

## VALUTAZIONE SPERIMENTALE E TEORICA DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DI UN EDIFICIO SCOLASTICO

Cinzia Buratti, Elisa Moretti

Università degli Studi Perugia - Dipartimento di Ingegneria Industriale

### 1. Introduzione

Il crescente interesse e la necessità di rispettare la legislazione vigente in merito ai requisiti acustici passivi degli edifici ha dato origine alla ricerca di nuovi materiali e soluzioni per l'acustica e allo sviluppo di codici di calcolo capaci di prevedere le prestazioni acustiche delle strutture a partire dai materiali impiegati. Il presente studio prende in esame un edificio adibito ad attività scolastica situato in un piccolo Comune della Provincia di Perugia, recentemente oggetto di ristrutturazione, e ne analizza i requisiti acustici passivi, mediante un'indagine sperimentale e teorica. A tal fine è stata effettuata una campagna di misure in opera, volta a determinare i principali parametri introdotti dal DPCM 5/12/97 [1]: l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente tra le aule scolastiche ( $R'_w$ ), l'indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ( $D_{2m,nT,w}$ ), l'indice del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato ( $L_{n,w}$ ), l'indice di valutazione del potere fonoisolante ( $R'_w$ ) apparente del solaio interpiano e il tempo di riverberazione ( $T_{60}$ ). Con l'ausilio di due codici di calcolo commerciale, Echo 4.0 e Bastian 2.1, basati sui metodi di calcolo descritti dalle norme UNI EN ISO 12354 [2, 3, 4], è stato possibile stimare i medesimi indici a partire dagli elementi costruttivi dell'edificio, al fine di effettuare una comparazione con i dati sperimentali che ne verifichi l'attendibilità.

Si è proceduto infine alla progettazione degli interventi per la bonifica acustica degli ambienti in esame [5, 6, 7].

### 2. Descrizione dell'edificio

La campagna di misure in opera è stata effettuata presso un edificio scolastico, situato nel centro storico di una piccola cittadina; il fabbricato, realizzato negli anni '60, è stato soggetto negli ultimi anni ad una ristrutturazione volta principalmente all'aspetto strutturale, che ha però trascurato quello acustico. La struttura, sede della Scuola Ele-

mentare e Media, si articola principalmente su quattro livelli, presenta una struttura continua in muratura di pietra ed ampie finestrate.

### 3. Campagna sperimentale per la verifica dei requisiti acustici passivi

#### 3.1 Metodologia di misura

Le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi previste dal D.P.C.M. del 5.12.1997, oggetto di verifica mediante misure in opera, sono state:

- isolamento acustico standardizzato di facciata ( $D_{2m,nT}$ ), determinato secondo le prescrizioni della normativa UNI EN ISO 140 – 5 [8];
- livello di rumore di calpestio di solai normalizzato ( $L_n$ ), misurato in accordo con la norma UNI EN ISO 140 – 7 [9];
- potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti ( $R'$ ): in questo caso è stato valutato l'isolamento acustico per via aerea di partizione verticale tra due aule adiacenti e quello di partizione orizzontale (solaio) tra due aule l'una sovrapposta all'altra; le misure sono state eseguite in accordo con la normativa UNI EN ISO 140 – 4 [10];
- tempo di riverberazione delle aule scolastiche ( $T_{60}$ ), misurato in accordo con la norma tecnica UNI 354 [11].

I risultati sono stati elaborati, in accordo con le norme UNI EN ISO 717-1 [12] e UNI EN ISO 717-2 [13], per calcolare gli indici di valutazione a singolo numero che caratterizzano i requisiti acustici passivi. I valori ottenuti sono stati poi confrontati con i limiti imposti dalla Legislazione vigente.

#### 3.3 Strumentazione impiegata

Per l'effettuazione delle misure sono stati impiegati un fonometro modello Solo e un sistema di acquisizione Symphonie della 01 dB. L'acquisizione e l'elaborazione dei dati sono state effettuate mediante il software dBTRAIT32 per le misure fonometriche e con dBATI32 per il sistema Symphonie. Inoltre sono stati impiegati:

- per le misure di calpestio, un generatore di calpestio normalizzato, prodotto da 2 Zeta s.n.c., conforme all'appendice A delle norme ISO 140-6, 140-7 e 140-8;
- per l'isolamento di facciata, un altoparlante Montarlo mod MT180A;
- per la generazione del rumore, una sorgente sonora SONCIR 1 di forma dodicaedrica e un amplificatore mod. SU-A900 della Technics.

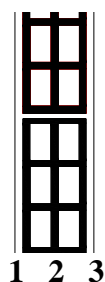
#### 3.3 Ambienti di prova

##### 3.3.1 Parete esterna per misure di isolamento di facciata

La campagna di misure per la valutazione dell'isolamento acustico di facciata ha riguardato la porzione di facciata relativa all'aula docenti, sita sempre al terzo livello. La facciata è costituita da muratura in pietra, dello spessore di 0,50 m, con finestrate in telaio d'alluminio e vetro singolo (spessore 0,004 m) e superfici esterne intonacate.

##### 3.3.2 Parete di separazione tra aule

Le misure d'isolamento acustico tra partizioni verticali hanno riguardato la parete di separazione tra due aule poste al terzo livello del complesso scolastico, le cui caratteristiche sono schematizzate in fig. 2.

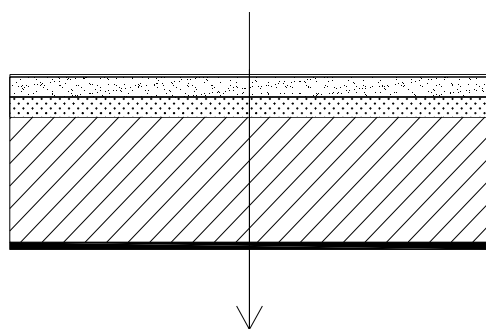


Strato	Descrizione	Spessore (m)
1	intonaco di malta cementizia	0,015
2	blocchi in laterizio forati	0,12
3	intonaco di malta cementizia	0,015

Figura 1 – Parete di separazione tra le aule.

### 3.3.3 Solaio

Il solaio oggetto di indagine è quello di separazione tra due aule perfettamente sovrapposte. Al fine di caratterizzare l'isolamento acustico del solaio e verificare il rispetto dei requisiti acustici passivi, su di esso sono state effettuate misure di isolamento acustico per via aerea e di isolamento da rumore di calpestio. E' stato così possibile determinare  $R'_w$ , l'indice del potere fonoisolante, e  $L'_{nw}$ , l'indice del livello di rumore di calpestio normalizzato. L'aula situata al terzo livello della scuola in entrambe le misure rappresenta l'ambiente ricevente, mentre quella del quarto livello è l'ambiente emittente. La struttura del solaio, dello spessore totale di 0,35 m, è mostrata in fig. 2.



Strato	Descrizione	Spessore (m)
1	piastrelle in ceramica	0,005
2	soletta in c.a.	0,040
3	malta cementizia magra di sottofondo	0,040
4	solaio con travetti varesi e laterizi	0,250
5	intonaco di calce e gesso	0,015

Figura 2 – Struttura del solaio di prova.

### 3.3.4 Risultati

In Tabella 1 sono mostrati i valori delle grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi, determinati secondo le modalità descritte nelle norme tecniche UNI EN ISO 140 in bande di terzo di ottava, nel range 100 – 5000 Hz. Sono anche riportati i valori degli indici a singolo numero, calcolati a seguito della traslazione delle curve di riferimento, in accordo con le norme UNI EN ISO 717- 1 e UNI EN ISO 717- 2.

Tabella 1 – Risultati delle misure

Frequenza (Hz)	Isolamento acustico di facciata normalizzato $D_{2m,nT}$ (dB)	Potere fonisolante tra aule $R'$ (dB)	Livello di calpestio normalizzato $L'_n$ (dB)	Potere fonisolante solaio $R'$ (dB)	Tempo di riverberazione aula $T_{60}$ (sec)
100	25,4	31,3	64,7	34,7	1,74
125	25,8	29,5	69,0	32,3	2,34
160	20,1	30,8	68,5	36,7	2,81
200	28,8	28,3	69,8	36,5	2,71
250	29,3	30,3	73,4	37,4	2,67
315	28,8	30,3	73,7	39,7	2,6
400	24,9	32,2	74,2	42,6	2,41
500	29,7	34,3	75,9	44,1	2,13
630	29,5	36,5	78,9	44,8	2,26
800	32,7	39,3	80,0	45,3	2,35
1000	36,5	41,8	79,8	47,0	2,35
1250	39,1	43,7	80,6	47,5	2,42
1600	40,3	45,3	80,9	47,4	2,35
2000	41,8	48,5	81,2	47,5	2,22
2500	41,9	50,0	80,8	48,5	2,14
3150	42,7	52,7	79,4	51,3	2,01
4000	41,6	55,8	64,7	54,1	1,86
5000	42,7	55,6	69,0	53,4	1,68
<b>Indice di valutazione</b>	<b><math>D_{2m,nT w} = 35</math></b>	<b><math>R'_w = 40</math></b>	<b><math>L'_{n,w} = 87</math></b>	<b><math>R'_w = 46</math></b>	<b>/</b>

#### 4. Valutazione teorica

Oltre che mediante campagne di misure in opera, è possibile effettuare una valutazione per via teorica dei requisiti acustici passivi degli edifici. Si sono presi in considerazione due software commerciali, Echo 4.0 [14] e Bastian 2.1 [15], in grado di stimare i medesimi indici misurati, facendo riferimento alla procedure descritte all'interno delle parti 1, 2, 3 della norma UNI EN ISO 12354. Al fine di lavorare con strutture che si avvicinassero il più possibile a quelle reali, descritte nei paragrafi 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3, si sono definiti nel database nuovi materiali e, a partire dalla loro massa stimata dopo un'attenta indagine bibliografica, si è calcolato il relativo potere fonoisolante, mediante l'impiego di formule disponibili in Letteratura [2, 3, 4, 5, 16]. In alcuni casi, invece, si sono inserite le prestazioni acustiche certificate per strutture analoghe a quelle presenti [17], reperite in specifici database. Notevoli difficoltà si sono incontrate nel calcolo dell'indice del livello di calpestio: nel caso di Echo, poiché non è stato possibile completare il calcolo in assenza di un pavimento galleggiante e si è dovuto procedere manualmente per la valutazione del termine correttivo dovuto alle trasmissioni laterali; nel caso di Bastian, a causa della scarsa corrispondenza tra i materiali presenti nel database e quelli reali, tipici di tecniche costruttive ormai superate.

I risultati dei calcoli sono riportati in Tabella 2.

## 5. Analisi e confronto dei risultati

Echo 4.0 e Bastian 2.1 permettono una valutazione dei requisiti acustici passivi degli edifici a partire dai materiali di cui essi sono costituiti. È necessario procedere ad un attento confronto dei risultati con dati sperimentali, al fine di stimare l'attendibilità degli stessi, soprattutto perché i due codici fanno riferimento al procedimento semplificato descritto nelle norme tecniche. Il confronto risulta di fondamentale importanza perché il largo impiego in campo acustico dei due software è finalizzato alla progettazione acustica di un edificio prima della sua realizzazione.

La tabella 2 mostra che per l'indice  $D_{nT,w}$  i software forniscono dati di output perfettamente rispondenti alla situazione in opera; la prestazione della facciata è infatti influenzata quasi esclusivamente dal potere fonoisolante dell'infisso, presente nel database dei software.

Un buon accordo si osserva anche nel caso dell'indice di valutazione del potere fonoisolante relativo al solaio e alla partizione verticale. Si sottolineano, però, le difficoltà incontrate nell'impiego del Bastian, per il quale è stato necessario inserire nuovi materiali nel database con le relative prestazioni acustiche, che devono essere reperite in Letteratura per materiali e soluzioni simili; l'Echo, invece, permette di stimare il potere fonoisolante nota la massa superficiale dell'elemento, impiegando relazioni empiriche disponibili in Letteratura o nella normativa tecnica di riferimento, che possono essere selezionate dall'utente in funzione della tipologia di struttura.

Tabella 2 – Confronto tra i risultati teorici, i valori misurati in opera e i limiti imposti dalla normativa

Indice	Sperimentale	Echo 4.0	Bastian 2.1	Valore limite	Rispetto
$D_{nT,w}$ (dB)	35	35,0	35,1	<b>48</b>	<b>NO</b>
$R'_w$ aule (dB)	40	39,7	41,9	<b>50</b>	<b>NO</b>
$R'_w$ solaio (dB)	46,0	46,1	47,0	<b>50</b>	<b>NO</b>
$L'_{n,w}$ (dB)	87,0	86,3	/	<b>58</b>	<b>NO</b>
$T_{60}$ (sec)	2,34	2,28	/	<b>1,2*</b>	<b>NO</b>

\* Valore stabilito dalla Circolare Ministeriale n. 3150 del 22 maggio 1967 [18]

## 6. Ipotesi di intervento

L'indagine sperimentale e teorica (tab.2) ha evidenziato che l'edificio scolastico non rispetta i limiti prescritti dal D.P.C.M. 5/12/1997; si è quindi proceduto alla formulazione di proposte di intervento, atte a fornire una possibile risposta al problema dell'isolamento della struttura.

### 6.1 Bonifica acustica della facciata

Per quanto riguarda l'edificio oggetto del presente studio, trattandosi di un vecchio fabbricato, in cui lo spessore delle pareti perimetrali risulta notevole, la migliore soluzione costruttiva per l'isolamento acustico consiste nella sostituzione dell'infisso esistente, in alluminio e vetro singolo, con una vetrata ad elevate prestazioni di isolamento acustico [5].

Si sono ipotizzate due differenti soluzioni, la cui efficacia è stata valutata mediante Echo 4.0; i risultati, riportati in tabella 3, mostrano che entrambe le soluzioni verificano i limiti del D.P.C.M. 5/12/1997, la seconda soluzione consente di ottenere una migliore

prestazione della facciata, presentando però elevati spessore e peso per unità di superficie.

Tabella 3 – Soluzioni per l'isolamento acustico della facciata

Descrizione intervento	Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> )	R <sub>w</sub> vetrata certificato	D <sub>nt,w</sub> (dB) post - operam
CLIMALIT CONTRASONOR C.44.3 <ul style="list-style-type: none"> <li>• vetro stratificato (6 + 4 mm) con PVB acustico da 0,38 mm</li> <li>• intercapedine gas pesante ( 15 mm)</li> <li>• vetro stratificato (6 + 4 mm) con PVB acustico da 0,38 mm</li> </ul>	47	44	48
VETRATA ISOLANTE PILKINGTON <ul style="list-style-type: none"> <li>• vetro laminato acustico con resine (16 mm)</li> <li>• intercapedine aria (12 mm)</li> <li>• vetro laminato acustico (16 mm)</li> </ul>	80	46	50

### 6.2 Isolamento delle partizioni verticali tra aule

Al fine di aumentare il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R'<sub>w</sub> della partizione in esame, si è ipotizzato di intervenire sulla parete verticale di divisione tra le due aule mediante l'applicazione di una controparete in cartongesso su telaio metallico, le cui caratteristiche sono mostrate in fig. 3.

Le prestazioni d'isolamento acustico di tale sistema certificate [19], con riferimento ad una parete in laterizio forato 12x25x25 su cui è applicata la controparete leggera, presentano un valore del potere fonoisolante pari a 61,1 dB. Sostituendo nel software di calcolo previsionale ECHO 4.0 l'elemento che costituiva la parete divisoria prima dell'intervento acustico con questa struttura si ottiene un valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R'<sub>w</sub> pari a 50,2 dB, che consente il rispetto dei limiti di legge.

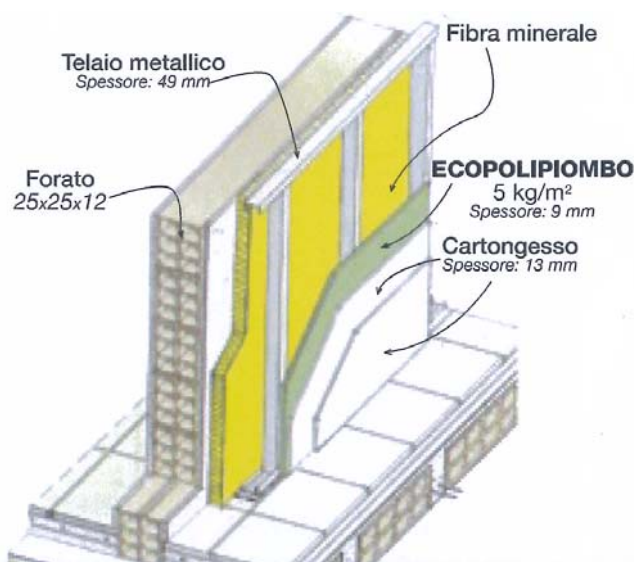


Figura 2 – Schema strutturale dell'intervento acustico [19]

### 6.3 Isolamento del solaio

Noto l'indice del potere fonoisolante,  $R'_w$ , pari a 46 dB, e l'indice del livello di rumore di calpestio normalizzato,  $L'_{nw}$ , pari a 87 dB, ottenuti dalle misure in sito, si è proceduto ad una progettazione degli interventi di massima per il miglioramento delle prestazioni acustiche del solaio oggetto di indagine. Si può notare come le soluzioni atte al miglioramento dell'isolamento acustico non possano essere trattate separatamente da quelle del rumore di impatto, in quanto interdipendenti. Si sono presi in esame tre tipi di interventi, descritti in tab. 4, che prevedono l'installazione di un controsoffitto in cartongesso, spessore 19 mm e intercapedine d'aria di 10 cm, unitamente all'impiego di un rivestimento resiliente sopra la pavimentazione esistente. La verifica delle prestazioni post – operam è stata valutata mediante il software previsionale, impiegando dati reperiti in Letteratura [17]. Per le proprietà di abbattimento del rumore da calpestio dei rivestimenti resilienti si è fatto riferimento a prove effettuate ai sensi della norma UNI EN 140 – 8 in un altro lavoro [20].

Tutte le soluzioni scelte verificano i valori limite prescritti dal D.P.C.M. 5/12/1997: la scelta della soluzione è stata fatta sulla base della funzionalità e del costo. Trattandosi di un edificio scolastico, la soluzione con la moquette si deve escludere per motivi igienici. Sulla base dei costi dei sottofondi si evince che la soluzione più conveniente è quella che comprende una pavimentazione resiliente composta da uno strato in PVC e sottofondo in pavigran.

Tabella 3 – Soluzioni per l'isolamento acustico della facciata

Descrizione intervento	$AL_w$ stimato dB	$L'_{nw}$ post – operam (dB)	$AR_w$ sti- mato (dB)	$R'_w$ post – operam (dB)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• controsoffitto</li> <li>• moquette più sottomoquette (spessore 1, 6 cm)</li> </ul>	35	52	12	57
<ul style="list-style-type: none"> <li>• controsoffitto</li> <li>• PVC più sughero (spessore 2, 5 cm)</li> </ul>	25 + 10	52	12	57
<ul style="list-style-type: none"> <li>• controsoffitto</li> <li>• PVC più sottofondo in gomma riciclata PAVIGRAN (spessore 4, 5 cm)</li> </ul>	22 + 10	55	12	57

## 7. Conclusioni

Il presente lavoro ha riguardato la verifica dei requisiti acustici passivi di un edificio adibito ad attività scolastiche, con riferimento all'isolamento acustico dai rumori aerei e dal rumore di impatto. L'edificio è stato ristrutturato nel 2002, senza però alcun intervento specifico per l'acustica.

La campagna di misure in opera, eseguita nel rispetto delle procedure descritte nelle norme UNI EN ISO 140, ha mostrato per tutti gli indici introdotti dal D.P.C.M. 5/12/1997 il non rispetto dei limiti vigenti. Alla valutazione sperimentale si è affiancato uno studio teorico, grazie all'impiego di due software commerciali (Echo 4.0 e Bastian 2.1). Si è proceduto al confronto dei risultati ottenuti in opera con quelli teorici ricavati con l'analisi previsionale, al fine di verificare la validità e l'attendibilità dei software. Dal confronto è emerso che i risultati ottenuti dalle misure in opera e quelli ricavati dalla modellazione dei due software sono compatibili per l'isolamento della facciata e per quello relativo alla parete di separazione tra le aule, poiché non vi sono differenze significative. Per la valutazione del livello di rumore da calpestio normalizzato del solaio non

è stato invece possibile impiegare Echo e Bastian. L'impiego dei codici di calcolo ha messo tuttavia in evidenza alcune problematiche, quali la necessità di creare nuovi materiali per ovviare alla mancanza, all'interno di entrambi i database, di elementi con caratteristiche simili a quelli reali.

L'ultima parte del lavoro ha riguardato la proposta di soluzioni in grado di migliorare l'isolamento acustico dell'edificio, al fine di ottenere valori degli indici di valutazione dei requisiti acustici passivi compatibili i limiti imposti dalla normativa. In particolare, per la parete di partizione tra aule si è ipotizzato di intervenire con una controparete in cartongesso su telaio metallico, che ha permesso di ottenere un valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante,  $R'_w$ , pari a 50,2 dB. Per l'isolamento acustico di facciata, l'intervento più adeguato è sembrato la sostituzione dell'infixo esistente, costituito da un vetro singolo, con un vetro ad alto potere fonoisolante, quale il vetro stratificato. Infine, si è proceduto alla valutazione degli interventi da effettuare per aumentare l'isolamento acustico dai rumori aerei e impattivi del solaio. Sono state ipotizzate quattro soluzioni: la soluzione più opportuna per funzionalità e costi e che, nello stesso tempo, permette di rispettare i valori limite degli indici è quella costituita da un controsoffitto in cartongesso e un pavimento resiliente in PVC, che poggia sopra uno strato di gomma riciclata. La soluzione consente anche di ridurre il tempo di riverberazione nell'aula esaminata, fino a farlo rientrare entro i limiti stabiliti dalla Circolare Ministeriale n. 3150 del 22 maggio 1967.

## Bibliografia

- [1] DPCM del 5 dicembre 1997, "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", Gazzetta Ufficiale n° 297 del 22 dicembre 1997.
- [2] UNI EN ISO 12354-1, "Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti", Commissione "Acustica" UNI, Novembre 2002.
- [3] UNI EN ISO 12354-2, "Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – isolamento acustico al calpestio tra ambienti", Commissione "Acustica" UNI, Novembre 2002.
- [4] UNI EN ISO 12354-3, "Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea", Commissione "Acustica" UNI, Novembre 2002.
- [5] L. Busa, G. Cella, S. Secchi: "La protezione acustica degli edifici – soluzioni tecniche e informazioni progettuali per il rispetto del D.P.C.M. 5/12/97", Alinea Editrice.
- [6] R. Gigante: "Rumore ed isolamento acustico – Manuale di progettazione", Dario Flaccovio Editore, Palermo 1996.
- [7] L. Maffei, A. Peretti, R. Pompoli: "Acustica e ambienti scolastici", GAE Editore.
- [8] UNI EN ISO 140-5, "Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via



aerea degli elementi di facciata e delle facciate”, Commissione “Acustica” UNI, Ottobre 2000.

- [9] UNI EN ISO 140-7, “Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni in opera dell’isolamento dal rumore da calpestio di solai”, Commissione “Acustica” UNI, Dicembre 2000.
- [10] UNI EN ISO 140-4, “Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni in opera dell’isolamento acustico per via aerea”, Comitato Tecnico ISO/TC 43, Comitato Tecnico CEN/TC 126, Milano Agosto 2000.
- [11] UNI EN ISO 354, “Misura dell’assorbimento acustico in camera riverberante”, Commissione “Acustica” UNI, Dicembre 2003.
- [12] UNI EN ISO 717-1, “Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici - Isolamento acustico per via aerea”, Commissione “Acustica” UNI, Milano Dicembre 1997.
- [13] UNI EN ISO 717-2, “Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici - Isolamento del rumore di calpestio”, Commissione “Acustica”UNI, Milano Dicembre 1997.
- [14] TEP Srl, “Manuale d’uso ECHO 4.0”.
- [15] User Manual for Bastian Version 2.1, Saint Gobain Isover G+H AG, 2003.
- [16] UNI/TR 11175, “Guida alle norme serie UNIEN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli Edifici – Applicazioni alla tipologia costruttiva nazionale”.
- [17] IEN - Banca dati IEN dell’Istituto Nazionale Elettrotecnico Galilei Ferrarsi.
- [18] Circolare Ministeriale n. 3150 del 22 maggio 1967, “Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici”.
- [19] Index - Construction Systems and Products, schede tecniche dei prodotti.
- [20] C. Buratti, E. Moretti, “Impact noise reduction: laboratory and field measurements of different materials performances”, Euronoise 2006 - Tampere - Finland , 30 May - 1 June 2006.