Domini	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
Riscaldamento	SI	SI	SI
Raffrescamento	NO	SI	SI
ACS	SI	SI	SI
Ventilazione meccanica	NO	NO	SI
Illuminazione	SI	SI	SI
Involucro dinamico	NO	NO	SI
Elettricità: rinnovabili e storage	NO	NO	SI
Ricarica dei veicoli elettrici	NO	NO	NO

Le caratteristiche specifiche dei domini selezionati dal processo di triage sono riportati in Tabella 5. Nel caso dei domini oggetto di ipotesi di riqualificazione , i.e. ACS e riscaldamento (solo per il caso di studio B) sono state riportate le caratteristiche del sistema tecnico prima e dopo gli interventi di riqualificazione energetica.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 5. Caratterizzazione dei singoli domini (n/p = servizio non presente)

Dominio	Informazioni di input	Caso di studio A		Caso di studio B		Caso di studio C	
Riscaldamento	Emissione	Non idronico		**Pre retrofit** Idronico (radiatori)	**Post retrofit** n/p	Non idronico (e.g., a tutt'aria)	
	Produzione	Decentrato (e.g., stufe)		Central. combustione	Central. combustione	Pompa di calore	
	Storage	n/p		n/p	presente	Non presente	
	Generazione singola/multipla	Generatori multipli		Generatore singolo	Generatore singolo	Singolo generatore	
Raffrescamento	Emissione	n/p		Sistema non-idronico		Non idronico (e.g., a tutt'aria)	
	Storage	n/p		n/p		Non presente	
	Generazione multipla	n/p		Generatore singolo		Singolo generatore	
ACS		**Pre retrofit**	**Post retrofit**	**Pre retrofit**	**Post retrofit**	**Pre retrofit**	**Post retrofit**
	Produzione	Elettrico	Elettrico	Non elettrico	Non elettrico	Non elettrico	Non elettrico
	Storage	Assente	Presente	Assente	Assente	Presente	Presente
	STC	Assente	Presente	Assente	Assente	Presente	Presente
Ventilazione meccanica	Sistema	n/p		n/p		Ventilazione meccanica	
	Recupero di calore	n/p		n/p		Recuperatore di calore	
	Riscaldamento	n/p		n/p		Utilizzato per riscaldamento	
	Sotto-sistemi	n/p		n/p		A tutt'aria	
Illuminazione	Controllo dell'occupazione per l'illuminazione indoor	n/p		n/p		Presente	
	Controllo della potenza assorbita per illuminazione basata sulla misura del livello di illuminazione esterno	n/p		n/p		Presente	
Involucro dinamico	Oscuranti e schermi mobili	n/p		n/p		presente	
Elettricità: rinnovabili e storage	Generazione rinnovabile on-site	n/p		n/p		Generazione rinnovabile da FER sul posto	
	Storage on-site	n/p		n/p		Presente	
	Cogenerazione	n/p		n/p		n/p	
Ricarica dei veicoli elettrici	Parking spot on-site	n/p		n/p		n/p	
	Punti di ricarica on-site	n/p		n/p		n/p	
Monitoraggio e controllo	Sistema centralizzato di monitoraggio	n/p		n/p		N/P	

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

4.1 SRI di edificio e di dominio

I risultati dell'analisi effettuata sono riportati nelle Figure 4, 5 e 6 che riportano, rispettivamente, i punteggi SRI totali e di dominio ACS prima e dopo la riqualificazione, i punteggi per singolo criterio di impatto prima e dopo la riqualificazione nei tre casi analizzati.

Figura 4. Punteggi SRI prima e dopo la riqualificazione: (a) SRI totale; (b) SRI di dominio ACS

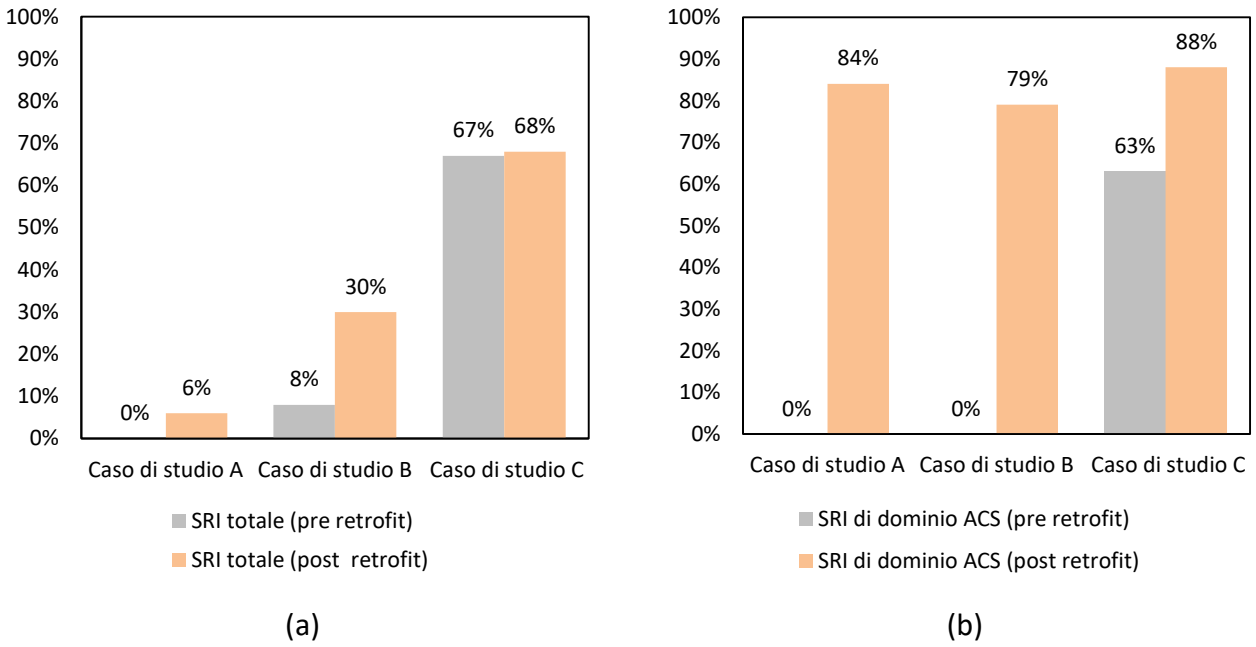
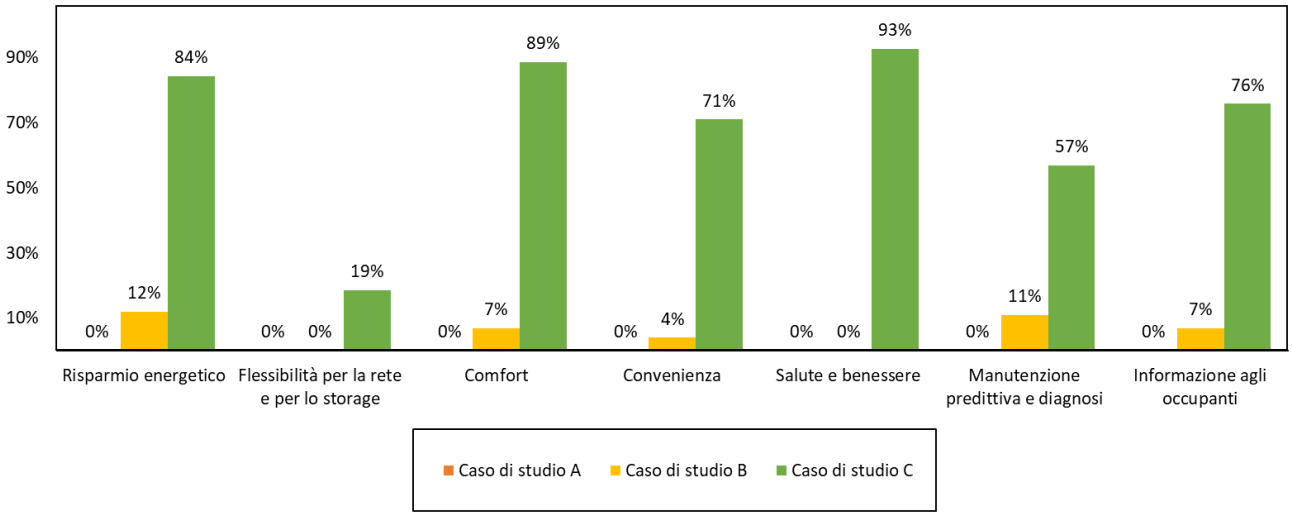
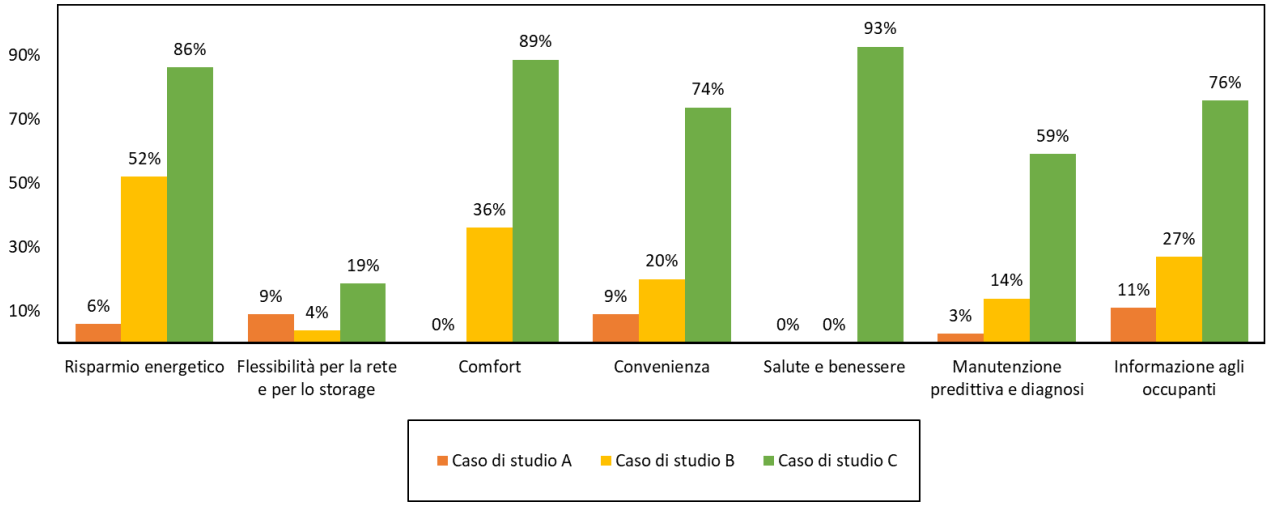


Figura 5. Punteggi di impatto prima del retrofit



ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Figura 6. Punteggi di impatto dopo il retrofit



Nel caso di studio A il calcolo dello SRI totale prima della riqualificazione ha prodotto come risultato 0%, a causa dell'assenza di qualsiasi sistema o dispositivo di controllo, automazione e monitoraggio dei diversi servizi tecnici presenti. A seguito dell'intervento di retrofit simulato sul solo dominio ACS, lo SRI calcolata ha raggiunto un valore pari a 84%, che determina un aumento dello SRI totale pari al 6%. Come mostrato in Figura 6, questo risultato è principalmente dovuto al miglioramento ottenuto sui risparmi di energia (6%) e convenienza (9%), sulla flessibilità per la rete e lo storage (9%) e sull'informazione agli occupanti (11%). È opportuno evidenziare come nella valutazione dello SRI non incida l'installazione di un sistema di produzione da FER (STC), ma esclusivamente il suo livello di automazione e controllo (i.e. la sua *smartness*).

Per quanto concerne il caso di studio B, la valutazione effettuata prima della riqualificazione ha prodotto come risultato uno SRI totale pari a 8%, dovuto principalmente alla presenza di: i) un termostato di zona on/off che regola la temperatura ambiente e consente di visualizzare il valore attuale di temperatura indoor della zona termoregolata; ii) la visualizzazione del valore attuale dell'energia consumata; iii) la regolazione climatica della temperatura di distribuzione del fluido termovettore. A seguito dell'intervento di sostituzione del generatore originale con una caldaia a condensazione smart, che impatta contemporaneamente sul dominio riscaldamento e ACS, lo SRI totale ha raggiunto un valore pari al 30%. Come mostrato in Figura 6, questo incremento deriva sia dal miglioramento dello SRI nel dominio ACS (da 0 a 79%), sia all'aumento del punteggio nel dominio di riscaldamento (da 16% a 54%) ed è principalmente dovuto al miglioramento ottenuto su: i risparmi di energia (52%) e convenienza (20%), il comfort (36%), l'informazione agli occupanti (27%) e la manutenzione e la diagnosi (14%). È opportuno evidenziare come gli interventi congiunti su sistemi di produzione integrati possono incidere notevolmente sull'incremento dello SRI.

Infine, per quanto riguarda il caso di studio C, la valutazione effettuata prima della riqualificazione ha prodotto come risultato uno SRI totale pari a 67%, evidenziando come, già in assenza di interventi di miglioramento, l'edificio presenti un elevato livello di *smartness*. Questo valore è dovuto principalmente alla presenza di: i) un sistema BACS per il controllo dell'impianto HVAC e del sistema di

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

illuminazione; ii) un sistema automatico di controllo delle schermature solari; iii) un sistema di controllo della generazione e dello storage di energia elettrica da FER (PV) completo di un sistema di reporting delle performance; iv) un sistema tecnico di reporting in tempo reale dei consumi energetici dell'edificio; v) il controllo programmato del livello termico del serbatoio asservito ai pannelli solari termici. A seguito dell'intervento di installazione di un sistema di reporting relativo alle prestazioni degli impianti di produzione di ACS e riscaldamento (includendo un servizio di previsione futura e benchmark e l'individuazione predittiva dei guasti), lo SRI è incrementato dell'1% (da 67 a 68%). L'incremento ridotto per il caso studio C evidenzia, da un lato, la saturazione che può verificarsi in edifici molto prestanti dal punto di vista della smartness, dall'altro, una possibile difficoltà nell'individuare soluzioni di retrofit per il dominio ACS che consentano di raggiungere il punteggio associati ai massimi livelli di funzionalità.

5. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata applicata la metodologia recentemente introdotta dalla Commissione Europea per il calcolo dello Smart Readiness Indicator, con particolare riguardo al dominio Acqua Calda Sanitaria, a tre casi di studio scelti come rappresentativi del parco edilizio residenziale nazionale (i.e., un edificio monofamiliare a basse prestazioni energetiche (caso di studio A), un'abitazione in un condominio multifamiliare di più recente realizzazione (caso di studio B) e un edificio di recente costruzione dotato di impianti tecnici, caratteristiche termofisiche e funzionalità particolarmente performanti (caso di studio C)). Preliminarmente al calcolo dello SRI, sono stati analizzati i sistemi di produzione, accumulo, distribuzione, regolazione, monitoraggio e utilizzo di Acqua Calda Sanitaria, nonché le funzionalità smart applicabili a tali servizi e come queste impattino su: il risparmio energetico e la convenienza, la salute, il benessere ed il comfort, la possibilità di manutenzione e diagnosi, la flessibilità per la rete e l'informazione agli occupanti.

Al fine di analizzare il possibile miglioramento ottenibile sullo SRI, sono stati inoltre simulati diversi scenari di riqualificazione del dominio acqua calda sanitaria degli edifici caso di studio. Per i casi studio di epoca costruttiva precedente agli anni 2000 (casi A e B), date le caratteristiche termofisiche ed impiantistiche, è stato possibile stimare un SRI totale compreso tra 0 e 6% e un SRI di dominio acqua calda sanitaria pari allo 0% in assenza di interventi di miglioramento. Gli interventi di riqualificazione applicati hanno consentito di ottenere un notevole miglioramento dell'SRI di dominio (pari rispettivamente a 84% e 79%) a fronte di un più modesto incremento dell'SRI complessivo (6% e 30% rispettivamente). Per il caso di studio C, l'SRI totale calcolato rispettivamente prima e dopo la riqualificazione è incrementato di un solo punto percentuale (dal 67% al 68%). È stata evidenziata inoltre anche una variazione più modesta dell'SRI di dominio rispetto ai precedenti casi (da 63% a 88% a seguito della riqualificazione). Dall'analisi dei casi di studio effettuata è possibile inoltre osservare che, per ottenere un miglioramento significativo dello SRI, è necessario agire contemporaneamente su più domini.

Si evidenzia come, per un'efficace caratterizzazione dei domini e dei servizi applicabili in ambito nazionale, potrebbe essere necessaria un'analisi approfondita delle caratteristiche impiantistiche e

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

funzionali del parco edilizio e delle funzionalità smart dei dispositivi effettivamente presenti sul mercato. Tali attività di ricerca sono attualmente in corso e rappresentano lo sviluppo futuro dei primi risultati ottenuti nel presente lavoro.

Riferimenti

[1] International Energy Agency, Energy Efficiency: Buildings. The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis. Available at: https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/ (last accessed: August 2019), (2019).
[2] European Commission, Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings., (2002).
[3] European Commission, Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, (2018).
[4] D. Banister, The sustainable mobility paradigm, Transp. Policy. (2008). https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005.
[5] E. Conticelli, G. Gobbi, P.I.S. Rosas, S. Tondelli, Assessing the performance of modal interchange for ensuring seamless and sustainable mobility in European cities, Sustain. (2021). https://doi.org/10.3390/su13021001.
[6] S.J. Darby, Smart technology in the home: time for more clarity, Build. Res. Inf. (2018). https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301707.
[7] I. Røpke, S. Nyborg, Energy impacts of the smart home – conflicting visions, Eceee 2011 Summer Study. (2011).
[8] F. Yousefi, Y. Gholipour, W. Yan, A study of the impact of occupant behaviors on energy performance of building envelopes using occupants' data, Energy Build. 148 (2017) 182–198. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.085.
[9] R.V. Andersen, B. Olesen, J. Toftum, Simulation of the Effects of Occupant Behaviour on Indoor Climate and Energy Consumption, in: Clima2007, 2007.
[10] M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, B.I. Palella, G. Puglisi, An IoT Integrated Tool to Enhance User Awareness on Energy Consumption in Residential Buildings, Atmosphere (Basel). 10 (2019) 743. https://doi.org/10.3390/atmos10120743.
[11] J. Al Dakheel, C. Del Pero, N. Aste, F. Leonforte, Smart buildings features and key performance indicators: A review, Sustain. Cities Soc. (2020). https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102328.
[12] European Union, Energy Roadmap 2050. Available online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf (last accessed: 02/2020), (2012). https://doi.org/doi:10.2833/10759.
[13] Jennifer King, Christopher Perry, Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings, Am. Counc. an Energy-Efficient Econ. (2017).
[14] V. Fabi, G. Spigliantini, S.P. Corgnati, Insights on Smart Home Concept and Occupants' Interaction with Building Controls, in: Energy Procedia, 2017. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.238.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

[15] L. Hernandez, C. Baladron, J.M. Aguiar, B. Carro, A.J. Sanchez-Esguevillas, J. Lloret, J. Massana, A survey on electric power demand forecasting: Future trends in smart grids, microgrids and smart buildings, IEEE Commun. Surv. Tutorials. (2014). https://doi.org/10.1109/SURV.2014.032014.00094.

[16] Y. Liu, N. Yu, W. Wang, X. Guan, Z. Xu, B. Dong, T. Liu, Coordinating the operations of smart buildings in smart grids, Appl. Energy. (2018). https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.089.

[17] P. Ciholas, A. Lennie, P. Sadigova, J.M. Such, The security of smart buildings: A systematic literature review, ArXiv. (2019).

[18] J.L. Hernández-Ramos, M.V. Moreno, J.B. Bernabé, D.G. Carrillo, A.F. Skarmeta, SAFIR: Secure access framework for IoT-enabled services on smart buildings, in: J. Comput. Syst. Sci., 2015. https://doi.org/10.1016/j.jcss.2014.12.021.

[19] C. Marche, M. Nitti, V. Pilloni, Energy efficiency in smart building: A comfort aware approach based on Social Internet of Things, in: GIoTS 2017 - Glob. Internet Things Summit, Proc., 2017. https://doi.org/10.1109/GIOTS.2017.8016267.

[20] E. Taveres-Cachat, S. Grynning, J. Thomsen, S. Selkowitz, Responsive building envelope concepts in zero emission neighborhoods and smart cities - A roadmap to implementation, Build. Environ. (2019). https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.045.

[21] . I., A. Nurillaily, H. Amani, S.K.B. Pillai, Measuring Smart Building Readiness Index: A Case Study of Bandung City, J. Manaj. Indones. (2020). https://doi.org/10.25124/jmi.v20i2.3201.

[22] B. Di Pietra, M. Morini, Un nuovo indice per qualificare gli edifici intelligenti e ad alta efficienza energetica, ENEA Mag. - Energ. Innov. e Ambient. 3 (2020). https://doi.org/10.12910/EAI2020-081.

[23] Commissione Europea, Regolamento Delegato C(2020)6930 del 14.10.2020, (n.d.).

[24] Commissione Europea, Regolamento di esecuzione (UE) C(2020)6929 del 14.10.2020, (n.d.).

[25] European Commission, Final Report On The Technical Support To The Development Of A Smart Readiness Indicator For Buildings, (2020).

[26] Vito, Smart Readiness Indicator for Buildings, (n.d.). https://smartreadinessindicator.eu/milestones-and-documents.

[27] T. Märzinger, D. Österreicher, Supporting the smart readiness indicator-A methodology to integrate a quantitative assessment of the load shifting potential of smart buildings, Energies. (2019). https://doi.org/10.3390/en12101955.

[28] E. Janhunen, L. Pulkka, A. Säynäjoki, S. Junnila, Applicability of the smart readiness indicator for cold climate countries, Buildings. (2019). https://doi.org/10.3390/buildings9040102.

[29] I. Vigna, R. Pernetti, G. Pernigotto, A. Gasparella, Analysis of the building smart readiness indicator calculation: A comparative case-study with two panels of experts, Energies. (2020). https://doi.org/10.3390/en13112796.

[30] P.A. Fokaides, C. Panteli, A. Panayidou, How are the smart readiness indicators expected to affect the energy performance of buildings: First evidence and perspectives, Sustain. (2020). https://doi.org/10.3390/su12229496.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

[31] M.K.A. Sharif, A.A. Al-Abidi, S. Mat, K. Sopian, M.H. Ruslan, M.Y. Sulaiman, M.A.M. Rosli, Review of the application of phase change material for heating and domestic hot water systems, Renew. Sustain. Energy Rev. (2015). https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.034.

[32] A.. Verbeke, S.; Ma, Y.; Van Tichelen, P.; Bogaert, S.; Gómez Oñate, V.; Waide, P.; Bettgenhäuser, K.; Ashok, J.; Hermelink, Support for Setting up a Smart Readiness Indicator for Buildings and Related Impact Assessment, Final Report; Study Accomplished under the Authority of the European Commission DG Energy 2017/SEB/R/1610684; Vito NV: Mol, Belgium, 2018, (n.d.).

[33] L. Canale, A.R. Di Fazio, M. Russo, A. Frattolillo, M. Dell'Isola, An overview on functional integration of hybrid renewable energy systems in multi-energy buildings, Energies. (2021). https://doi.org/10.3390/en14041078.

[34] M. Child, T. Haukkala, C. Breyer, The role of solar photovoltaics and energy storage solutions in a 100% renewable energy system for Finland in 2050, Sustain. (2017). https://doi.org/10.3390/su9081358.

[35] E.O. Ogunniyi, H.C.V.Z. Pienaar, Overview of battery energy storage system advancement for renewable (photovoltaic) energy applications, in: Proc. 25th Conf. Domest. Use Energy, DUE 2017, 2017. https://doi.org/10.23919/DUE.2017.7931849.

[36] S. Hilpert, Effects of decentral heat pump operation on electricity storage requirements in Germany, Energies. (2020). https://doi.org/10.3390/en13112878.

[37] M. Barbu, G. Darie, M. Siroux, A Parametric Study of a Hybrid Photovoltaic Thermal (PVT) System Coupled with a Domestic Hot Water (DHW) Storage Tank, Energies. (2020). https://doi.org/10.3390/en13246481.

[38] Ente Italiano di Normazione (UNI), UNI 9182:2018. Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo, (n.d.).

[39] Ente Italiano di Normazione (UNI), UNI EN 806-1:2008. Specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano - Parte 1: Generalità, (n.d.).

[40] P. Borella, Erratum: Legionella infection risk from domestic hot water (Emerging Infectious Diseases (10, 3)), Emerg. Infect. Dis. (2004). https://doi.org/10.2427/6003.

[41] M.N. Bates, E. Maas, T. Martin, D. Harte, M. Grubner, T. Margolin, Investigation of the prevalence of Legionella species in domestic hot water systems, N. Z. Med. J. (2000).

[42] W. Mathys, J. Stanke, M. Harmuth, E. Junge-Mathys, Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating, Int. J. Hyg. Environ. Health. (2008). https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.02.004.

[43] M.G. Hayward, W.R. Keatinge, Roles of subcutaneous fat and thermoregulatory reflexes in determining ability to stabilize body temperature in water., J. Physiol. (1981). https://doi.org/10.1113/jphysiol.1981.sp013946.

[44] T. Ohnaka, Y. Tochihara, Y. Watanabe, The effects of variation in body temperature on the preferred water temperature and flow rate during showering, Ergonomics. (1994). https://doi.org/10.1080/00140139408963669.

[45] E. Fuentes, L. Arce, J. Salom, A review of domestic hot water consumption profiles for application

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

in systems and buildings energy performance analysis, Renew. Sustain. Energy Rev. (2018). https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229.

[46] R. Hendron, J. Burch, Development of standardized domestic hot water event schedules for residential buildings, in: Proc. Energy Sustain. Conf. 2007, 2007. https://doi.org/10.1115/ES2007-36104.

[47] Z. Pang, Z. O'Neill, Uncertainty quantification and sensitivity analysis of the domestic hot water usage in hotels, Appl. Energy. (2018). https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.221.

[48] A. Nilsson, M. Wester, D. Lazarevic, N. Brandt, Smart homes, home energy management systems and real-time feedback: Lessons for influencing household energy consumption from a Swedish field study, Energy Build. (2018). https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.026.

[49] A.L. Sønderlund, J.R. Smith, C.J. Hutton, Z. Kapelan, D. Savic, Effectiveness of Smart Meter-Based Consumption Feedback in Curbing Household Water Use: Knowns and Unknowns, J. Water Resour. Plan. Manag. (2016). https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000703.

[50] I. Ballarini, S.P. Corgnati, V. Corrado, Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project, Energy Policy. 68 (2014) 273–284. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.027.

[51] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach, TABULA building typologies in 20 European countries-Making energy-related features of residential building stocks comparable, Energy Build. 132 (2016) 4–12. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.094.

[52] L. Canale, M. Dell'Isola, G. Ficco, B. Di Pietra, A. Frattolillo, Estimating the impact of heat accounting on Italian residential energy consumption in different scenarios, Energy Build. 168 (2018). https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.040.

[53] Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto del 26 giugno 2015 "Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici," (2015).

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Perugia, 8 - 9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

XXI Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

La Strategia nazionale per le aree interne: lo stato dell'arte

Francesco Monaco[1,*]

[1] Capo Dipartimento Fondi UE e investimenti territoriali - Istituto per la Finanza e l'Economia Locale (IFEL-ANCI)

***** Author to whom correspondence should be addressed. E-mail: monaco@anci.it

Abstract: La Strategia nazionale per le aree interne è uno dei principali "interventi integrati territoriali" della politica di coesione europea. Nasce come "sperimentazione" nell'Accordo di Partenariato 2014-2020 ed è rivolta ai territori "interni" dell'Italia: i luoghi, a forte rischio di spopolamento, dove è difficile l'accesso ai servizi di cittadinanza (salute, istruzione, mobilità) e problematico costruire occasioni di lavoro e di sviluppo. La "sperimentazione" ha riguardato 1061 Comuni, organizzati in 72 aree-pilota, coinvolgendo circa 2 milioni di abitanti che vivono in 51.000 kmq di superficie territoriale. Nel complesso i Comuni classificati come "aree interne" rappresentano un quinto della popolazione italiano che vive su due terzi della superfice nazionale. A dicembre 2020 sono 71 le aree-pilota ad aver definito il percorso strategico, mobilitando investimenti per circa 1,2 miliardi di euro. Questa nota, partendo da un bilancio (seppur) parziale delle cose fatte, illustra problemi e opportunità della nuova fase di programmazione di fondi europei e del Next Generation EU. Una parte importante della nota sarà altresì dedicata a questioni di metodo per comprendere le lezioni apprese e ragionare sulle prospettive per il futuro.

Keywords: Snai, interventi integrati, territorio, politiche di coesione territoriale

Introduzione

La Strategia nazionale per le aree interne (SNAI) è contemplata per la prima volta nel *Programma Nazionale di Riforma* (PNR) per il 2014 nella parte relativa agli squilibri e alle riforme nazionali, nonché nell'*Accordo di Partenariato* (AdP) siglato dall'Italia e dalla Commissione per il ciclo di spesa 2014-2020 della politica di coesione dell'UE. Tali documenti definiscono le aree interne come "*quelle aree significativamente distanti dai centri di offerta di servizi essenziali (di istruzione, salute e mobilità),*

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

ricche di importanti risorse ambientali e culturali e fortemente diversificate per natura e a seguito di secolari processi di antropizzazione".

Obiettivo della SNAI è il contrasto allo spopolamento progressivo e\o abbandono nei comuni italiani classificati come "aree interne". Essa opera nell'ambito degli strumenti di programmazione della politica di coesione comunitaria, utilizzando un metodo innovativo di intervento territoriale ed un approccio sperimentale, che contempla una valutazione sui risultati attesi entro la fine del ciclo programmatico. L'ambizione è non solo di invertire il trend demografico negativo di quelle aree ma, al contempo, di sostenere la crescita economica e l'occupazione, salvaguardando il territorio dal dissesto e tutelando i beni ambientali essenziali (*commons*). Destinatari della *policy* sono, per lo più, Comuni di piccole dimensioni demografiche e\o di montagna, che soffrono gravi disagi per le difficoltà di collegamento con i distanti centri urbani (*poli di servizio*) dove si erogano i servizi fondamentali per l'esercizio dei diritti di cittadinanza (sanità, istruzione, mobilità). Si tratta di più del 52% dei Comuni italiani, dove vive circa il 22% della popolazione su una superficie pari 60% del territorio nazionale.

1. Le sfide delle aree interne

La SNAI ha assunto grande importanza politica e istituzionale perché proprio nelle "aree interne" del Paese si gioca la sfida più importante per attuare il principio di uguaglianza sostanziale consacrato nell'art. 3 della nostra Costituzione. La diversità territoriale delle "aree interne" rappresenta una frattura profonda presente all'interno del nostro Paese, dalle Alpi all'Appennino e nelle Isole, attorno alla quale dovrebbe costruirsi e rafforzarsi la coesione necessaria a saldare definitivamente il disegno unitario della solidarietà nazionale, con una coerenza di indirizzi politici e *policies* in grado di dare risposte alle grandi sfide dell'età presente che riguardano tutti i cittadini, vivano essi in città o in "aree interne": dalla gestione del cambiamento climatico alla transizione ecologica del modello di sviluppo; dal governo dei flussi migratori alla riscrittura di un *welfare* sostenibile e più inclusivo; dalla rivoluzione delle tecnologie dell'informazione alla nuova suddivisione internazionale del lavoro.

La SNAI ha canalizzato nelle "aree interne" del Paese risorse finanziarie significative per rafforzare la qualità dei servizi di cittadinanza (scuola, salute e mobilità) e da un forte impulso agli investimenti per la creazione di occupazione. Le risorse finanziarie mobilitate ammontano a circa 1,1 miliardi di euro e sono state messe a disposizione del varie leggi di stabilità e da dotazioni rinvenienti dai 3 fondi strutturali europei (FESR, FSE e FEARS), i quali concorrono a realizzare interventi che -come detto- si propongono di potenziare l'offerta scolastica, migliorare la ri-organizzazione dei servizi sanitari, ammodernare la rete dei collegamenti, materiali e immateriali, oltre che promuovere iniziative per il mercato nel campo dell'agricoltura, dell'uso sostenibile delle terre pubbliche, del turismo, della valorizzazione paesaggistica e culturale.

Dal punto di vista del metodo, SNAI si muove su cinque principali innovazioni, che caratterizzano la sua natura sperimentale rispetto a tutte le altre politiche di sviluppo territoriale praticate in Italia sin dalla fine degli anni Novanta del secolo scorso, tabella 1.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

Tabella 1. Le innovazioni di metodo della SNAI

Approccio pre-Snai	Approccio Snai
I servizi alla popolazione sono variabile dipendente dello sviluppo economico. Le aree periferiche o marginali sono definite in base alla densità della popolazione.	Agisce contestualmente sui diritti di cittadinanza e sullo sviluppo. I servizi di un territorio non dipendono dal livello di sviluppo economico di quel territorio*
Lavoro impostato per l'universo dei Comuni interni.	Lavora su specifiche *aree-progetto***
Lavoro per singoli Comuni interni e per più comuni comunque non dotati di una organizzazione per la gestione associata di funzioni e servizi strumentali al raggiungimento di strategie comuni.	Lavora solo ed esclusivamente sui Comuni organizzati in associazioni, secondo le norme ordinamentali vigenti che disciplinano la gestione associata di funzioni e servizi
La definizione della strategia e dei progetti da adottare è in capo al soggetto pubblico che sostanzialmente decide in base alle maggiori possibilità di catturare le risorse disponibili.	I processi di democrazia deliberativa (modelli decisionali integrati tra pubblico e privato) guidano la costruzione della strategia, la selezione dei progetti da finanziarie ed i risultati da raggiungere.
Assenza di politiche *placed-based*, cioè mirate al luogo, politiche settoriali e assenza di approcci di sviluppo integrati (orientati contemporaneamente alla promozione e allo sviluppo locale, e ad affrontare le sfide demografiche ed ambientali).	Metodo aperto di governance multilivello, approccio sperimentalista, tecniche di "co-progettazione" per favorire processi di apprendimento collettivo di tutte le amministrazioni centrali, regionali e locali coinvolte.
* La base della definizione di "area interne" è data dalle difficoltà di acceso ai servizi di base (istruzione, salute e mobilità), opportunamente misurate con una batteria di circa 140 indicatori.	
** Le aree-progetto sono state individuate attraverso un'istruttoria pubblica condotta dal Comitato Tecnico delle Aree interne-CTAI e dalle Regioni sulla base delle proposte pervenute dal territorio. Tra gli strumenti di intervento territoriale della politica di coesione europea 2014-2020, la SNAI è l'unico caso di azione mirata sulle aree interne	

2. Lo stato dell'arte

Con riguardo al ruolo che le amministrazioni centrali giocano sul terreno della *co-progettazione* è interessante notare come i ministeri della salute, dell'istruzione, dell'agricoltura, dei trasporti e dei beni culturali (tutti componenti del Comitato tecnico CTAI) abbiano messo a disposizione *linee guida* che orientano la (necessaria) *azione di supporto territoriale* per la definizione e l'attuazione delle strategie d'area, assicurata ai Comuni dai *progettisti* del Comitato tecnico nazionale.

Attualmente la sperimentazione interessa 72 aree pilota, selezionate in tutte le Regioni italiane e nella Provincia autonoma di Trento, composte da 1.066 comuni per 2.072.718 abitanti (dato al 2016) che vivono su un territorio totale di 51.366 kmq. Ogni area in media è composta da circa 29.400 abitanti e formata da una media di 15 comuni. In queste aree, nel corso dell'ultimo intervallo censuario, si è registrato un calo demografico pari a -4,4%, confermato anche nell'intervallo 2011-2016 con una diminuzione del -2,3%; per l'Italia negli stessi periodi vi è stato un incremento pari a 4,3% (2001-2011) e del 2,1% (2011-2016). Dei 1.066 comuni interessati il 57,7% è classificato come periferico ed ultra-periferico, secondo lo schema di classificazione adottato dall'AdP.

Sotto il profilo della *governnace*, la SNAI chiedeva ai Comuni interessati di operare in forma cooperativa con l'obiettivo di costruire sistemi istituzionali capaci di offrire una piattaforma territoriale utile a costruire poli di aggregazione per una gestione più efficace di erogazione dei servizi pubblici locali.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

In questo ambito le funzioni che sono state interessate da processi associativi hanno riguardato in particolare la protezione civile, il catasto, il trasporto pubblico locale, l'urbanistica. Progressi significativi si sono registrati anche sul fronte della digitalizzazione dei servizi amministrativi generali.

Il ciclo di vita della sperimentazione SNAI è traguardato al 31 dicembre 2020, data entro cui secondo la Delibera CIPE n. 72 del 2019 dovranno essere sottoscritti gli accordi di programma (APQ) in tutte le 72 aree-pilota, mentre la data finale di rendicontazione degli interventi è indicata nei piani finanziari di ciascun APQ e per la quota di contributo comunitario è fissata al 31 dicembre 2023 dalle regole di certificazione dei fondi. Ad oggi le strategie adottate risultano essere 71 mentre sono 47 gli APQ sottoscritti. Una recente delibera del CIPE sposta il termine per la definizione degli APQ al 30 giugno 2021.

Le numerose innovazioni che la SNAI ha consentito di sperimentare per mezzo di politiche mirate a zone con bassa demografia e con difficile accesso ai servizi sociali, dovrebbero trovare una collocazione all'interno delle future applicazioni delle politiche *placed-based* che mirano a ridurre i divari territoriali tra aree urbane e rurali. Nel nostro Paese, infatti, si è realizzato un macro-processo di *governance* multilivello che ha interessato numerose Amministrazioni locali, le quali, assieme agli altri attori del territorio hanno saputo individuare priorità strategiche e modalità di intervento. Sotto questi profili sembra pertanto possibile rafforzare il lavoro di costruzione di un percorso strategico comune per favorire la ripresa delle nostre aree interne anche nel quadro degli investimenti promossi dagli strumenti comunitari di contrasto alla pandemia CovidSARS 2019.

Direi anzi che ci sono tutte le condizioni per costruire, com'era negli atti programmatici dell'ultimo Governo, una vera e propria politica "strutturale" a favore di queste aree, che in questo particolare momento costituiscono un importante volano per il rilancio dell'economia italiana ed europea.

ISBN (online PDF) 978-88-9392-279-1 - © 2021 Morlacchi Editore University Press, CC BY 4.0 International.
Published by Morlacchi Editore University Press.

XXI CONGRESSO NAZIONALE CIRIAF
Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana - Atti
Perugia, 8-9 aprile 2021, Università degli Studi di Perugia

Perugia: Morlacchi Editore University Press, 2021.
ISBN (online PDF) ISBN 978-88-9392-279-1

L'edizione digitale on-line del volume è pubblicata ad accesso aperto su www.morlacchilibri.com.
La presente opera è rilasciata nei termini della licenza Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode). La licenza permette di condividere l'opera, nella sua interezza o in parte, con qualsiasi mezzo e formato, e di modificarla per qualsiasi fine, anche commerciale, a condizione che ne sia menzionata la paternità in modo adeguato, sia indicato se sono state effettuate modifiche e sia fornito un link alla licenza.

© 2021 Morlacchi Editore University Press.

Pubblicato da Morlacchi Editore University Press, Piazza Morlacchi 7/9, 06123 Perugia

www.morlacchilibri.com

C.I.R.I.A.F.
Via G. Duranti, 63
06125 - Perugia
Tel. 075.585.3717
Fax 075.585.3697
centro.ciriaf@unipg.it
www.ciriaf.it