

INDICE

Inquinamento Acustico e da Vibrazioni

Ottimizzazione delle prestazioni acustiche di sistemi complessi per il controllo del rumore. <i>F. Asdrubali, F. D'Alessandro, S. Schiavoni</i>	pag. 3
Quantificazione degli impatti generati da un nodo aeroportuale. <i>M. N. Postorino, A. Catanzariti</i>	pag. 9
Impatto acustico di un centro commerciale: procedura di valutazione ed aspetti critici. <i>R. Dragonetti, R. Romano</i>	pag. 15
Analisi di dati anemometrici e di rumore ambientale. <i>G. Brambilla, C. Cornaro, P. Verardi</i>	pag. 21
Studio previsionale dell'inquinamento acustico ambientale prodotto dal servizio di interesse pubblico per il rifornimento idrico, a mezzo navi cisterna, delle comunità isolate. <i>A. Papa, D. Rabuazzo, R. Mariconte, G. Bignardi</i>	pag. 27
Metodo per la mitigazione degli effetti delle vibrazioni indotte dal traffico ferroviario tramite barriere assorbenti – sperimentazione in sito. <i>G. Risitano, C. Tamagnini, A. Garinei</i>	pag. 31
Valutazione del clima acustico in un parco urbano della città di Messina. <i>G. Cannistraro, D. Plutino, D. Germanò, M.E. Castelluccio, M. Scampitelli</i>	pag. 37
Occorrenza di componenti tonali nell'esposizione al rumore in ambito lavorativo. <i>M. Di Paolo, S. Sanguineti, C. Schenone</i>	pag. 41
Incidenza delle condizioni meteo nelle simulazioni di rumore aeroportuale. <i>M. Coppi, F. Salata, A. Venditti</i>	pag. 47
Individuazione dei limiti espressi con il descrittore acustico L_{den} . <i>M. Coppi, G. Moncada Lo Giudice, A. Venditti</i>	pag. 53

Radiazioni Ionizzanti e non Ionizzanti

C.I.E. – carta di idoneità elettromagnetica Monitoraggio dei campi elettromagnetici a radiofrequenza nella provincia di Alessandria. <i>E. Parisato, L. Erbetta, E. Biorci, C. Coffano</i>	pag. 61
Sviluppo della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti. <i>S. Curcuruto, M. Logorelli</i>	pag. 67
Misure sperimentali di conducibilità termica del suolo in prossimità di cavi elettrici interrati. <i>R. de Lieto Vollaro, A. Vallati, G. Biscotti</i>	pag. 71
Studio del campo termico nell'intorno di elettrodotti interrati. <i>R. de Lieto Vollaro, G. Galli, A. Vallati, F. Cipriani</i>	pag. 77
Materiali assorbenti a microonde realizzati con metamateriali. <i>F. Bilotti, P. Di Rosa, G. Guattari, C. Sapia, A. Toscano, L. Vegni</i>	pag. 83
Varchi elettronici per l'anagrafe animale: influenza dell'angolazione del bolo. <i>F. Bilotti, P. Di Rosa, G. Guattari, C. Sapia, A. Toscano, L. Vegni</i>	pag. 87

Inquinamento Atmosferico e Idrico

Dalle pressioni allo stato dell'aria ambiente: gli strumenti di ARPA Umbria. <i>M. Angelucci, M. Vecchiocattivi</i>	pag. 93
Monitoraggio atmosferico in due comuni della provincia di Roma. <i>V. Leonardi, D. Persiani, P. Prignani, A. Venditti</i>	pag. 97
Distribuzione dimensionale e andamento temporale di concentrazione di polveri ultrafini in prossimità di sorgenti puntiformi (inceneritore di CDR) e lineari (autostrada). <i>G. Buonanno, G. Ficco, T. Lombardi, L. Stabile</i>	pag. 103
Analisi dell'impatto del traffico veicolare sulla qualità dell'aria in un agglomerato urbano di piccole dimensioni. <i>A. Bertello, E. Bracco, G. Calori, L. Pallavidino, F. Pavone, T. Pittini, R. Prandi, P. Radice, G. Tinarelli</i>	pag. 111
Il bilancio ambientale territoriale della provincia di Alessandria. <i>A. Maffiotti, L. Borasi, C. Molinari, E. Chiodi, L. Puccio</i>	pag. 117
Il contributo dei trasporti all'inquinamento dell'aria nella provincia di Chieti. <i>D. Ambrosini, D. Paoletti, L. Collalto, G. Galli</i>	pag. 123
Tecniche innovative per la diagnosi e la difesa dall'inquinamento delle adduttrici idriche in pressione. <i>S. Meniconi, B. Brunone, M. Ferrante, A. Cirimbilli</i>	pag. 129

Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibile

Una selezione di indicatori per la valutazione delle politiche per la mobilità urbana sostenibile. <i>G. Marletto, F. Mameli</i>	pag. 137
La struttura e le strategie di distribuzione delle filiere agroalimentari in Italia: Il caso della filiera ortofrutta a Trieste. <i>G. Paglione</i>	pag. 141
Sostenibilità ambientale ed energetica del Minimetro di Perugia. <i>F. M. Ciuffini, M. Goretti, L. Naldini</i>	pag. 147
Leadership ed eterogeneità delle preferenze nella scelta intra-familiare del luogo di residenza. <i>E. Marcucci, R. Danielis, L. Rotaris</i>	pag. 153
Proposta di una correlazione rumore-tempo di attesa su rotatorie urbane. <i>C. Bartoli</i>	pag. 159
La politica di tariffazione marginale delle strade: preoccupazione ambientale o problema di accessibilità? <i>A. Blomberg Stathopoulos</i>	pag. 165
Una descrizione funzionale dei canali distributivi delle filiere agroalimentari. <i>G. Paglione</i>	pag. 171

Modelli di Simulazione Ambientale e Sviluppo Sostenibile

La valutazione integrata di impatto come strumento di attuazione delle politiche di sostenibilità ambientale. <i>U. Di Matteo, E. Maurillo</i>	pag. 179
--	----------

Turismo ed aree protette: metodologia di analisi del “turista-tipo” e del “cittadino-tipo” del parco regionale dei Nebrodi. <i>U. Di Matteo, C. Iviani, A. Sassano</i>	pag. 185
Contenimento del riscaldamento globale: confronto tra sistemi per il controllo dell’albedo terrestre e fonti energetiche rinnovabili. <i>F. Cotana, F. Rossi, M. Filipponi, A. Nicolini, M. Amantini</i>	pag. 191
La certificazione ambientale per lo sviluppo del turismo eco-sostenibile: etichette ecologiche a confronto. <i>R. Luciani, L. Andriola</i>	pag. 195
Politiche e strategie per la sostenibilità della filiera agroalimentare. <i>F. Zecca</i>	pag. 201
Il rilascio del “Nulla Osta” da parte degli enti parchi quale misura di salvaguardia ambientale nei casi di realizzazione di opere edilizie nelle aree sottoposte a vincolo paesaggistico-ambientale. <i>E. Colaiuta</i>	pag. 207

Qualità dell'Ambiente Costruito e Inquinamento Indoor

Stima del risparmio energetico derivante da interventi di conservazione sostenibile sul patrimonio edilizio. Caso di studio nella ricostruzione liberty di Reggio Calabria. <i>D. E. Massimo, A. Barbalace, A. Bianco, D. Boncaldo, A. R. Castagnella, M. R. Giuffré, M. Musolino, R. Plutino, M. Vescio</i>	pag. 213
Studio e progettazione di uno strumento per misure di conducibilità termica di materiali isolanti per edilizia basata sul metodo a filo caldo. <i>A. Franco, F. Fantozzi</i>	pag. 219
Tecniche per la comparazione dell’aspetto visivo di materiali lapidei ad uso edilizio: valutazione della robustezza in condizioni di illuminazione variabile. <i>F. Bianconi, A. Mancini, A. Fernández</i>	pag. 225
La misura della trasmittanza termica nella diagnosi energetica degli edifici. <i>F. Arpino, O. Bucci, M. Dell’Isola, G. Giovinco</i>	pag. 231
Risparmio energetico e uso razionale dell’illuminazione: il caso della Rocca di Braccio del Comune di Montone – Perugia. <i>R. Mariani, C. Buratti</i>	pag. 237
Studio sul miglioramento delle condizioni di illuminazione in ambienti di valenza storico artistica dell’Università di Firenze. <i>Gi. Raffellini, S. Secchi, E. Nannipieri</i>	pag. 243
Studio numerico dei parametri termofluidodinamici all’interno di un autobus pubblico utilizzato a Roma. <i>R. de Lieto Vollaro, R. Traversetti, A. Vallati</i>	pag. 249
Proposta di una metodologia per la certificazione della qualità degli ambienti interni. <i>C. Marino, A. Nucara, M. Pietrafesa, A. Pudano</i>	pag. 255
Un modello semplificato per la determinazione delle concentrazioni al suolo degli inquinanti gassosi emessi da stazioni fisse. <i>A. Milone, D. Milone, S. Pitruzzella</i>	pag. 261
Caratterizzazione acustica di pareti mediante il metodo intensimetrico. <i>C. Buratti, E. Moretti</i>	pag. 267

Indagini sul microclima di una struttura museale: prime valutazioni sul comportamento passivo. <i>G. Cannistraro, S. Pitruzzella, M. Scampitelli</i>	pag. 273
--	----------

Incentivi economici e tecnologie per il raffrescamento degli edifici esistenti in clima mediterraneo. <i>A. Alagna</i>	pag. 279
--	----------

Fonti e Sistemi Energetici

Sull'utilizzo di pompe di calore acqua-acqua negli impianti nella ristrutturazione di due edifici colonici. <i>Gi. Raffellini, Ga. Raffellini</i>	pag. 287
---	----------

Generazione distribuita e vettoriamento di gas da fonti rinnovabili. <i>D. Giraldi, L. Camilloni, G. Cavalaglio, S. Rinaldi</i>	pag. 291
--	----------

Impianto pilota per la conversione energetica degli scarti di potatura dei vigneti. <i>F. Cotana, G. Cavalaglio</i>	pag. 297
--	----------

Sviluppo di un impianto ibrido eolico e fotovoltaico a controllo remoto. <i>M. Milanese, C. Lofrumento, D. Laforgia</i>	pag. 303
--	----------

Produzione energetica da oli vegetali - esperienze applicative. <i>G. Strani, C. Luci, L. Davinelli, L. Arcioni, B. D'Alessandro</i>	pag. 311
---	----------

Analisi dei fabbisogni energetici di un deposito costiero. <i>U. Di Matteo, A. Monaco</i>	pag. 317
--	----------

Metodologia di valutazione energetica di un impianto fotovoltaico ad inseguimento solare. <i>U. Di Matteo, P. Pastore</i>	pag. 323
--	----------

Produzione di idrogeno dall'acqua mediante fotolisi assistita da fotocatalizzatori innovativi. <i>F. Elisei, F. Rossi, A. Nicolini, F. Ortica, P.L. Gentili, M. Giuliobello, M. Amantini</i>	pag. 329
---	----------

Analisi sperimentale del getto gassoso emergente da un ugello circolare. <i>F. Bilotti, P. Di Rosa, G. Guattari, C. Sapia, A. Toscano, L. Vegni</i>	pag. 335
--	----------

Efficienza Energetica negli Edifici

Il recupero energetico nella edilizia sociale: potenzialità e opportunità. Il caso degli edifici ATC di Biella. <i>M. Citterio, B. DiPietra, F. Margiotta</i>	pag. 343
---	----------

Requisiti di qualità dei dati negli studi di life cycle assessment (LCA) e nelle dichiarazioni ambientali di prodotto (DAP). <i>F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, S. Longo, A. Marvuglia</i>	pag. 349
--	----------

Analisi ed ottimizzazione energetico-ambientale di un edificio mediante la valutazione del ciclo di vita (LCA) <i>F. Asdrubali, G. Baldinelli, M. Battisti, C. Baldassarri</i>	pag. 355
--	----------

Progettazione integrata del sistema Edificio-Impianti finalizzata al risparmio energetico. Applicazione ad una residenza a basso consumo nell'Italia centrale. <i>C. Carletti, F. Scieurpi, C. Rummel</i>	CD
---	----

Lo standard “Casa Passiva”: un caso studio <i>U. Desideri, L. Arcioni, D. Leonardi, F. Stella</i>	pag. 361
Progetto e realizzazione di una casa passiva a Perugia: bilancio energetico e simulazione per la scelta di soluzioni impiantistiche ottimali. <i>U. Desideri, S. Proietti, P. Sdringola</i>	pag. 365
Strumenti numerici per la certificazione energetica degli edifici residenziali. <i>A. Fanchiotti, C. Sapia, R. de Lieto Vollaro</i>	pag. 371
Valutazione dell’applicabilità del “docet” ad edifici esistenti non residenziali. <i>U. Di Matteo, G. C. Lo Secco, A. Mazzon, A. Monaco, A. Sassano</i>	pag. 377
Certificazione energetica applicata al patrimonio edilizio storico: il caso studio di un edificio tutelato. <i>F. Cumo, F. Rosa, C. Iviani</i>	pag. 383
Database italiano per l’analisi LCA dei materiali nel settore edilizio. <i>F. Cumo, L. Calcagnini, M. L. Foglia</i>	pag. 389

Premio “Mauro Felli 2008”

The willingness to pay for renewable energy sources (RES): the case of Italy with different survey approaches. An introductory analysis. <i>P. Polinori</i>	pag. 397
Analisi parametrica e modellizzazione di aree interessate da emissioni radiochimiche, programmate o incidentali, da impianti nucleari: valutazioni preventive d’impatto radiologico sui gruppi critici della popolazione. <i>R. Ippolito</i>	pag. 403
Albo d’Oro - Premio “Mauro Felli”	pag. 413

Indice Autori

SESSIONE

**INQUINAMENTO ACUSTICO
E DA VIBRAZIONI**

OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE DI SISTEMI COMPLESSI PER IL CONTROLLO DEL RUMORE

Francesco Asdrubali, Francesco D'Alessandro, Samuele Schiavoni

CIRIAF, Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti, 67, 06125 Perugia

SOMMARIO

Il Laboratorio di Acustica del CIRIAF, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Perugia, è da anni impegnato nel campo dell'acustica applicata ed è dotato di numerose strumentazioni, apparecchiature e codici di calcolo al passo con l'evoluzione delle tecniche di misura, di previsione e di intervento in questo settore. Le collaborazioni intercorse con numerose aziende italiane e con centri di ricerca italiani ed europei hanno permesso al Laboratorio di guadagnare un ruolo importante nel panorama italiano per ciò che riguarda le misurazioni nei settori dell'acustica edilizia e dell'acustica ambientale.

Con la presente memoria si intendono illustrare le più recenti attività svolte presso il Laboratorio di Acustica del CIRIAF, con particolare riferimento alla valutazione e all'ottimizzazione delle prestazioni acustiche di sistemi complessi per il controllo del rumore, quali pavimenti sopraelevati da utilizzare in uffici e centri direzionali o pareti doppie in lamiera metallica per applicazioni navali. Sono inoltre riportati i risultati finora ottenuti dalla sperimentazione condotta su materiali fonoassorbenti e pannelli per la riduzione del rumore di calpestio costituiti da granuli di gomma provenienti da pneumatici a fine vita; i prototipi sono stati prodotti presso il Laboratorio mescolando nelle corrette proporzioni i granuli di gomma e il legante, consolidando opportunamente la miscela.

1. INTRODUZIONE

La presente memoria intende illustrare le più recenti attività di ricerca svolte nel campo dell'acustica edilizia e dei materiali acustici dal Laboratorio di Acustica del CIRIAF.

Le attività nel campo dell'acustica portate avanti dal Laboratorio sono molteplici e riguardano numerosi filoni di ricerca.

Particolarmente sviluppate sono le ricerche inerenti al controllo attivo del rumore; le applicazioni principali sono relative a motori a combustione interna, gruppi elettrogeni, lastre vetrate, condotti di distribuzione dell'aria, locomotive ferroviarie [1,2].

In materia di acustica ambientale, sono stati sviluppati studi e metodologie di elaborazione di piani di risanamento acustico e zonizzazioni acustiche, sono state messe a punto procedure per la valutazione dell'impatto acustico di sorgenti sonore di diversa natura, con particolare riferimento alle infrastrutture stradali e ai successivi piani di risanamento acustico, e sono stati elaborati codici di calcolo originali per la propagazione del rumore. Inoltre, in linea con le recenti direttive europee, sono state sviluppate metodologie per la valutazione dell'indicatore "popolazione esposta al rumore", elemento indispensabile per la definizione delle mappature acustiche strategiche e dei relativi piani d'azione [3,4].

Dal punto di vista sperimentale, le attività principali in materia di acustica edilizia riguardano la misura del potere fonoisolante e del coefficiente di assorbimento acustico di materiali e componenti per l'edilizia (infissi, pareti, pannelli ecc...) e per le infrastrutture di trasporto (barriere acustiche) [5,6,7,8,9].

Infine, più di recente, l'attenzione si è concentrata anche sull'acustica architettonica e sulla progettazione e correzione acustica di sale [10].

Altre informazioni, l'elenco completo delle pubblicazioni citate e la lista delle strumentazioni disponibili possono essere trovate all'interno del sito web [11].

Nelle seguenti sezioni sono riportati in maniera sintetica i risultati ottenuti negli ultimi tre anni di ricerche svolte dal Laboratorio di Acustica del CIRIAF.

2. VALUTAZIONE SPERIMENTALE DELLE PRESTAZIONI DI ISOLAMENTO AL RUMORE DI CALPESTIO DI PAVIMENTI SOPRAELEVATI

Un pavimento sopraelevato è un sistema di pavimentazione composto da pannelli poggianti senza fissaggio su una struttura di sostegno di una certa altezza rispetto all'estradosso del solaio, in modo da ottenere sotto la superficie di calpestio un'intercapedine per alloggiare servizi ed impianti [6].

I campioni testati sono stati installati al di sopra del solaio pesante normalizzato posto tra le camere riverberanti sovrapposte ed è stato misurato il livello di pressione sonora normalizzato da calpestio L_n del sistema pavimento sopraelevato + solaio normalizzato; in alcuni casi è stato utilizzato anche un controsoffitto in cartongesso installato nella camera ricevente sottostante. Le misure sono state eseguite in accordo con la Norma UNI EN ISO 140-6 e l'indice di valutazione L_{nW} è stato calcolato secondo la Norma UNI EN ISO 717-2.

Il solaio pesante normalizzato, conforme alla Norma UNI EN ISO 140-8, è costituito da uno strato omogeneo di cemento armato con spessore uniforme pari a 13 cm; il solaio presenta un valore di L_{nW} misurato pari a 80 dB.

Sono state testate sette configurazioni del sistema pavimento sopraelevato + solaio normalizzato (+ eventuale controsoffitto): in tabella 1 sono riportati gli elementi

costituenti le sette configurazioni, di seguito specificati:

- Pannello CEM in calcestruzzo di spessore 36 mm e massa superficiale pari a 55,4 kg/m².
- Pannello GRES in calcestruzzo e finitura superficiale in grès porcellanato di spessore 42 mm e massa superficiale pari a 70.5 kg/m².
- Pannello PVC in calcestruzzo e finitura superficiale in PVC di spessore 38 mm e massa superficiale pari a 65 kg/m².
- Materiale antivibrante di spessore 3 mm in gomma vulcanizzata ad alta densità.
- Moquette di spessore 6 mm e massa superficiale 4.5 kg/m².
- Controsoffitto con singolo strato di lastre in gesso rivestito, dello spessore di 15 mm con intercapedine pari a 290 mm. Nell'intercapedine tra solaio e controsoffitto è inserito un materassino in lana minerale da 50 mm di spessore e con densità di 40 kg/m³.

I piedini di sostegno in acciaio sono regolati in modo da assicurare che l'altezza dei pannelli rispetto all'estradosso del solaio pesante normalizzato sia pari a 15 cm. In figura 1 è riportato, a titolo esemplificativo, lo schema costruttivo del campione di prova n° 5, con indicati gli elementi costitutivi.

Tabella 1: Configurazioni di prova utilizzate e risultati di misura.

n°	Pannello	smorzante	moquette	controsoffitto	L _{nw} (dB)	ΔL _w (dB)
1	CEM		X		45	28
2	CEM	X			55	23
3	CEM			X	50	26
4	CEM	X		X	46	30
5	CEM	X	X	X	38	35
6	GRES	X		X	41	35
7	PVC	X		X	41	34

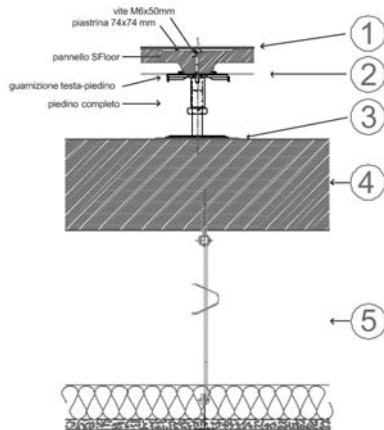


Figura 1: Sezione del campione 5: 1) moquette, 2) pannello CEM + piedino di sostegno, 3) materiale antivibrante, 4) solaio pesante normalizzato, 5) controsoffitto.

Nelle figure 2 e 3 sono riportati gli andamenti del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato L_n in funzione della frequenza dei campioni testati e del solaio nudo. Per ciò che riguarda i campioni costituiti da pannelli CEM (campioni da 1 a 5, vedi figura 2) le prestazioni migliori si ottengono quando sui pannelli è presente la moquette.

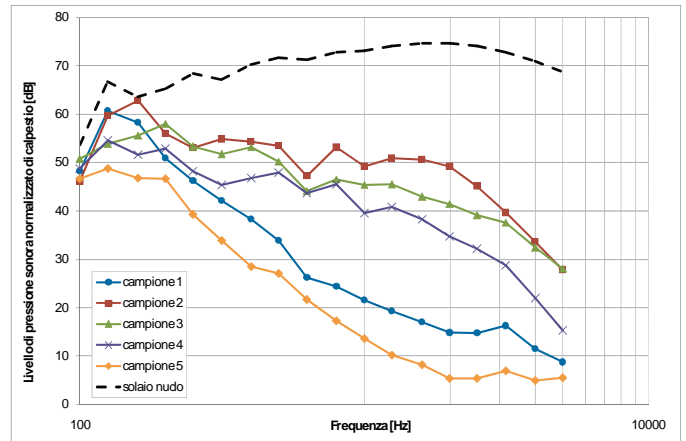


Figura 2: Andamento del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato L_n in funzione della frequenza dei campioni da 1 a 5 e del solaio nudo (linea tratteggiata).

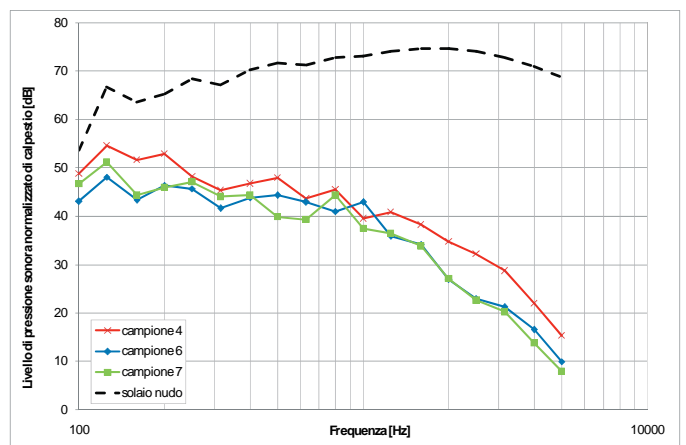


Figura 3: Andamento del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato L_n in funzione della frequenza dei campioni 4, 6 e 7 e del solaio nudo (linea tratteggiata).

Questo è un risultato attendibile poiché i martelletti del generatore di calpestio normalizzato vanno ad impattare sulla superficie morbida della moquette, provocando una rumorosità inferiore rispetto a quella che si avrebbe in assenza della stessa.

Il campione che permette di ottenere i livelli di pressioni sonora L_n più bassi è il numero 5 (vedi figura 1), ma anche in assenza di controsoffitto e materiale smorzante (campione n° 1) si ottengono ottimi risultati con costi nettamente inferiori.

Nel caso dell'utilizzo di finiture superficiali (vedi figura 3) si ottengono miglioramenti pressoché uguali con entrambe le tipologie (PVC e grès), sia in termini di andamento in frequenza che di indice unico.

In tabella 1 sono riportati anche i valori dell'indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora da calpestio ΔL_w calcolati in accordo alla UNI EN ISO 140-8 comparando i livelli di pressione sonora dei sistemi testati con quelli del solo solaio nudo, al fine di avere un'indicazione sulle prestazioni del sistema pavimento sopraelevato + controsoffitto nel caso in cui venga installato su altre tipologie di solaio.

Dall'analisi compiuta è stato, quindi, possibile valutare l'influenza dei vari componenti sulle prestazioni finali del sistema, individuando le configurazioni migliori o quelle più adatte agli utilizzi richiesti.

3. VALUTAZIONE SPERIMENTALE DELLE PRESTAZIONI DI ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO DI PARETI DOPPIE METALLICHE

In questa sezione sono riportati i risultati ottenuti da tre sessioni di misure di potere fonoisolante compiute su pareti divisorie metalliche doppie per applicazioni navali. Le misure sono state eseguite secondo le procedure contenute nella Norma UNI EN ISO 140-3 e l'indice di valutazione R_w è stato calcolato in accordo con UNI EN ISO 717-1.

Il campione di prova n° 1 è composto dai seguenti elementi (vedi figura 4):

1. Profilo di contenimento in lamiera zincata sp. 15/10;
2. Profilo di contenimento in lamiera zincata sp. 15/10;
3. Cassa sp. 8/10 in lamiera plastificata;
4. Controcassa sp. 8/10 in lamiera microforata con diametro fori 3 mm, interasse tra i fori 5 mm, percentuale di foratura 32 %;
5. Pannello di lana minerale con spessore pari a 25 mm e densità pari a 180 Kg/m³;
6. Pannello di lana minerale con spessore pari a 15 mm e densità pari a 150 Kg/m³ (nell'intercapedine);
7. Pellicola in PVC ad alta densità con spessore pari a 1.75 mm e peso specifico pari a 2 Kg/cm³.

I risultati di misura e gli indici di valutazione R_w sono riportati in figura 5.

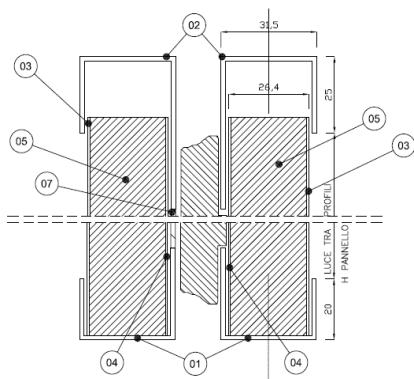


Figura 4: Sezione trasversale del campione 1.

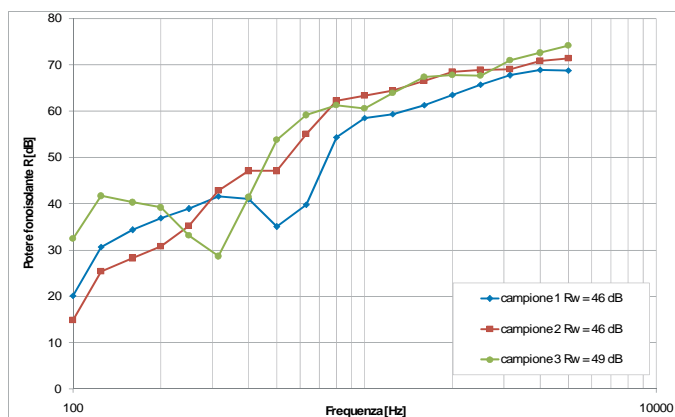


Figura 5: Andamento del potere fonoisolante R in funzione della frequenza per i tre campioni testati.

Successivamente si è eseguita un'altra misura (campione 2) modificando il campione 1 attraverso l'eliminazione della pellicola ad alta densità e dello strato di lana minerale presente

nell'intercapedine (lasciata ora vuota), al fine di sfruttare le proprietà di fonoassorbimento della lana minerale contenuta nei pannelli aventi superfici interne microforate.

Come è possibile osservare in figura 5, il comportamento fonoisolante del campione 2 è nettamente migliorato soprattutto alle frequenze medio-alte, laddove il coefficiente di assorbimento della lana minerale è più elevato. In questo modo è possibile anche risparmiare sui materiali, con notevoli vantaggi dal punto di vista economico.

Il passo successivo dell'attività è stato quello di ottimizzare le prestazioni fonoisolanti della parete: si è deciso, quindi, di sfruttare maggiormente il fonoassorbimento dell'intercapedine attraverso l'utilizzo di lamiere interne con forature ad hoc basate sulla teoria classica dei risuonatori di Helmholtz e utilizzando pannelli in lana minerale meno densa, aumentando, nel contempo, lo spessore e, quindi, la massa delle lamiere metalliche.

Utilizzando per il dimensionamento della lamiera metallica forata la nota relazione per la frequenza di risonanza di un pannello risonante-assorbente

$$f_r = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V \cdot (L + 0.8D)}} \quad (\text{Hz}) \quad (1)$$

dove S è la superficie del foro, V è il volume della cavità, L è la lunghezza del collo e D il diametro del foro, è stato realizzato il campione 3 formato dai seguenti elementi (vedi figura 6):

1. Profilo di contenimento inferiore in lamiera zincata sp. 15/10;
2. Profilo di contenimento superiore in lamiera zincata sp. 15/10;
3. Cassa sp. 8/10 in lamiera d'acciaio plastificata;
4. Controcassa sp. 15/10 in lamiera d'acciaio microforata: diametro fori 15 mm, interasse 45 mm, percentuale di foratura 10 %;
5. Pannello di lana minerale con spessore pari a 40 mm e densità pari a 100 Kg/m³.

In questo caso l'intercapedine d'aria tra i due pannelli ha spessore pari a 20 mm.

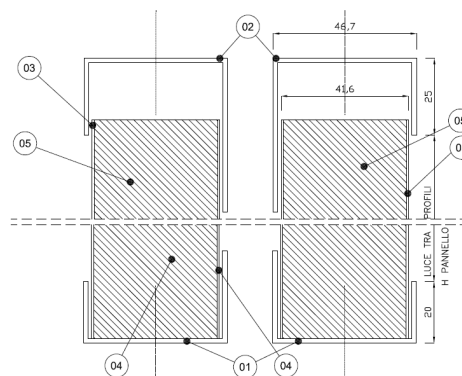


Figura 6: Sezione trasversale del campione 3.

Con le succitate caratteristiche di foratura, l'eq. (1) fornisce una frequenza di risonanza del pannello pari a 750 Hz, come dimostrato dall'innalzamento dei valori di potere fonoisolante per il campione 3 nell'intorno di questa frequenza. Anche in termini di indice di valutazione R_w si passa dai 46 dB dei campioni 1 e 2 ai 49 dB del campione 3, grazie soprattutto all'innalzamento dei valori del potere fonoisolante alle

frequenze più basse (< 200 Hz) causato dalla maggiore massa delle lamiere metalliche interne, passate da uno spessore di 8/10 per i campioni 1 e 2 a quello di 15/10 del campione 3.

4. OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE DI MATERIALI POROSI OTTENUTI DA GRANULI DI GOMMA

In questi ultimi anni si è sviluppata una rinnovata sensibilità nei confronti dei materiali derivati da gomme esauste. Questo fenomeno non va esclusivamente ricondotto alle normative sempre più attente nel campo dello smaltimento dei rifiuti, ma anche al fatto che numerose ricerche ed applicazioni hanno dimostrato come queste tipologie di materiali siano particolarmente indicate per lo svolgimento di determinate funzioni. Particolarmente interessanti sono le applicazioni di questi materiali nei pannelli fonoassorbenti per porosità e come materiali resilienti per pavimenti galleggianti. A tale scopo sono stati realizzati presso il Laboratorio di Acustica del CIRIAF diversi campioni per lo studio di tali proprietà, miscelando i granuli di gomma ad un legante poliuretano necessario a dare consistenza al composto finale [12].

Studio delle proprietà fonoassorbenti

Lo studio delle proprietà fonoassorbenti è stato incentrato sulla determinazione dell'andamento del coefficiente di assorbimento per incidenza normale per mezzo di un tubo di impedenza ad onde stazionarie, in accordo con la Norma UNI EN ISO 10534-2, su cinque campioni diversi. In questo modo è stato possibile determinare l'influenza di alcune caratteristiche del composto su tale parametro, quali:

- dimensioni caratteristiche dei granuli;
- grado di consolidamento del composto;
- spessore di materiale poroso.

In tutti i campioni (vedi tabella 2) è stata fissata una concentrazione di legante pari al 15% in massa sul totale.

Tabella 2: Caratteristiche principali dei campioni analizzati in laboratorio.

Nome	Dim. Grani (mm)	Spessore (cm)	Grado consolidamento %
20GF15-C	1-2	8	20
28GF15-C	1-2	7,2	28
40GF15-C	1-2	6	40
20GM15-C	3-5	9,4	20
20GF15-C2	1-2	9,4	20

Per determinare gli effetti dello spessore su queste tipologie di materiali, sono stati tagliati i campioni a più riprese in modo da analizzare la dipendenza del coefficiente di fonoassorbimento esclusivamente da questo parametro.

Dall'analisi della figura 7 si può notare come per spessori maggiori si verifica uno spostamento dei massimi del coefficiente di assorbimento verso le basse frequenze.

I campioni di materiali porosi poggiano su una superficie rigida sulla quale la velocità di oscillazione dell'aria può essere considerata nulla; pertanto un suono puro di lunghezza d'onda pari a λ , raggiungerà la sua oscillazione massima ad una distanza dalla superficie rigida pari a $s^* = \lambda/4$. Per assorbire

questo suono più efficacemente occorrerà impiegare uno strato di materiale di spessore pari a s^* o, in alternativa, sfruttare l'effetto di un'intercapedine d'aria.

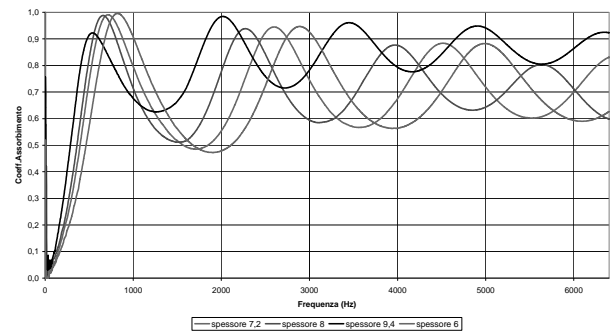


Figura 7: Confronto tra il coefficiente di assorbimento per incidenza normale di diversi spessori del campione 20GF15-C.

Al fine di garantire una maggiore resistenza strutturale a questi materiali, si può conferire allo strato di materiale poroso un certo grado di consolidamento attraverso l'applicazione di una determinata forza per un certo intervallo di tempo.

Il grado di consolidamento è definito dal seguente rapporto:

$$CR = \frac{\Delta V}{V_0} * 100 \quad (\%) \quad (2)$$

dove ΔV è la riduzione di volume provocata dallo schiacciamento del materiale, mentre V_0 è il volume del materiale precedente alla compattazione.

Confrontando campioni diversi esclusivamente in relazione al valore del grado di consolidamento è stato possibile determinare gli effetti di questa caratteristica sulle qualità fonoassorbenti del materiale analizzato (vedi figura 8).

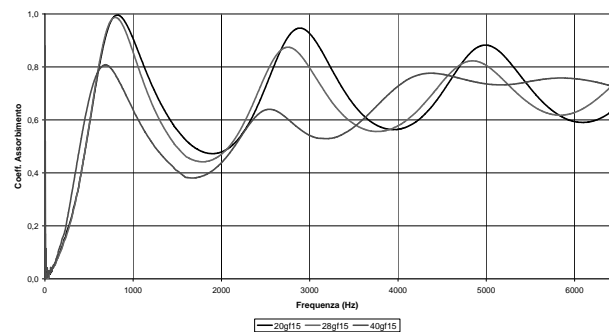


Figura 8: Confronto tra il coefficiente di assorbimento per incidenza normale di campioni di spessore pari a 6 cm con differenti valori del grado di consolidamento.

Dalla figura 8 si osserva come incrementando il valore del grado di consolidamento del materiale si provochi un sostanziale peggioramento dell'andamento del coefficiente di assorbimento, oltre ad un sensibile spostamento del coefficiente di assorbimento verso le basse frequenze. Tali fenomeni sono dovuti rispettivamente alla riduzione di porosità ed al contemporaneo incremento di tortuosità, che si verificano a causa della compattazione del materiale.

Sulla base di questi esperimenti preliminari è stato possibile determinare un campione dalle caratteristiche ottimizzate. Di questo campione è stata realizzata anche una tipologia avente

medesimi valori sia dello spessore che del grado di consolidamento, ma con diverse dimensioni caratteristiche dei granuli, al fine di valutare l'effetto anche di questo parametro (vedi figura 9).

A tale scopo sono stati realizzati i campioni 20GF15-C2 e 20GM-C: nel primo sono stati utilizzati granuli di dimensioni caratteristiche di 1-2 mm, mentre nel secondo di 3-5 mm.

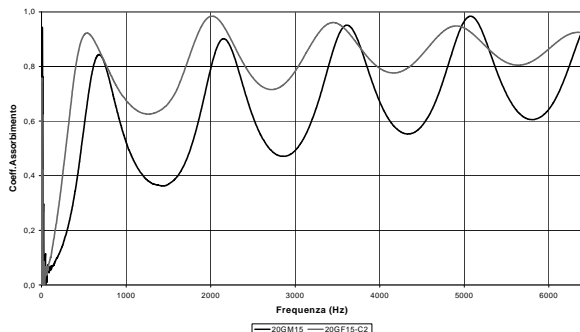


Figura 9: Confronto fra i materiali 20GF15 e 20GM15.

In figura 9 si può osservare come il campione costituito da granuli di gomma di dimensioni caratteristiche minori presenti un andamento del coefficiente di assorbimento nettamente più elevato. Questo effetto è dovuto probabilmente alla maggiore resistenza al flusso di questi materiali, parametro inversamente proporzionale al diametro dei granuli, e indice delle dissipazioni viscosi che si verificano fra l'aria presente negli interstizi del materiale poroso e la matrice solida.

In conclusione si può affermare che questi materiali presentano qualità fonoassorbenti compatibili con quelli dei prodotti commerciali, ma, a differenza di questi, i primi sono stati ottenuti utilizzando un materiale di scarto, reperibile sul mercato in grandi quantità ed a basso prezzo.

Studio delle proprietà resilienti

Le qualità elastiche della gomma suggeriscono il possibile utilizzo come materiale resiliente in pavimenti galleggianti. Al fine di determinare l'effetto delle dimensioni medie dei granuli, della concentrazione di legante e dell'eventuale grado di consolidamento sulle qualità resilienti del composto finale sono stati realizzati in laboratorio otto campioni diversi. Per lo studio delle proprietà resilienti, la grandezza analizzata nel corso delle sperimentazioni effettuate è stata la rigidità dinamica apparente s' , definita dalla Norma UNI EN 29052-1 come:

$$s' = \frac{F/S}{\Delta d} \left(\frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \right) \quad (3)$$

dove s' è la rigidità dinamica per unità di superficie, F è la forza dinamica che agisce perpendicolarmente sul provino, S è l'area del provino e Δd è la variazione dinamica dello spessore del materiale resiliente che ne risulta.

Per l'analisi di questa grandezza è stato utilizzato un analizzatore di rigidità dinamica, attraverso il quale è stato possibile determinare la frequenza di risonanza del campione testato e, conseguentemente, la s' , invertendo la seguente relazione stabilita dalla Norma UNI EN 29052-1:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

dove f_0 è la frequenza di risonanza del campione testato e m' è la massa per unità di superficie del pavimento supportato da materiale resiliente. In funzione della rigidità dinamica del materiale resiliente e della massa per unità di superficie del pavimento galleggiante è possibile determinare l'indice di attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio ΔL_w dagli abachi disponibili nella Norma UNI EN 12354-2, validi nel caso di pavimenti galleggianti

I campioni sono stati realizzati utilizzando tre diverse granulometrie di gomma esausta (fine = 1-2 mm; media = 3-5 mm; grossa = 6-10 mm). I risultati migliori si sono ottenuti con la granulometria più grossolana, per la quale non è stato possibile applicare alcun tipo di consolidamento in quanto lo spessore dei granuli risulta praticamente identico allo spessore finale del materiale resiliente (vedi tabella 3).

Tabella 3: Confronto fra materiali aventi stessa percentuale di legante (10%) e stesso grado di consolidamento, ma diversa composizione granulometrica.

Nome	Granulometria	Spessore (cm)	f_r (Hz)	s' [MN/m ³]	ΔL_w [dB]
Grossa10-R	Grossa	0,9	72	40,99	28,3
G-M10-R	Grossa 80% Media 20%	1,4	74,1	43,37	28

Si noti come l'effetto dell'aggiunta di materiale a pezzatura media su una base di pezzatura grossa, determini un incremento di circa il 5% del valore della rigidità dinamica.

Gli studi condotti sui campioni costituiti da granuli di gomma di diametri caratteristici inferiori (1-2 mm e 3-5 mm), hanno evidenziato come l'applicazione di un maggiore consolidamento provochi un eccessivo irrigidimento del materiale e, di conseguenza, valori più ridotti del ΔL_w (vedi tabella 4).

Tabella 4: Confronto fra materiali aventi stessa percentuale di legante e granulometria, ma diverso grado di consolidamento.

Nome	CR	Spessore (cm)	f_r (Hz)	s' [MN/m ³]	ΔL_w [dB]
27media10-R	27%	0,8	98,9	77,20	24,2
22media10-R	22%	0,7	95,3	71,77	24,7

In ultimo, si è provveduto a determinare gli effetti della concentrazione di legante sulle qualità di fonoisolamento da impatto dei campioni. A tale scopo sono stati realizzati tre campioni diversi per spessore e per concentrazione di legante (vedi tabella 5). Occorre considerare che gli spessori di questi campioni non sono semplicemente misurabili, in quanto le irregolarità e le dimensioni dei grani rendono impossibile una determinazione precisa di questo parametro.

Dalla tabella 5 si noti come ad una diminuzione della concentrazione di legante corrisponda un miglioramento delle qualità resilienti del prodotto finale.

Il campione Lgrossa5-R, in particolare, è stato quello che ha fornito in assoluto il valore di rigidità dinamica più basso e, di conseguenza, il più alto valore dell'indice di attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio ΔL_w (30,8 dB),

valore comparabile con quelli ottenibili da molti prodotti tradizionali presenti in commercio.

Tabella 5: Confronto fra materiali aventi stesso grado di consolidamento e granulometria, ma diversa concentrazione di legante.

Nome	% Legante	Spessore (cm)	f_r (Hz)	s' [MN/m ³]	ΔL_w [dB]
Grossa10-R	10 %	0,9	72 Hz	40,99	28,3
Grossa7,5-R	7,50 %	1,2	65,3 Hz	33,69	29,6
Lgrossa5-R	5 %	1,3	59,7 Hz	28,17	30,8

CONCLUSIONI

La memoria fornisce, seppur in maniera sintetica, alcune informazioni sulle attività di ricerca svolte presso il Laboratorio di Acustica del CIRIAF nel campo dell'acustica, ed in particolar modo in quello dell'acustica edilizia e dello sviluppo di materiali acustici innovativi.

Per ciò che riguarda l'acustica edilizia, sono state valutate le prestazioni di due sistemi complessi per il controllo del rumore quali i pavimenti sopraelevati e le pareti metalliche per applicazioni navali.

Sette campioni di pavimenti sopraelevati sono stati testati presso le camere riverberanti sovrapposte del Laboratorio. Dalle misure effettuate si è potuto osservare come questa tipologia di struttura permette di ottenere livelli di pressione sonora ridotti, soprattutto quando sui pannelli in cemento è presente una finitura superficiale resiliente (una moquette nel caso in esame): in questo modo, infatti, si ottengono valori dell'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio L_{nw} pari a 45 dB, che arrivano a 38 dB quando in camera ricevente è posto un controsoffitto e i piedini di sostegno del pavimento sono appoggiati su uno strato di materiale smorzante.

La seconda parte della memoria, invece, ha riguardato l'ottimizzazione delle prestazioni di isolamento al rumore aereo di pareti metalliche doppie per applicazioni navali. Sono stati testati due campioni di parete presso le camere riverberanti accoppiate del Laboratorio utilizzando le procedure contenute nella Norma UNI EN ISO 140-3, ottenendo per entrambi un valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w pari a 46 dB. Successivamente, sfruttando le proprietà dei risonatori di Helmholtz all'interno dell'intercapedine della parete doppia, è stato possibile ottimizzare il prodotto di partenza, mettendo a punto una nuova configurazione che ha fornito un valore dell'indice R_w pari a 49 dB.

L'ultima parte della memoria, infine, riporta i risultati di una campagna sperimentale volta alla valutazione delle prestazioni di fonoassorbimento e di isolamento dei rumori di calpestio di materiali acustici innovativi prodotti presso il Laboratorio del CIRIAF a partire da granuli di gomma provenienti da pneumatici a fine vita. I campioni sono stati ottenuti miscelando i granuli di gomma ad un legante poliuretano e facendo consolidare il composto al fine di dare consistenza al prodotto finale.

Le misure di coefficiente di assorbimento hanno dimostrato che le granulometrie migliori per tale applicazione sono quelle comprese tra 1 e 2 mm, mentre concentrazioni di legante e gradi di consolidamento ridotti permettono di ottenere valori della porosità maggiori favorendo le proprietà di fonoassorbimento.

Per ciò che riguarda la rigidità dinamica, invece, i risultati hanno dimostrato che, a differenza di ciò che avviene per i materiali fonoassorbenti, le granulometrie più grossolane (tra 6 e 10 mm) sono quelle più indicate per questo tipo di applicazione: il campione migliore ha fornito un valore di rigidità dinamica pari a 28.17 MN/m³, dal quale è possibile calcolare un valore dell'indice di attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio ΔL_w pari 30,8 dB.

BIBLIOGRAFIA

1. F. Rossi, Comparison among active noise systems for tyre-pavement contact noise reduction, Proc. Forum Acusticum Sevilla 2002, Sevilla, Spain.
2. F. Cotana, F. Rossi, C. Buratti, Active Noise Control Technique for Diesel Train Locomotor exhaust Noise abatement, Proc. 144th Meeting of the Acoustical Society of America, Cancun, Mexico, 2002.
3. F. Asdrubali, L. Frezzini, G. Marchetti, M. Angelucci, La valutazione della popolazione esposta al rumore: metodologie e applicazioni nella Regione Umbria, 7° Congresso Nazionale CIRIAF – Perugia 2007.
4. F. Asdrubali, G. Baldinelli, L. Frezzini, Esperienze metodologiche ed applicative nella redazione delle classificazioni acustiche dei comuni umbri, 33° Convegno Nazionale AIA - Ischia - 2006.
5. F. Asdrubali, Green and sustainable materials for noise control in buildings, Proc. 19th International Congress on Acoustics, Madrid 2007.
6. F. Asdrubali, F. D'Alessandro, A methodology to measure the acoustic performance of access floors, Proc. 19th International Congress on Acoustics, Madrid 2007.
7. F. Asdrubali, On the experimental evaluation of the performances of noise barrier diffracting devices, ACTA ACUSTICA, vol. 93 March, 2007.
8. F. Asdrubali, G. Pispola, Reproducibility experiments on measuring acoustical properties of rigid-frame porous media (round-robin tests), Acoustical Society of America - J. Acoust. Soc. Am. 122 (1), July 2007.
9. F. Asdrubali, G. Pispola, F. D'Alessandro, Acoustic intrinsic performances of noise barriers: accuracy of in situ measurement techniques, Proc. ICSV12, Lisbona, Portogallo, luglio 2005.
10. C. Buratti, F. Cotana, M. Vergoni, Different solutions for the electroacoustic diffusion system in San Lorenzo Cathedral in Perugia, Proc. ISCV13, Vienna, Austria, 2006.
11. <http://www.dii.unipg.it>, Sezione di Fisica Tecnica
12. F. Asdrubali, G. Baldinelli, F. D'Alessandro, Evaluation of the acoustic properties of materials made from recycled tyre granules, Proc. Inter-Noise 2007 - Istanbul, Turkey.

QUANTIFICAZIONE DEGLI IMPATTI GENERATI DA UN NODO AEROPORTUALE

Maria Nadia Postorino¹, Antonella Catanzariti²

Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti
Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria
¹npostorino@unirc.it, ²antonella.catanzariti@unirc.it

SOMMARIO

Obiettivo di questo lavoro è mettere a punto una metodologia che consenta di determinare, attraverso opportuni modelli, gli impatti totali generati da un nodo aeroportuale. In questo lavoro sono stati considerati in particolare rumore e inquinamento atmosferico, determinati soprattutto dai velivoli e dai veicoli terrestri utilizzati per l'accesso/egresso a/da l'aeroporto o per le operazioni di handling.

La metodologia proposta si compone di una serie di passi successivi. Gli step principali sono quello di individuazione del bacino di attrazione di un aeroporto e la stima della domanda di trasporto aereo e a questi sarà dato spazio nella trattazione.

L'innovazione dell'approccio proposto è quella di considerare, nella valutazione degli impatti generati dal nodo aeroportuale, non solo quelli prodotti dai velivoli in partenza e in arrivo in un aeroporto, ma anche gli impatti prodotti dai mezzi utilizzati per l'accesso/egresso a/da l'aeroporto e dai mezzi utilizzati per l'handling, riconoscendo il ruolo multifunzionale del nodo aeroportuale come pure la sua funzione di scambio tra modalità di trasporto diverse (modi terrestri e modo aereo in particolare).

INTRODUZIONE

Il trasporto in generale e quello aereo in particolare costituiscono una delle più importanti esternalità ambientali, creando rumore, inquinamento atmosferico e largo consumo di territorio, e dipendendo da risorse energetiche non rinnovabili.

Un nodo aeroportuale, infatti, produce diversi impatti che non solo riducono il grado di benessere delle comunità residenti in prossimità dell'aeroporto ma possono rappresentare un limite allo sviluppo del traffico aereo.

Gli impatti prodotti possono essere suddivisi in due macroclassi (figura 1): impatti prodotti dalla funzione di trasporto (rumore e inquinamento atmosferico anche legati al traffico di superficie delle vie di accesso/egresso all'aeroporto) e impatti prodotti dall'infrastruttura (impatto visivo dell'infrastruttura aeroportuale sull'estetica del paesaggio, impatto sulle eventuali falde freatiche presenti e rifiuti prodotti).

In questo lavoro sono stati considerati gli impatti prodotti direttamente dalla funzione di trasporto, in particolare rumore e inquinamento atmosferico (nel seguito anche indicati come impatti ambientali), determinati in particolare dai velivoli e dai veicoli terrestri utilizzati per l'accesso/egresso a/da l'aeroporto e per le operazioni di handling.

Il rumore generato da un aeroporto dipende dal traffico aereo e dalle attività legate allo scalo e interessa non solo l'aria di sedime, ma anche le aree adiacenti, coinvolgendo i territori circostanti e disturbandone i residenti. La sorgente principale è rappresentata dai motori dell'aereo, specie durante la fase di atterraggio e di decollo, in particolare durante quest'ultima operazione, esso può raggiungere i livelli più elevati di intensità [1].

A livello europeo (UE) [2] ed internazionale (ICAO - *International Civil Aviation Organization*) [3] da tempo si

stanno cercando soluzioni per implementare le giuste azioni che possono ridurre gli impatti negativi derivanti dal rumore ad un livello sociale ottimale, in quanto è irrealistico pensare di annullarli completamente.

Relativamente al secondo aspetto, le emissioni di gas serra sono ritenute dalla maggioranza degli esperti i principali responsabili del cambiamento climatico e del riscaldamento globale. Nel ciclo di atterraggio volo e decollo, gli aeromobili contribuiscono al 3% dell'emissione totale di CO₂ e degli altri gas a effetto serra e questo valore potrebbe aumentare fino al 5% entro il 2050. Tra il 2000-2004, le emissioni di CO₂ degli aeromobili sono passate da 675 a 705 milioni di tonnellate [4].

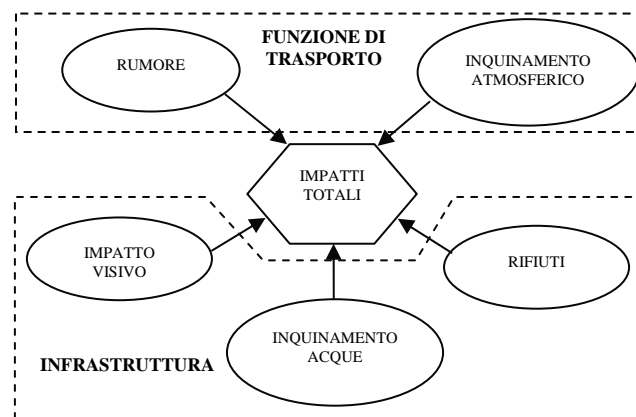


Figura 1: Impatti generati da un nodo aeroportuale

Nell'approccio descritto, oltre alle emissioni derivanti dai movimenti degli aeromobili, sono state considerate anche quelle derivanti dalle attività di trasporto di superficie, sia

all'interno dell'aeroporto sia in relazione all' accesso/egresso a/da l'aeroporto.

Ai fini della procedura generale è da considerare sia il traffico aereo passeggeri che quello merci, anche se quest'ultimo è quasi trascurabile rispetto al primo.

Obiettivo di questo lavoro è di fornire una struttura generale di riferimento per il calcolo dell'impatto ambientale prodotto dal nodo aeroportuale, con particolare enfasi riguardo alla stima del bacino di attrazione di un aeroporto e della domanda di trasporto aereo, la cui accuratezza è fondamentale per l'attendibilità del risultato finale.

METODOLOGIA

In un'ottica di sostenibilità ambientale è auspicabile che gli impatti ambientali generati da un nodo aeroportuale siano minori dei vincoli previsti dalla normativa.

L'approccio proposto si compone, in ordine logico, di cinque step principali (figura 2):

1) individuato il bacino di attrazione dell'aeroporto, si stima la probabilità di scelta del modo terrestre di accesso/egresso, in particolare veicoli privati, e se ne determinano gli impatti prodotti;

2) individuata la domanda di trasporto aerea, si stima il corrispondente numero di velivoli necessario a supportare tale domanda in funzione del fattore di carico medio, e quindi si determinano gli impatti prodotti dai velivoli;

3) in funzione del numero dei velivoli ottenuti nello step precedente, si stima il numero di veicoli terrestri operanti nell'air side e se ne determinano gli impatti;

4) si determinano gli impatti totali dovuti ai mezzi terrestri, ai veicoli di handling e ai velivoli;

5) si confrontano gli impatti totali con i vincoli ambientali del nodo aeroportuale.

Di seguito saranno trattati separatamente i temi relativi all'individuazione del bacino di attrazione e ai modelli di domanda di trasporto aereo, che rivestono un'importanza primaria nell'ambito dell'intera procedura, in quanto passi preliminari per le successive determinazioni sia delle percentuali di scelta modale dei mezzi terrestri di accesso/egresso all'aeroporto sia della domanda di trasporto aereo, a sua volta indispensabile per stimare il numero di velivoli e di veicoli operanti nell'air side.

BACINO DI ATTRAZIONE

Per la determinazione degli impatti generati dai mezzi di trasporto terrestri di accesso/egresso a/da l'aeroporto è fondamentale la definizione del bacino di attrazione di un aeroporto (o catchment area). L'individuazione della catchment area non è banale, in quanto varia da aeroporto ad aeroporto, e la sua definizione dipende dalle caratteristiche dell'aeroporto: la posizione geografica dello stesso, le vie d'accesso mediante strada o ferrovia, l'attrattiva del trasporto aereo rispetto a quello offerto dai mezzi terrestri alternativi (automobile, autobus, treno), il tenore di vita della popolazione e la posizione degli aeroporti concorrenti.

In letteratura sono state proposte molte definizioni del bacino di attrazione di un aeroporto: può essere definito come l'area per la quale un aeroporto è il più conveniente oppure come l'area geografica che contiene gli utenti potenziali e i passeggeri di un aeroporto [5]; o ancora come l'area geografica di provenienza degli utenti che usufruiscono del terminale aeroportuale [6] oppure come l'unione di tutte le zone geografiche i cui residenti, che effettuano uno spostamento con il modo aereo, scelgono l'aeroporto in esame [7]. Può inoltre essere assunto pari al numero di utenti che iniziano il loro spostamento all'aeroporto senza riferimento alla loro origine geografica; oppure può essere assunto pari all'estensione di quelle aree per le quali si rileva la maggior frequenza di spostamenti aerei pro capite [8].

Per uno stesso aeroporto, inoltre, è possibile definire un bacino di origine, che racchiude tutte le possibili origini dello spostamento aereo, e un bacino di destinazione, che invece racchiude tutte le possibili destinazioni finali dello spostamento aereo. In genere le catchment area origine e destinazione per uno stesso aeroporto non coincidono.

Un utente i con origine interna al bacino origine e un utente j con destinazione finale interna al bacino destinazione possono percepire, nel momento in cui scelgono di compiere uno spostamento aereo, un insieme di scelta differente soprattutto rispetto a quello dei modi di accesso/egresso a/da l'aeroporto. La maggior parte degli utenti, ad esempio, non percepisce, a destinazione, l'alternativa "auto propria", che solo per una parte può essere sostituita dall'alternativa "auto affittata (rental car)". Il bacino di destinazione, quindi, è dipendente dai mezzi collettivi o combinazioni di questi che collegano l'aeroporto con le destinazioni finali.

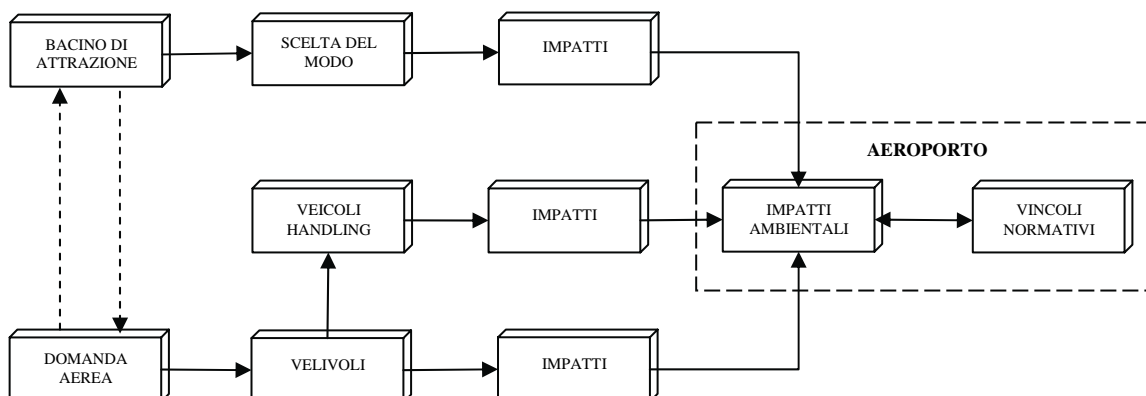


Figura 2: Determinazione degli impatti generati da un nodo aeroportuale

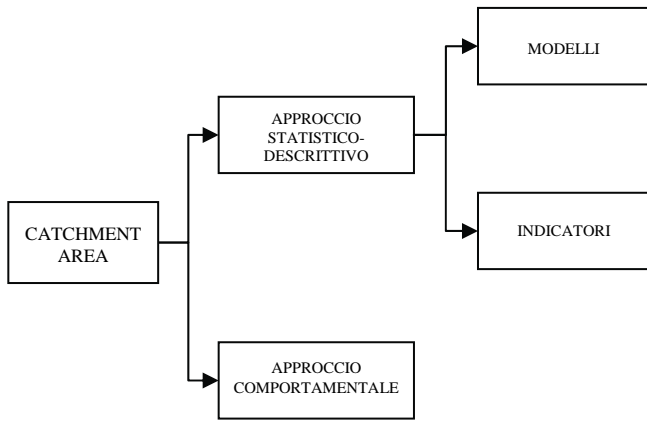


Figura 3: Impatti generati da un nodo aeroportuale

Con riferimento all'origine (ma similmente a destinazione), gli approcci utilizzati per la definizione del bacino di attrazione (figura 3), in generale, possono essere distinti in:

1) approccio statistico-descrittivo, che fornisce la catchment area in termini di numero di utenti che utilizzano un certo aeroporto per effettuare lo spostamento aereo mediante indicatori, utilizzando modelli che non formulano ipotesi specifiche sul comportamento dei decisori;

2) approccio comportamentale, che misura la catchment area in termini probabilistici, cioè come probabilità che l'utente o gruppi omogenei di utenti con origine in una data area scelgano un certo aeroporto per effettuare lo spostamento aereo, mediante modelli basati su esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti.

Come già accennato, nella procedura generale riportata in figura 2 l'individuazione del bacino di attrazione è una fase importante in quanto rispetto ad esso è stimata la domanda aerea ed è determinata la percentuale di scelta modale relativamente ai modi di trasporto terrestri utilizzati dagli utenti per l'accesso/egresso a/da l'aeroporto.

Approccio statistico-descrittivo

L'approccio statistico-descrittivo si propone di definire la catchment area mediante indicatori o mediante modelli ed è utile nel caso in cui è assente o è minima l'interazione tra aeroporti presenti in una stessa area oppure nel caso di studi preliminari in cui non è necessario un elevato grado di approfondimento.

L'approccio statistico-descrittivo mediante l'utilizzo di indicatori è basato sull'identificazione di una funzione di accessibilità che permette di determinare il bacino di attrazione calcolando un indice di accessibilità rispetto alla viabilità terrestre principale. Gli indicatori di accessibilità sono definiti come combinazione di accessibilità elementari e possono essere suddivisi in tre tipologie: indicatori a soglia, indicatori continui comportamentali e indicatori continui non comportamentali. Il più semplice di questi, l'indicatore a soglia, permette di identificare il bacino di attrazione come il numero di utenti che risiedono in un'area geografica definita entro una soglia prefissata.

Il limite del bacino di attrazione dipende dal valore soglia (variabile deterministica o stocastica) dell'indicatore, che può, ad esempio, essere assunto pari ad una percentuale del tempo complessivo di viaggio sul mezzo aereo per la tratta considerata. Un altro semplice metodo, molto usato nella pratica, è quello di assumere l'indicatore pari ad un valore limite temporale o di distanza dall'aeroporto oltre il quale si può ritenere nulla l'influenza dell'aeroporto come centro di

origine e destinazione di domanda ([9], [10], [11], [12]).

L'approccio statistico-descrittivo mediante l'utilizzo di modelli, che non derivano da esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti, invece, permette di stimare le ripartizioni percentuali di una classe di utenti tra gli aeroporti appartenenti ad un prefissato insieme di scelta, calibrate solitamente sulla base di informazioni di tipo aggregato ([13], [14], [15]).

Approccio comportamentale

L'approccio comportamentale è utile in un sistema multi-aeroporto, in cui sono presenti aeroporti competitivi vicini, i cui bacini di attrazione possono anche essere sovrapposti, e nel caso in cui si vuole ottenere un elevato grado di approfondimento dello studio.

L'approccio comportamentale individua la catchment area in termini probabilistici, cioè come probabilità che l'utente o gruppi omogenei di utenti con origine in una data area, decidendo di spostarsi con il modo di trasporto aereo, scelgano un certo aeroporto per effettuare lo spostamento aereo.

I modelli di scelta dell'aeroporto di tipo comportamentale derivano da esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti e possono essere classificati in base a diversi fattori, riportati in figura 4.

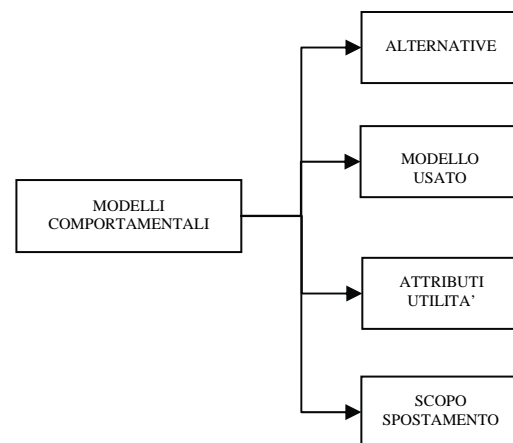


Figura 4: Schema di classificazione dei modelli comportamentali

Ogni spostamento è il risultato di numerose scelte compiute dagli utenti del servizio di trasporto e le scelte possono essere relative a diversi livelli o dimensioni di scelta [10]: destinazione, aeroporto origine, compagnia, modo di accesso, tipo di volo.

Nella letteratura di settore ([16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]), i modelli proposti permettono di simulare la dimensione di scelta dell'aeroporto origine attraverso variabili dummy, oppure all'interno di un processo decisionale in cui si ipotizza quali dimensioni di scelta sono coinvolte, con quale ordine gerarchico possono essere affrontate e come si influenzano reciprocamente.

I vari tipi di studio differiscono soprattutto per la scelta del modello usato per simulare le scelte degli utenti. Il modello maggiormente usato è il Logit Multinomiale.

Gli attributi principali dell'utilità utilizzati in letteratura sono attributi di livello di servizio, in particolare, frequenza di volo, tariffa e costo generalizzato di accesso all'aeroporto, presente in termini di distanza e/o di tempo accesso. Oltre a questi, sono stati considerati anche attributi che tengono conto del fatto che l'utente abbia usato precedente l'aeroporto

considerato, l'appartenenza a programmi promozionali (frequent flyer), il tempo di volo, il tipo di aeromobile, l'immagine della compagnia.

Spesso i modelli proposti presentano una segmentazione degli utenti in classi distinte in funzione dello scopo dello spostamento: in particolare spostamenti per motivo business e per motivo svago.

MODELLI DI DOMANDA DI TRASPORTO AEREO

La domanda di trasporto è il risultato delle scelte effettuate da un insieme non omogeneo di utenti e tali scelte dipendono da variabili non sempre immediatamente identificabili e dallo specifico comportamento del singolo individuo.

In generale, un modello di domanda può essere definito come una relazione matematica che lega il livello atteso di domanda (variabile dipendente) ad una o più variabili esplicative (o variabili indipendenti) la cui natura dipende dal tipo di modello e dalla disponibilità dei relativi dati.

In generale, le variabili esplicative possono essere:

- livelli di domanda verificatisi nel passato;
- variabili socio-economiche;
- variabili di livello di servizio;
- variabili relative all'utente.

La previsione di domanda di trasporto aereo può essere riferita al singolo aeroporto di una regione o ad un sistema in cui ricadono più aeroporti che possono considerarsi competitivi l'uno rispetto all'altro.

I modelli utilizzati per la previsione della domanda passeggeri presenti in letteratura possono essere distinti in: disaggregati o aggregati, a seconda che le variabili esplicative si riferiscano al singolo utente o a gruppi di utenti; descrittivi o comportamentali, a seconda che vengano o meno formalizzate ipotesi sul comportamento di viaggio dell'utente; multimodali o monomodali, a seconda che simulino la ripartizione esplicita tra più modi di trasporto o individuino la domanda su un unico modo di trasporto [27].

Un'ulteriore classificazione può essere fatta tra modelli di stima relativi a specifiche coppie di aeroporti a servizio di un'area urbana e modelli di stima basati sulla suddivisione del territorio in zone di traffico, legata alla definizione del bacino di attrazione dell'aeroporto: se le catchment area risultano in parte sovrapposte è preferibile un approccio per zone, mentre se sono ritenute distinte è preferibile un approccio aeroporto-aeroporto [28]. Appare evidente la stretta interazione tra l'individuazione del bacino di attrazione di un aeroporto e la stima della domanda di trasporto aereo relativa a quell'aeroporto.

Ancora i modelli di domanda possono essere classificati come modelli a serie temporale e modelli di scelta discreta. Nei primi la previsione della domanda nel tempo si ottiene simulandola sulla base della storia passata attraverso l'utilizzo di dati storici, mentre nei secondi la domanda è stimata con riferimento ad un modello a stadi, in cui la scelta modale dell'utente avviene rispetto ad un insieme costituito da un numero finito di alternative.

Nel seguito, saranno riportate le principali caratteristiche teoriche dei modelli a serie temporale e dei modelli di scelta discreta.

Modelli a serie temporale

I modelli a serie temporale per la stima della domanda di trasporto aereo possono avere diversi livelli di complessità a

seconda della finalità dello studio e della disponibilità dei dati e possono essere suddivisi in:

- modelli gravitazionali;
- modelli econometrici;
- modelli di tipo ARIMA.

I modelli gravitazionali permettono di stimare il numero di spostamenti prodotto da una zona i e attratto da una zona j in modo proporzionale alla separazione spaziale tra le zone.

Un esempio di modello gravitazionale è quello proposto da Grosche, Rothlauf e Heinzl [29]:

$$V_{ij} = e^{\varepsilon} P_{ij}^{\pi} C_{ij}^{\chi} B_{ij}^{\beta} G_{ij}^{\gamma} D_{ij}^{\delta} T_{ij}^{\tau} \quad (1)$$

dove P_{ij} è pari al prodotto tra le popolazioni riferite solo alle città dove è localizzato l'aeroporto, C_{ij} è il prodotto tra i bacini d'influenza che includono le aree distanti dall'aeroporto circa 60 min in auto, B_{ij} è la somma degli indici medi del potere d'acquisto del bacino d'influenza, G_{ij} è il prodotto tra i PIL del paese in cui è situato l'aeroporto, D_{ij} è la distanza geografica in km tra gli aeroporti e T_{ij} è il tempo medio di viaggio. I simboli in lettere greche sono parametri da stimare.

I modelli econometrici permettono di individuare, in funzione della serie di dati disponibile, una relazione quantitativa tra la domanda e le variabili più significative che influiscono e determinano la domanda stessa.

Vari modelli di trend di natura econometria sono stati proposti in letteratura per l'analisi della domanda di trasporto aereo. Le forme funzionali possono essere di tipo lineare, moltiplicativo, o misto.

Un esempio di modello econometrico è quello proposto da Melville per la stima della domanda a livello internazionale alla regione Caraibica [30]. Il modello è di tipo lineare additivo con trasformazione logaritmica di alcune variabili rilevanti:

$$\ln d_{it} = \sigma + \beta_1 QFARE_{it} + \beta_2 LRINC_{it} + \beta_3 LREER_{it} + \beta_4 PCRGDP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

dove d_{it} è il volume di passeggeri che transita nell'aeroporto i nel tempo t , $QFARE_{it}$ è una variabile indicativa della tariffa di viaggio, $LRINC_{it}$ è il prodotto del reddito medio pro capite dei due centri origine/destinazione, tenendo conto dell'indice di prezzo al consumo, espresso in forma logaritmico, $LREER_{it}$ è il tasso di cambio effettivo, espresso in forma logaritmica, $PCRGDP_{it}$ è il prodotto della variazione percentuale del Prodotto nazionale lordo (GDP) dei due paesi origine e destinazione dello spostamento, ε_{it} è un residuo aleatorio.

I modelli di tipo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), invece, permettono di simulare l'andamento della domanda in funzione della serie temporale della domanda stessa oppure in funzione delle serie temporali della domanda stessa e delle variabili esplicative.

Nel caso in cui sia difficile avere a disposizione o siano difficili da quantificare i valori di variabili esplicative, i modelli ARIMA che simulano l'evoluzione della domanda basandosi solo sulla sua storia passata e che non utilizzano variabili esplicative vengono definiti univariati.

Nel caso in cui, invece, si abbia a disposizione oltre la serie storica della variabile in esame anche la/le serie storiche di variabili esplicative è possibile effettuare l'analisi dell'andamento della variabile in funzione della propria serie e delle serie delle variabili esplicative: in questo caso i modelli

vengono definiti ARIMA multivariati. Le variabili esplicative maggiormente utilizzate negli studi presenti in letteratura sono il numero di passeggeri totali, la popolazione, il prodotto interno lordo pro capite, i consumi nazionali, i passeggeri/km del servizio ferroviario e i movimenti aerei.

Un esempio di modello ARIMA univariato è quello proposto da Reitani [31]. Il modello è stato elaborato per dodici tra i più trafficati aeroporti della Comunità Europea: Amsterdam, Barcellona, Bruxelles, Copenaghen, Düsseldorf, Francoforte, Londra, Madrid, Milano, Monaco, Parigi e Roma.

Il modello è riportato di seguito nell'Eq.(3):

$$Y_{TP}(t) = \sum_{i=1}^p [\phi_i Y_{TP}(t-i)] + \sum_{j=1}^q [\vartheta_j Z(t-j)] \quad (3)$$

dove $Y_{TP}(t)$ è la variabile relativa ai passeggeri all'anno t , p e q rappresentano l'ordine della componente AR e della componente MA, $Z(t)$ rappresenta la componente white noise associata al processo $Z(t) \sim WN(0, \sigma^2)$, ϕ_i sono i parametri dei termini $Y_{TP}(t-1), \dots, Y_{TP}(t-p)$, ϑ_j sono i parametri dei termini $Z(t-1), \dots, Z(t-q)$. La componente AR è la parte che utilizza la variabile principale; la componente MA invece fa riferimento al termine di white noise che viene associato al processo in fase di identificazione.

Modelli di scelta discreta

Nei modelli di scelta discreta la domanda è stimata con riferimento ad un modello a stadi, in cui la scelta modale dell'utente avviene rispetto ad un insieme costituito da un numero finito di alternative.

La struttura generale di un modello di scelta è del tipo a stadi:

$$d_o(k_1, k_2, \dots, k_n) = n_o \prod_i p(k_i) \quad (4)$$

dove $d_o(k_1, k_2, \dots, k_n)$ è la domanda di spostamento con origine in o che si sposta per un motivo s e caratterizzata dalla dimensioni di scelta k_1, k_2, \dots, k_n (quale la destinazione, la fascia oraria di partenza, il modo, l'aeroporto di origine e/o destinazione, ecc.); n_o rappresenta il numero di utenti potenziali nella zona di origine o ; $p(k_i)$ sono le percentuali di scelta relativamente alla dimensione k_i che possono essere valutate con modelli di tipo descrittivo o con modelli di tipo comportamentale, in particolare con modelli di utilità aleatoria [32].

I modelli di scelta discreta presenti in letteratura possono essere classificati in base a vari fattori:

- le alternative modali che compongono l'insieme di scelta (aereo, treno, auto, bus);
- il tipo di modello usato (logit binomiale o multimodale, Nested logit, Gev, ecc.);
- la forma funzionale dell'utilità (lineare additiva, non lineare additiva, ecc.);
- gli attributi dell'utilità (costo, tempo di viaggio, frequenza, ecc.);
- il tipo di metodo usato per la stima dei parametri (massima verosimiglianza, minimi quadrati, ecc.);
- l'origine dei dati (indagini RP e/o SP);
- lo scopo dello spostamento (in generale motivo o svago).

La scelta è complessa perché dipende, qualora ci sia la disponibilità del modo aereo, da numerose dimensioni di scelta per le quali non è immediato definire un ordine

gerarchico, come la posizione degli aeroporti origine e destinazione, la modalità di accesso/egresso al terminal, la compagnia aerea, l'orario desiderato di partenza e di arrivo, la classe, il tipo di volo.

Fondamentalmente, effettuata la scelta della destinazione e dell'aereo come modo principale, la scelta fatta dall'utente può essere suddivisa in tre sottocategorie:

- scelte lato origine (origin side);
- scelte lato destinazione (destination side);
- scelte lato aria (air side).

Le scelte effettuate in riferimento all'origin side possono essere suddivise in due categorie: la scelta dell'aeroporto di origine e le scelte fatte per raggiungere l'aeroporto stesso.

In molti casi, l'insieme di scelta degli aeroporti di partenza è molto limitato ed è influenzato dall'aeroporto più vicino all'origine dello spostamento. In alcuni casi, gli utenti possono essere di fronte ad una scelta tra un insieme di aeroporti. Inoltre, gli utenti prendono decisioni molteplici riguardo la modalità di accesso all'aeroporto o le combinazioni di questi. Effettuata la scelta del modo o modi combinati di accesso e del percorso, l'utente, che sceglie il modo auto, può scegliere tra l'alternativa auto propria o passeggero accompagnato e nel primo caso può scegliere tra un insieme di differenti opzioni di parcheggio. L'utente, inoltre, fa una scelta riguardo al tempo di partenza che è molto influenzato dal tempo di partenza del volo.

Le scelte effettuate in riferimento alla destination side possono essere considerate come il corrispettivo di quelle fatte dall'utente a livello dell'origin side. A parte la scelta della destinazione finale dello spostamento, le scelte a livello della destination side includono la scelta dell'aeroporto di destinazione e dei modi per raggiungere la destinazione finale dello spostamento. Comunque esiste una leggera differenza; infatti dal punto di vista dell'utente, esiste generalmente un minore livello di conoscenza rispetto all'origin side. Inoltre nella maggior parte dei casi, l'utente a destinazione non dispone dell'alternativa auto propria e in alcuni casi l'opzione può essere sostituita da auto in affitto.

Le scelte effettuate a livello dell'air side, invece, possono essere suddivise in tre dimensioni di scelta tra loro correlate.

La prima scelta che l'utente effettua è quella della compagnia o combinazione di compagnie che collegano l'aeroporto destinazione scelto con un dato percorso. I livelli inferiori alla scelta della compagnia sono quello della scelta del volo diretto o con connessione, e in questo ultimo caso il numero di connessioni, oppure della scelta del tipo di aeromobile [33].

CONCLUSIONI

Il principale obiettivo di questo lavoro è di proporre un approccio metodologico, secondo lo schema di figura 2, che permetta di individuare una procedura standard per identificare gli impatti ambientali, in particolare il rumore e l'inquinamento atmosferico prodotti dagli aeromobili, dai mezzi di handling e dai mezzi utilizzati per l'accesso/egresso, di un nodo aeroportuale, ai fini dello sviluppo sostenibile del sistema di trasporto aereo.

Per valutare gli impatti totali, sono importanti le fasi preliminari di stima del bacino di attrazione dell'aeroporto, noto il quale si può valutare il numero e il tipo di mezzi utilizzati per l'accesso/egresso a/dal l'aeroporto, e di stima della domanda di trasporto aereo, nota la quale si può valutare il numero di velivoli/movimenti e in funzione di questi il

numero dei mezzi di handling.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. B. Graham and C. Guyer, Environmental sustainability, airport capacity and European air transport liberalization: irreconcilable goals?, *Journal of Transport Geography* vol. 7, pp. 165-180, 1999.
2. Direttiva 2002/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 marzo 2002, che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti della Comunità.
3. Environmental Protection, Annex 16 to the Convention of International Civil Aviation, ICAO, vol. I, Aircraft Noise, Third Edition, July 1993.
4. IPCC Fourth Assessment Report, 2007.
5. TP 14283B Regional and Small Airport Study, Transport Canada, 2004.
6. Government Accountability. Aviation Competition. Regional Jet Service yet to Reach Many Small Communities, GAO-01-344, US, 2001.
7. S. De Luca, Stima del bacino di utenza e di influenza di un aeroporto, in Marino Lupi (ed.), Linee guida per la programmazione dello sviluppo degli aeroporti regionali, pp. 104-138, Franco Angeli, Milano, 2007.
8. L. Fridstrom and H. Thune-Larsen, An econometric air travel demand model for the entire conventional domestic network: the case of Norway, *Transportation Research*, vol. 23B n.3, pp. 213-223, 1989.
9. AA.VV., General Aviation System Study for the SCAG region, Internal report of Southern California Association of Governments, 2003.
10. P. Van Reeve, J. de Vlieger and V. Karamychev, Bob airport accessibility pilot, report finale, Erasmus University Rotterdam, Transport Economics Dept, 2003.
11. R. Milone, H. Humeida, M. Moran, M. Seifu, J. Hogan, FY-2003 Models development for COG/TPB travel models, Metropolitan Washington Council of Governments, National Capital region Transportation Planning Board, 2003.
12. K. Fuellhart, Airport catchment and leakage in a multi-airport region: The case of Harrisburg International, *Journal of Transport Geography*, vol. 15, pp.231-244, 2007.
13. J. G. Augustinus and S. A. Demakopoulos, Air passenger distribution model for a multiterminal airport system, *Transportation Research Records*, vol. 673, pp. 176-180, 1978.
14. F. Cohas, P. Belobaba and R. Simpson, Competitive fare and frequency effects in airport market share modelling, *Journal of Air Transport Management*, vol. 2, n.1, pp. 33-45, 1995.
15. K. Fuellhart, Inter-metropolitan airport substitution by consumers in an asymmetrical airfare environment: Harrisburg, Philadelphia, and Baltimore, *Journal of Transport Geography*, vol. 11, pp. 285-296, 2003.
16. R. E. Skinner, Jr, Airport Choice: An Empirical Study, *Transportation Engineering Journal of ASCE*, vol. 102 (TE4), november, pp.871-882, 1976.
17. G. Harvey, Airport Choice in a Multiple Airport Region, *Transportation Research A*, vol. 21A (6), pp. 439-449, 1987.
18. N. Ashford and M. Benchemam, Passengers' choice of airport: an application of the multinomial logit model, *Transportation Research Record 1147*, pp. 1-5, 1987.
19. J. D. Innes and D. H. Doucet, Effects of Access Distance and Level of Service on Airport Choice, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 116 (4), pp. 507-516, 1990.
20. M. Hansen and Q. Du, Modeling Multiple Airport Systems: A Positive Feedback Approach, Working Paper UCTC No 404, The University of California Transportation Center, University of California at Berkeley, 1993.
21. L. Bondzio, Models for the passengers' access to airports, Ph.D. Thesis, Ruhr-University, Bochum, 1996.
22. E. Pels, P. Nijkamp and P. Rietveld, Access to and competition between airports: a case study for the San Francisco Bay Area, *Transportation Research A*, vol. 37 (1), pp. 71-83, 2003.
23. S. Hess and J. W. Polak, Mixed logit modelling of airport choice in multi-airport regions, *Journal of Air Transport Management*, vol.11, pp. 59-68, 2005.
24. E. Kroes, A. Lierens and M. Kouwenhoven, The airport Network and Catchment area Competition Model: A comprehensive airport demand forecasting system using a partially observed database, RAND Europe, Conference reference: ERSA, 2005.
25. S. Hess and J. W. Polak, Exploring the potential for cross-nesting structures in airport-choice analysis: A case-study of the Greater London area, *Transportation Research Part E*, vol.42, pp.63-81, 2006.
26. Y. Suzuki, Modeling and testing the "two-step" decision process of travelers in airport and airline choices, *Transportation Research Part E*, vol.43, pp. 1-20, 2007.
27. E. Cascetta, Modelli per i sistemi di trasporto, casa editrice UTET, 2006.
28. M.N. Postorino, Modelli per la generazione e previsione della domanda di trasporto aereo, in Marino Lupi (ed.), Metodi e modelli per la simulazione e verifica di un sistema di trasporto aereo: uno stato dell'arte, pp. 32-50, Franco Angeli, Milano, 2006.
29. T. Grosche, F. Rothlauf and A. Heinzl, Gravity models for airline passenger volume estimation, *Journal of Air Transport Management*, vol. 13, pp. 175-183, 2007.
30. J.A. Melville, An empirical model of the demand for international air travel for Caribbean region, *International Journal of transport Economics*, vol. XXV n.3.
31. G. Reitani, Modelli ARIMA uni variati e multivariati per lo studio della domanda di trasporto aereo, *Trasporti e Trazione*, vol. 4/02, pp.130-143, 205-216, 2002.
32. M.N. Postorino, Stima e previsione della domanda di trasporto aereo per un aeroporto regionale, in Marino Lupi (ed.), Linee guida per la programmazione dello sviluppo degli aeroporti regionali, Franco Angeli, pp.22-70, 2007.
33. S. Hess, Modelling air travel choice behavior, work in progress, 2007.