

## **GLI STRUMENTI A DISPOSIZIONE DEL PROGETTISTA E L'EVOLUZIONE DELLE NORME SULLA PREVISIONE DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE DEGLI EDIFICI**

Fabio Scamoni (1), Claudio Martorana (2)

1) ITC CNR, Milano

2) Studio Tecnico Associato Becherini & Martorana, Vinci (FI)

### **1. Introduzione**

La definizione di una procedura di classificazione acustica degli edifici basata sulla verifica in campo delle prestazioni di isolamento acustico e di livelli di rumore immesso ha creato i presupposti per un generale miglioramento della qualità acustica degli ambienti abitati. Tuttavia, se per qualificare il costruito è sufficiente adottare le prescrizioni delle norme tecniche di misurazione e valutazione delle grandezze acustiche pertinenti [1], per quanto riguarda il nuovo e le ristrutturazioni si avverte ancora una carenza di strumenti completi e affidabili a disposizione di tutto il comparto edile e da utilizzare in tutte le fasi che concorrono al processo realizzativo dell'opera.

In particolare le fasi progettuali implicano:

- lo studio di previsione (tramite strumenti di calcolo) dei requisiti acustici passivi allo scopo di stimare al meglio la classe acustica a cui si mira;
- la conoscenza (tramite descrizioni) delle soluzioni costruttive ideate allo scopo di migliorare le prestazioni acustiche;
- la disponibilità di un repertorio di dati acustici relativo a materiali e componenti edilizi di corrente impiego che sia sufficientemente attendibile e rappresentativo;
- la disponibilità di linee guida alla selezione dei materiali, all'esecuzione dei lavori e alla corretta posa in opera;
- la definizione strumenti di verifica e collaudo del processo previsionale.

Al momento la normativa internazionale mette a disposizione un metodo armonizzato a livello europeo descritto nella serie di norme EN 12354 [2], mentre quella italiana prevede due linee guida, una dedicata all'applicazione a livello nazionale di tali norme europee (UNI/TR 11175 [3]) e una, specifica per i serramenti, per la selezione, la posa e il collaudo (UNI 11296 [4]).

### **2. Isolamento tra ambienti interni**

La previsione dell'isolamento acustico tra ambienti interni dà come risultato il valore di potere fonoisolante apparente,  $R'_w$ , da assegnare alla partizione di separazione fra

due ambienti; tale grandezza coincide col descrittore scelto per la classificazione acustica in Italia e nella maggior parte delle nazioni europee.

I dati di ingresso necessari allo svolgimento dei calcoli sono:

- $R_w$  della partizione e di tutte le pareti laterali ad essa congiunte;
- $\Delta R_w$  degli strati addizionali applicati a pareti e solai;
- $R_w$  delle trasmissioni laterali o in alternativa la riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  per ogni giunto;
- masse superficiali di pareti e solai;
- volumi e dimensioni degli ambienti di emissione e di ricezione e lunghezza dei giunti.

Per tutte le grandezze acustiche sono disponibili metodi di prova di laboratorio, anche se rimangono alcune carenze come la valutazione del  $\Delta R$  dei controsoffitti e in generale c'è ancora un certo scostamento tra le prestazioni ottenute in condizioni di laboratorio e quelle riscontrate in campo.

Gli aspetti critici principali imputabili al metodo di calcolo possono essere di seguito riassunti:

- il modello non considera forti disomogeneità delle strutture, discontinuità o mancanza di tenuta dei giunti (fessure, attraversamenti impiantistici, ponti acustici, pilastri); in effetti tali aspetti sono difficilmente valutabili la loro in modo analitico;
- carenze sulla trattazione dell'influenza di alcuni strati addizionali dovuta anche alla mancanza di adeguati metodi di valutazione in laboratorio degli strati resistenti verticali;
- le equazioni del modello sono ancora carenti nel descrivere il comportamento di strutture leggere.

### 3. Isolamento di facciata

Per l'isolamento di facciata il risultato della previsione è ancora  $R'_w$ , dal quale possono essere ricavati praticamente tutti i descrittori utilizzati in Italia e Europa compresi i livelli interni.

I dati di ingresso sono:

- $R_w$  degli elementi costituenti la facciata;
- $D_{ne,w}$  dei piccoli elementi inseriti in facciata;
- volume dell'ambiente ricevente;
- area degli elementi costituenti la facciata;
- area totale della facciata;

Per tutte le grandezze acustiche sono disponibili metodi di prova di laboratorio; in questo caso le carenze riguardano soprattutto la corretta valutazione dei piccoli elementi in rapporto alle reali prestazioni in campo e la valutazione di strutture che richiedono campioni di dimensioni molto grandi ( $\gg 10 \text{ m}^2$  es.: facciate continue) o allestimenti ad hoc (non in verticale es.: tetti a falda [5]).

Gli aspetti critici principali possono essere di seguito riassunti:

- il modello considera le trasmissioni laterali trascurabili o al più vi assegna una correzione costante; è importante tenerne conto se sono richiesti requisiti elevati;
- facciate continue o tetti rappresentano situazioni critiche;
- la forma della facciata, pur essendo trattata dal modello, può rappresentare un elemento non sempre prevedibile, anche in relazione alla direzione della sorgente sonora (es.: rumore da aeromobile in volo).

#### 4. Rumore di calpestio

Per il calpestio il modello dà come risultato il livello di pressione sonora di calpestio normalizzato,  $L'_{n,w}$ , che corrisponde (a meno di una normalizzazione rispetto al tempo di riverberazione) al descrittore generalmente utilizzato per la classificazione.

I dati di ingresso sono:

- $L_n$  del solaio;
- $\Delta L$  degli strati addizionali del solaio; o in alternativa:
  - massa per unità di area del massetto galleggiante;
  - $s'$  dello strato resiliente.
- massa per unità di area degli elementi strutturali.

Per tutte queste grandezze sono disponibili metodi di prova di laboratorio; in particolare per i  $\Delta L$  sono previste valutazioni distinte per diversi solai di riferimento [6]. L'incertezza del metodo di valutazione della  $s'$  [7] di alcuni materiali è ancora oggetto di studio.

Lo scostamento tra le prestazioni ottenute in condizioni di laboratorio e quelle riscontrate in campo riguarda soprattutto le prestazioni dei solai nudi di tipologia tipicamente italiana.

Aspetti critici:

- il modello è applicabile unicamente ad ambienti sovrapposti ed ai pavimenti omogenei di uso comune; non dà indicazioni attendibili per strutture come massetti continui che trovano larga applicazione nelle destinazioni ad uso collettivo [8].
- il modello non tiene conto del tipo di rivestimento del pavimento (ceramica, marmo o parquet);
- le equazioni del modello sono carenti nel descrivere il comportamento di strutture leggere.

#### 5. Rumore immesso da impianti

Questo è l'aspetto in assoluto più complesso e ha dato origine alla parte più complicata della EN 12354 (parte 5) [2]. Poche sono ancora le campagne di ricerca sulle problematiche da risolvere e scarsa l'applicazione del modello. Le difficoltà e le criticità sono legate sia alla molteplicità delle tipologie di impianto tecnologico sia alla scarsità dei dati di ingresso relativi alle caratteristiche acustiche dei vari elementi di impianto coinvolti.

#### 6. Il problema dell'incertezza

Lo scarto tipo dichiarato dalla norma EN per il modello semplificato è di circa 2 dB per l'isolamento, di 2 dB per la trasmissione verticale dei rumori di calpestio, di circa 1,5 dB per l'isolamento di facciata  $D_{l_s,2m,nT,w} + C_{tr}$ .

L'accuratezza acustica delle previsioni del modello dipende come ormai noto dall'accuratezza acustica dei dati di ingresso, dalla corrispondenza della situazione reale col modello, dalla conoscenza certa del tipo di elementi, delle giunzioni e della geometria della situazione.

La stima dell'accuratezza Poiché ci si basa sul confronto tra i risultati ottenuti dal modello e i risultati delle misurazioni ottenute in campo, su tale confronto pesano anche tutti i fattori legati alle problematiche di misura; in particolare

- la scelta del descrittore e dei relativi termini di correzione spettrale;
- le condizioni di prova: la geometria dei locali, il riverbero, la forma della facciata, la scelta del campo di frequenza, la natura della sorgente (rumore da traffico,

bianco o rosa) e in alcune situazioni, come nel caso degli impianti, l'impossibilità di condurre la misura.

L'altro fattore determinante è dato dalla corretta posa in opera o meglio dalla corretta messa in pratica delle scelte progettuali regolazione degli infissi ecc.

La stima dell'accuratezza deriverà perciò da una combinazione delle seguenti incertezze:

- a) incertezza del modello (limiti dell'algoritmo di calcolo e condizioni al contorno);
- b) incertezza del software (corretta implementazione del modello);
- c) incertezza dei dati di ingresso (incertezza delle misure di laboratorio, rappresentatività del campione);
- d) incertezza dell'esecuzione (fedeltà al progetto esecutivo, corretta posa in opera);
- e) incertezza sul collaudo (incertezza di misura, incertezza di campionamento).

Per i singoli aspetti si possono fare le seguenti considerazioni:

- a) si ricava dal confronto fra diversi algoritmi di calcolo;
- b) occorrono campagne di RRT nazionali e internazionali su diversi prodotti in commercio;
- c) i risultati di laboratorio molto raramente dichiarano l'errore di misura; il campione di laboratorio è spesso non corrispondono al campione in campo. Bisogna stabilire scarti e livelli di fiducia;
- d) occorrono delle linee guida sulla stesura dei capitolati e sulla selezione e installazione di elementi edili (come si è fatto con la norma UNI 11296 [4]);
- e) vanno stabilite delle procedure specificando scarti e livelli di fiducia come si è fatto recentemente con la norma UNI sulla classificazione [9].

## **7. Dalla verifica progettuale alle misure in campo**

Gli strumenti a disposizione del progettista sono riassumibili nelle norme della serie UNI EN 12354 e nel UNI TR 11175, oltre che in una consistente normativa tecnica di settore sia nazionale che internazionale, che affronta specifiche problematiche che spesso non sembrano interessare la pura progettazione, ma che altresì contengano informazioni affinché quanto previsto in linea teorica sia poi riscontrabile in campo. A titolo esemplificativo si citano le norme che riguardano la determinazione della rigidità dinamica dei materiali [7], la comprimibilità degli isolanti (UNI EN 12431) oppure normative che possono sembrare del tutto estranee alla problematica come quelle relative alla determinazione della massa volumica apparente di un blocco in laterizio (UNI EN 717-1).

Ma lo strumento principe che permette ha un progettista di rendere credibile ed affidabile un progetto è l'esperienza.

Difatti, i risultati che emergano applicando ad un progetto il metodo di calcolo su cui si basa la norma UNI EN 12354, come per ogni altro modello matematico, dipendono strettamente dalle condizioni al contorno ed in particolare dagli input forniti. Per cui, il primo lavoro che dovrà fare il progettista sarà quello di adattare al meglio lo schema del progetto all'algoritmo e scremare i dati di partenza, cercando di fornire valori oggettivamente credibili.

Detto ciò sarà necessario valutare attentamente:

- la massa dei materiali costituenti le strutture;
- lo spessore dei singoli componenti le strutture;

- le caratteristiche dei materiali isolanti, sia strettamente legate alla prestazione richiesta che a peculiarità intrinseche che possono influenzarla indirettamente;
- le prestazioni intrinseche delle strutture, caratterizzabili dal loro tempo di riverberazione strutturale e dal fattore di radiazione delle onde sonore;
- dalla tipologia dei giunti tra le strutture interessate;
- dalla distribuzione impiantistica;
- dalle caratteristiche dei singoli componenti degli impianti;
- dal sistema di interfaccia tra gli impianti e le strutture.

In ogni trattato si può leggere che, in acustica edilizia, i risultati rilevabili sono fortemente legati alla corretta posa in opera dei materiali ed in particolare degli isolanti. Spesso però non teniamo conto che, in fase progettuale, fissiamo delle condizioni in materia di peso, rigidità ecc., dei singoli componenti che poi, durante la posa, possono subire delle variazioni, oppure possiamo considerare delle connessioni tra le varie strutture che poi non saranno o non potranno essere realizzate.

Ovviamente queste differenze possono portare a valori di collaudo differenti da quanto previsto analiticamente, differenze che poi saranno molto probabilmente imputate alle imprese come errori di posa, ma che invece spesso sono da imputare al progettista.

A titolo di esempio, durante la valutazione delle trasmissioni per fiancheggiamento frequentemente emerge la necessità di desolidarizzare il collegamento tra due strutture, normalmente con l'inserimento di un materiale elastico; questo è fattibile in edifici realizzati con struttura portante in C.A., ma è impensabile fare la stessa tipologia di intervento su edifici realizzati in muratura portante. Lo stesso concetto è applicabile alla caratterizzazione dei materiali: in fase progettuale può anche essere corretto utilizzare nei calcoli un massetto alleggerito a base EPS da  $800 \text{ kg/m}^3$  perché l'algoritmo verifica il calcolo con tale materiale, ma in opera sarà irrealizzabile in quanto questo componente viene normalmente gettato con una densità di circa  $400 \text{ kg/m}^3$ .

Le estremizzazioni sopra riportate servano per analizzare, in modo obiettivo, i risultati di un confronto che è stato effettuato tra le prestazioni calcolate e quelle riscontrate in opera per delle strutture prese a campione, su una totalità di circa 60 edifici analizzati negli ultimi anni, di varie tipologie: multi piano, a schiera, con struttura portante in C.A., con struttura portante in muratura, ecc..

In particolare si è provveduto ad analizzare:

- l'indice del potere fonoisolante apparente di pareti verticali;
- l'indice del livello di rumore da calpestio;
- l'indice di isolamento di facciata.

Non sono stati presi in considerazione gli indici caratterizzanti la rumorosità degli impianti, in quanto il numero dei collaudi effettuati purtroppo ad oggi è molto limitato poiché, in fase di verifica, spesso non sussistono le condizioni di funzionamento degli stessi che ne permettano la collaudabilità.

I risultati, raggruppati per tipologia di indice, sono di seguito riassunti sottoforma di grafico dove sono indicati il valore calcolato XW, calcolo, il valore misurato XW, collaudo e lo scarto (XW, calcolo - XW, collaudo) tra questi, valutato come differenza algebrica.

Sotto forma di percentuali sono stati riportati i risultati dei collaudi che si sono discostati dal valore di progetto; al fine di avere una percezione reale sulla potenzialità del metodo di calcolo, si è provveduto anche a filtrare i valori discordanti, fissando un range di  $\pm 2 \text{ dB}$ , all'interno del quale viene assegnata la rispondenza del valore misurato a quello stimato. La scelta del valore di 2 dB è giustificata dal fatto che questo è normal-

mente associato, anche all'interno delle stesse norme tecniche di progetto, all'incertezza dell'algoritmo derivante essenzialmente dalle semplificazioni da attuare al modello reale per adattarlo a quello di calcolo.

## 8. Analisi dei risultati

La qualità degli edifici analizzata è da inserire nella fascia media di mercato, con la presenza di alcuni di essi appartenenti all'edilizia sovvenzionata; qualitativamente anche la manodopera è risultata attestata su valori medi, con la presenza però in alcuni casi di fasi lavorative date in subappalto ed eseguito con scarsa attenzione dal punto di vista dell'isolamento acustico.

## 9. Potere fonoisolante apparente di pareti

Il campione delle pareti analizzato è da considerarsi eterogeneo, data la presenza murature a cassetta, murature monoblocco, assenza di impianti, limitata presenza di impianti elettrici, elevata presenza di impianti elettrici ed idraulici, presenza di cavedi tecnici, ecc.

I risultati delle verifiche analitiche e delle misure in situ sono riportati nel grafico di Figura 1.

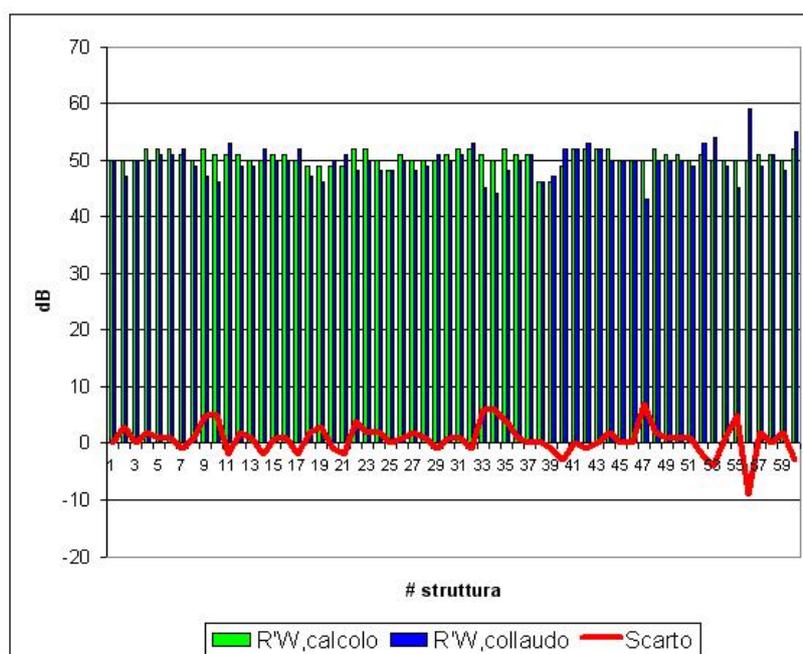


Figura 1 – Confronto dell'indice del potere fonoisolante apparente calcolato e misurato

Dai dati emerge che lo scarto medio è compreso tra + 2.4 e -2.3 dB, con dei picchi che raggiungano una sovrastima di 9 dB ed una sottostima di 7 dB.

In termini percentuali, nel 58% delle strutture si è avuta una sovrastima del valore previsto rispetto a quanto misurato, nel 25 % delle strutture si è avuta una sottostima, mentre una coincidenza dei valori si è avuta per il 17 % delle strutture analizzate (vedi Figura 2).

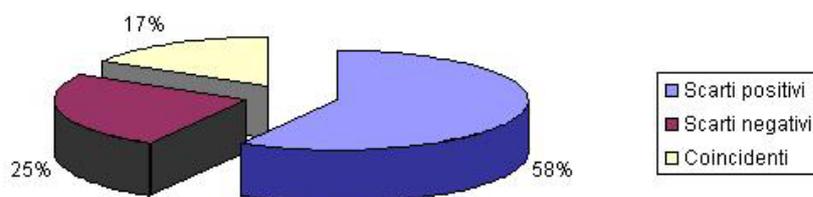


Figura 2 – Distribuzione degli scarti per l'indice del potere fonoisolante apparente

Se consideriamo come “coincidenti” le strutture in cui lo scarto tra valore di calcolo e valore di collaudo rientra nel range di  $\pm 2$  dB, allora la percentuale di queste passa dal 17 % a circa il 77 %.

Per il 23 % delle strutture, che non rientrano nel range di affidabilità, sono state oggettivamente individuate le seguenti problematiche:

- blocchi posati in opera con massa diversa da quella prevista analiticamente;
- forte influenza di percorsi secondari di trasmissione del rumore (principalmente attraverso i portoncini di ingresso), la presenza di impianti, la carenza di isolamento degli infissi o la mancanza della loro regolazione;
- modifica del lay out distributivo interno degli ambienti con variazione delle modalità di trasmissione per fiancheggiamento rispetto a quanto analizzato analiticamente.

## 10. Livello di rumore da calpestio

Il campione dei solai analizzato è da considerarsi omogeneo, generalmente realizzato in laterocemento con spessore della pignatta variabile tra 160 e 220 mm, con la presenza di un massetto alleggerito per il passaggio degli impianti, di un isolante anticalepestio e di un massetto di allettamento; per quanto riguarda la pavimentazione prevalentemente questa è del tipo ceramico.

I risultati delle verifiche analitiche e delle misure in situ sono riportati in Figura 3.

Lo scarto medio è compreso tra + 3.8 e -5.3 dB, con dei picchi che raggiungono una sovrastima di 16 dB ed una sottostima di 10 dB.

In termini percentuali, nel 69 % delle strutture si è avuta una sovrastima del valore previsto rispetto a quanto misurato, nel il 27 % delle strutture si è avuta una sotto stima, mentre una coincidenza dei valori si è avuta appena per il 4 % delle strutture analizzate (vedi Figura 4).

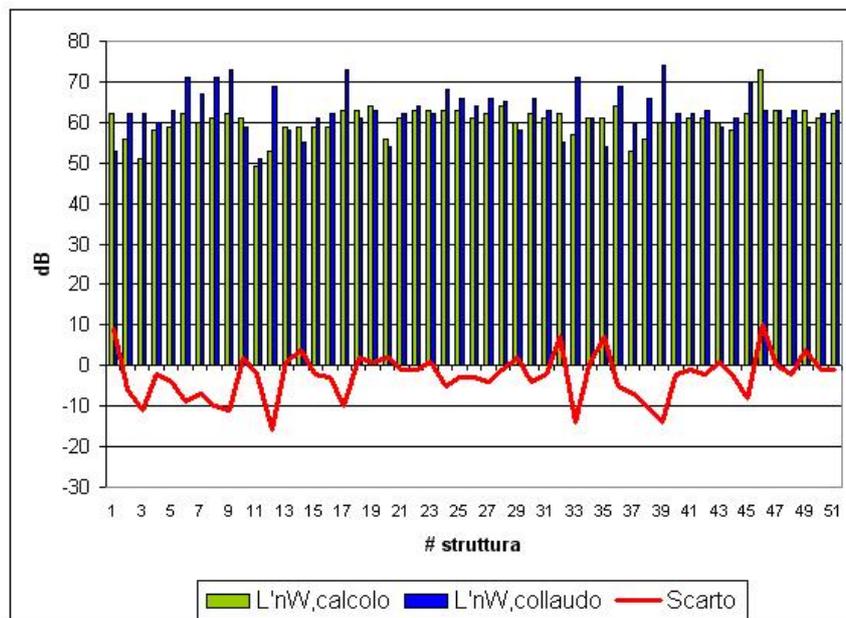


Figura 3 – Confronto dell'indice del livello di rumore da calpestio calcolato e misurato

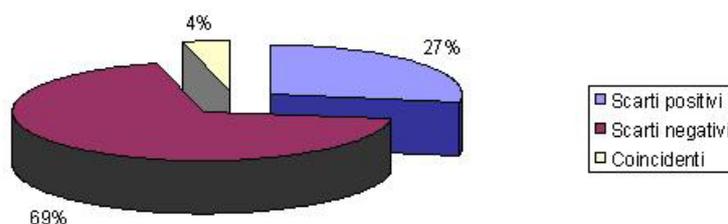


Figura 4 – Distribuzione degli scarti per l'indice del livello di rumore da calpestio

Se consideriamo come “coincidenti” le strutture in cui lo scarto tra valore di calcolo e valore di collaudo rientra nel range di  $\pm 2$  dB, allora la percentuale di queste passa dal 4 % a circa il 45 %.

Per il 55 % delle strutture, che non rientrano nel range di affidabilità, sono state oggettivamente individuate le seguenti problematiche:

- massetti gettati in opera con massa diversa da quella prevista analiticamente
- massetti di allettamento meccanicamente più rigidi rispetto a quello tradizionalmente realizzato in sabbia e cemento
- forte influenza di percorsi secondari di trasmissione del rumore e principalmente attraverso i portoncini di ingresso, colonne di scarico, la carenza di isolamento degli infissi o la mancanza di regolazione di questi, cappotti esterni in EPS
- modifica del lay out distributivo interno degli ambienti con variazione delle modalità di trasmissione per fiancheggiamento
- errori di posa della pavimentazione, del battiscopa, delle piastrelle e delle soglie delle porte
- elevata presenza di impianti all'interno della struttura.

## 11. Isolamento di facciata

Il campione delle facciate analizzato è da considerarsi eterogeneo data la presenza di murature a cassetta, murature monoblocco, presenza di persiane, presenza di avvolgibili, cassonetti a scomparsa, cassonetti a vista, presenza di cavedi tecnici, ecc.

I risultati delle verifiche analitiche e delle misure in situ sono riportati in Figura 5.

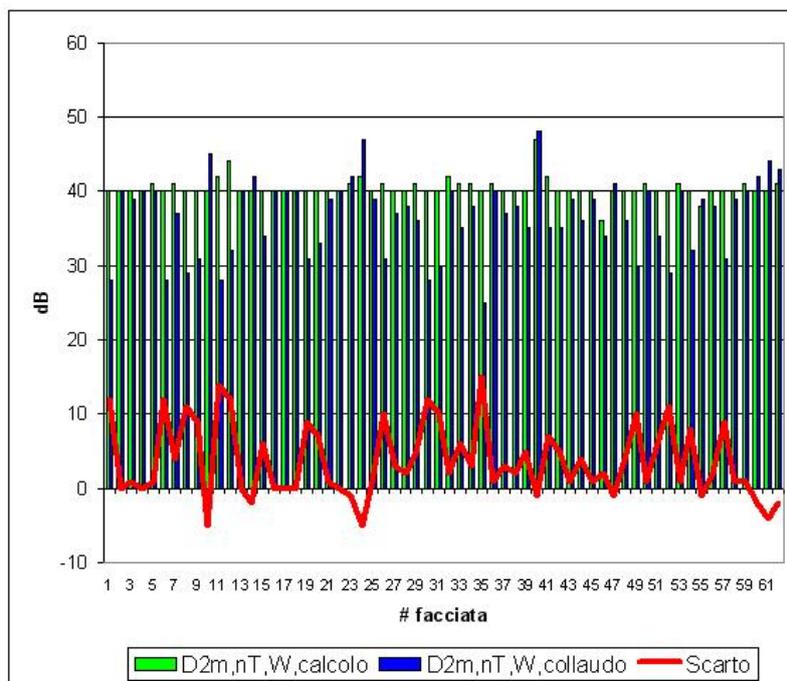


Figura 5 – Confronto dell'indice dell'isolamento di facciata calcolato e misurato

Lo scarto medio è compreso tra + 5.6 e -2.4 dB, con dei picchi che raggiungono una sovrastima di 15 dB ed una sottostima di 5 dB.

In termini percentuali, nel 73% delle strutture si è avuta una sovrastima del valore previsto rispetto a quanto misurato, nel 16 % delle strutture si è avuta una sottostima, mentre una coincidenza dei valori si è avuta per il 11 % delle strutture analizzate (vedi Figura 6).

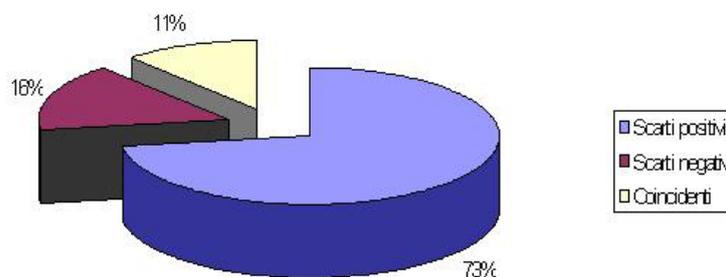


Figura 6 – Distribuzione degli scarti per l'indice dell'isolamento di facciata

Se consideriamo come “coincidenti” le facciate in cui lo scarto tra valore di calcolo e valore di collaudo rientra nel range di  $\pm 2$  dB, allora la percentuale di queste passa dal 11 % a circa il 48 %.

Per il 52 % delle facciate, che non rientrano nel range di affidabilità, sono state oggettivamente individuate le seguenti problematiche:

- blocchi posati in opera con massa diversa da quella prevista analiticamente;
- forte influenza dei piccoli elementi, con sostanziali differenze tra quanto riscontrato in opera e quanto espresso dalle prove di laboratorio atte a caratterizzarli;
- errata regolazione degli infissi;
- carenza di attenzione nella posa in opera degli infissi;
- problematiche di interfaccia tra infissi e muratura in presenza di cappotti esterni.

## 12. Considerazioni sui confronti

A conclusione di questa prima analisi, in Figura 7 sono riepilogati gli scarti medi rilevati per i tre indici mentre in Figura 8 sono riassunte le percentuali delle strutture i cui risultati in opera possono essere considerati in linea con quanto previsto applicando l'algoritmo di calcolo riportato nelle norme della serie UNI EN 12354.

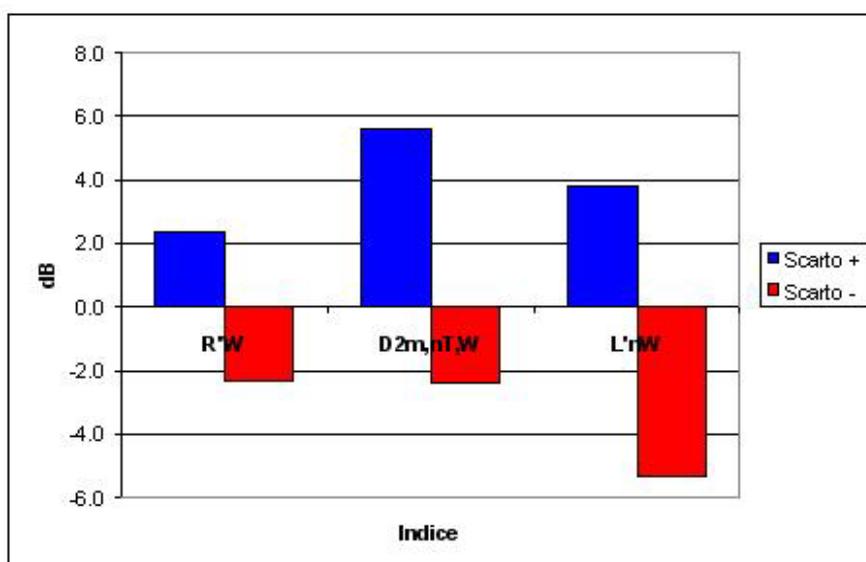


Figura 7 – Scarti medi tra il valore calcolato e misurato degli indici

Come è facilmente deducibile dalle figure 7 e 8, l'indice che risulta avere un grado di coerenza maggiore tra valori stimati e valori misurati in opera, è quello del potere fonoisolante apparente; ciò essenzialmente è dovuto al fatto che la tipologia di strutture caratterizzata dal tale indice generalmente presenta una superficie omogenea e gli errori di posa, tralasciando quelli grossolani, ne influenzano limitatamente le prestazioni.

Discorso diverso invece richiedono l'isolamento di facciata e il livello di rumore da calpestio: il primo caratterizza superfici disomogenee dove è determinante conoscere la reale prestazione dei singoli componenti e l'interazione tra loro, mentre il secondo caratterizza strutture dove è fondamentale la cura dei particolari di posa, in quanto la trasmissione del rumore avviene essenzialmente per via strutturale.

Quanto sopra, oltre che ad essere evidenziato dall'elevato valore degli scarti medi e dalla bassa percentuale di risultati coerenti per le due tipologie di indice, può essere chiarito analizzando i risultati di calcolo e quelli di misura di due facciate e di un solaio che sono stati oggetto di risanamento acustico, a seguito del riscontro di risultati negativi durante il collaudo tecnico amministrativo.

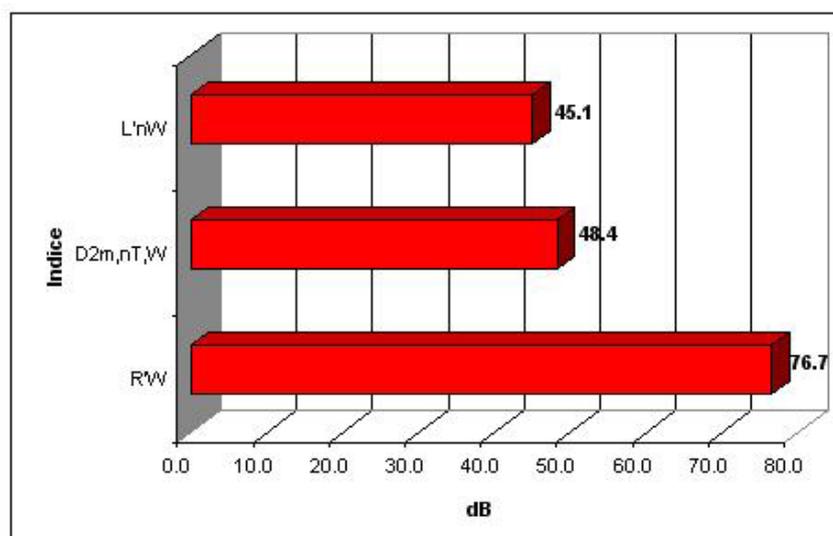


Figura 8 – Strutture coerenti

Nella figura 9 sono riportati i valori di calcolo e collaudo per due facciate realizzate con una muratura a cassetta e portefinestre in legno, con cassonetto porta avvolgibile a vista posto all'interno all'ambiente.

Gli interventi di risanamento eseguiti sono:

- rimozione e rifacimento della schiumatura in poliuretano dell'interfaccia tra telaio e controtelaio, in quanto era stata realizzata in modo disomogeneo;
- sigillatura dell'interfaccia tra telaio e muratura con silicone;
- sostituzione del polietilene reticolato all'interno del cassonetto con poliuretano espanso flessibile;
- installazione di guarnizione di tenuta allo sportello di ispezione del cassonetto;
- siliconatura dell'interfaccia tra cassonetto e muratura e tra questo con il telaio dell'infisso;
- regolazione meccanica dell'infisso.

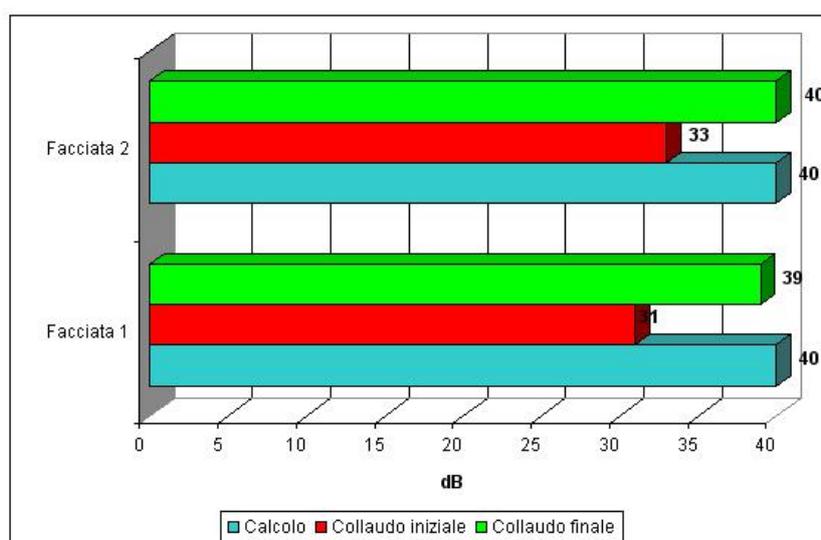


Figura 9 – Risultati facciate soggette a risanamento

Dal grafico di Figura 9 emerge chiaramente che a seguito degli interventi di risanamento, lo scarto tra il valore calcolato e quello misurato, risulta compreso nel range di tolleranza di 2 dB.

Nella Figura 10 sono invece riportati i valori di calcolo e collaudo per un solaio in laterocemento con sovrastante pavimento galleggiante e finitura in gress porcellanato.

Gli interventi di risanamento sono:

- rimozione del battiscopa ceramico, in quanto posato direttamente a contatto con le piastrelle;
- ripulitura del giunto tra piastrelle e pareti dalla malta infiltrata, in quanto l'isolante era stato tagliato a filo massetto e non a filo pavimento;
- siliconatura del giunto tra pavimentazione e pareti;
- installazione di un battiscopa in legno.

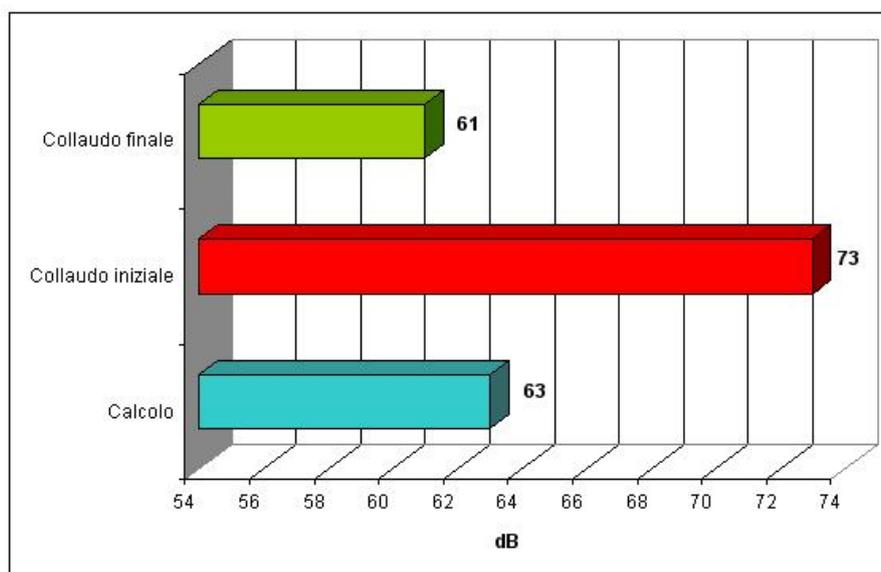


Figura 10 – Risultati solaio soggetto a risanamento

Dal grafico di Figura 10 emerge chiaramente che, a seguito degli interventi di risanamento, lo scarto tra il valore calcolato e quello misurato risulta compreso nel range di tolleranza di 2 dB, con una sottostima del primo.

Per lo stesso cantiere si riportano, inoltre, i valori dell'indice del potere fonoisolante apparente analizzato per due pareti, realizzate con una muratura a cassetta, ma dove le prestazioni sono risultate influenzate fortemente da una trasmissione secondaria attraverso i portoncini di ingresso, che risultavano prospicienti allo stesso vano scala e posti ad una distanza tra loro di circa 0.5 m.

Per cui gli interventi di risanamento sono stati concentrati sui questi elementi, ed in particolare:

- è stata inserita della lana minerale nell'interfaccia tra telaio e controtelaio;
- è stata siliconata l'interfaccia tra telaio e muratura;
- è stato sostituito il polistirente, all'interno dell'anta, con della lana minerale;
- è stata regolata la tenuta del portoncino, prestando una particolare attenzione alla regolazione della guarnizione inferiore a ghigliottina.

Dal grafico in Figura 11 emerge chiaramente che l'intervento ha ridotto lo scarto tra quanto previsto analiticamente e quanto misurato, portandolo a valori compresi nel range di tolleranza di 2 dB.

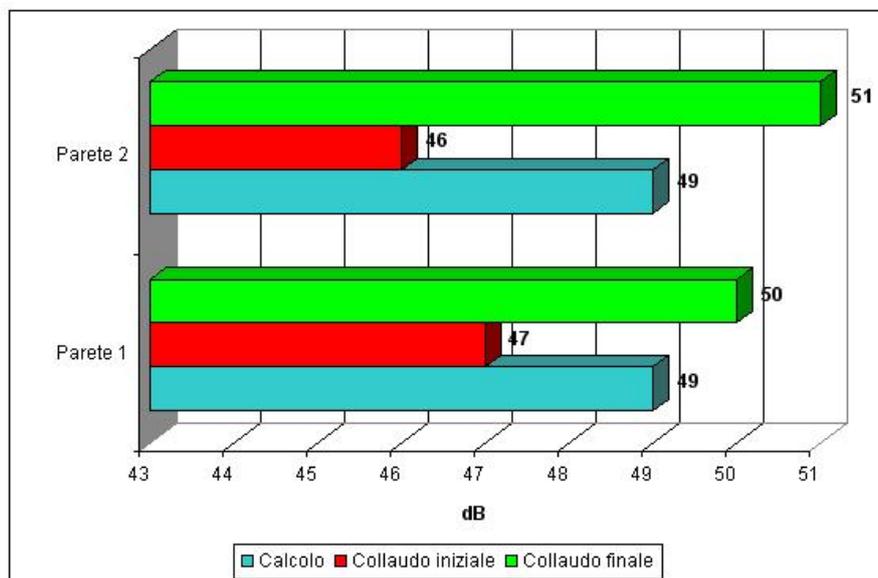


Figura 11 – Risultati pareti soggetto a risanamento

### 13. Evoluzione della normativa ad ausilio della progettazione

L'evoluzione della normativa e il suo aggiornamento prevede diverse azioni sia a livello nazionale che internazionale.

#### 13.1 Livello internazionale

a) In merito al modello di calcolo si sta mettendo mano all'aggiornamento delle EN 12354 [10]; è prevista l'estensione ad elementi tecnici finora trascurati come ad esempio solai non omogenei o strutture leggere in legno e altri materiali. La coerenza tra modello dettagliato e modello semplificato necessita di ulteriori studi che in particolare riguarderanno i seguenti aspetti:

- stima potere fonoisolante trasversale, con particolare attenzione alle strutture realizzate con componenti non omogenei
- stima dell'isolamento dei piccoli elementi, tenendo conto dell'interfaccia con gli altri componenti
- stima dell'isolamento degli infissi in funzione degli elementi vetrati e di quelli opachi che li costituiscono, tenendo conto dell'interfaccia con gli altri componenti
- stima del tempo di riverberazione strutturale e fattore di radiazione dei componenti e reale influenza di questi nelle trasmissioni laterali
- stima dell'influenza della rigidità dei massetti sulle prestazioni dei solai
- stima dell'influenza del rivestimento sulle prestazioni dei solai
- stima della reale influenza dei percorsi di trasmissione secondaria (impianti, corridoi, cappotti, ecc.)
- stima della reale influenza degli impianti sulle prestazioni di isolamento delle strutture.

Dovrà infine essere precisata maggiormente l'accuratezza del modello, con particolare riferimento ai valori in frequenza [11].

b) Per quanto riguarda invece le valutazioni di laboratorio si stanno aggiornando i metodi di prova in modo estendere la caratterizzazione acustica ad elementi piccoli come cassonetti, guarnizioni e sigillanti e ad elementi grandi come facciate continue e tetti. Anche gli aspetti non prettamente acustici ma ugualmente necessari al funzionamento del modello hanno bisogno da ulteriori approfondimenti; fra essi è di fondamentale importanza la revisione del metodo di determinazione della rigidità dinamica.

c) È iniziato un processo di armonizzazione che prevede la semplificazione a livello di descrittori delle prestazioni acustiche in edilizia allo scopo di diminuirne il numero e di aumentarne la rappresentatività (si prevede di estendere la caratterizzazione alle basse frequenze).

### 13.2 Livello nazionale

La norma candidata ad adeguarsi alle esigenze della progettazione è la UNI TR 11175 [3], che nelle intenzioni del Gruppo di Lavoro dovrà rivedere i seguenti aspetti:

- aggiornare la teoria del modello sulla base dell'evoluzione della norma europea e integrarla con le conoscenze acquisite nel frattempo per le tipologie nazionali (solai, pareti in laterizio ecc.);
- prevedere una guida all'applicazione del modello in situazioni particolari che si discostano da quelle più scontate (ambienti regolari esattamente affiancati e sovrapposti non sfalsati ecc.) in analogia a quanto fatto dalla parte 14 della ISO 140 per i collaudi in opera e aggiornare gli esempi di applicazione;
- definire una procedura di previsione finalizzata alla classificazione acustica;
- rivedere e aggiornare il repertorio dati tenendo conto dell'incertezza.

### 14. Conclusioni

Nell'utilizzo del modello previsionale finora è ancora dominante l'approccio "a tentativi" (trial&error) che implica però rischi e costi non più sostenibili da parte di tutto il comparto edile in particolare dai progettisti e in ultima analisi dai costruttori. La sola esecuzione di un calcolo non è garanzia dei risultati finali; occorre una progettazione esecutiva mirata ed una attenta direzione lavori. Per questo è auspicabile che nella futura rivisitazione delle norme tecniche, anche alla luce dell'evoluzione legislativa con l'introduzione della classificazione, sia posto come un obiettivo principale la redazione di una linea guida sulla progettazione acustica degli edifici.

Non meno importante è la individuazione di una modalità più o meno semplificata per la conduzione di prove strumentali intermedie, da affiancare alla direzione lavori, per valutare sia la qualità della posa che la bontà di quanto progettato, durante il corso d'opera.

### 15. Riferimenti

- [1] UNI EN ISO 140 - Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni in opera...Parti 4, 5, 7 e 14.
- [2] UNI EN 12354 – Parti 1, 2, 3, 4, 5 e 6 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti.
- [3] UNI/TR 11175:2005 – Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale.

- [4] UNI 11296:2009 Acustica – Linee guida per la progettazione, la selezione, l’installazione il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto.
- [5] L.Parati, A.Carrettini, C.Scrosati, F.Scamoni, Wooden roof: evaluation of acoustic performances per-formed in laboratory, on an external test-cell, and on real buildings, proc. ICA 2010, Sidney, Australia, 2010.
- [6] UNI EN ISO 140 – Parti 8 e 11.
- [7] UNI EN 29052-1:1993 - Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali.
- [8] G. Zambon, F. Angelini, Applicazione della uni en 12354-2 “isolamento acustico al calpestio tra ambienti” a casi reali in strutture ad uso collettivo, Convention Nazionale del G A E, Ferrara, 2009.
- [9] UNI 11367 - Acustica in edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari – procedura di valutazione e verifica in opera.
- [10] E. Gerretsen, Stato dell’arte e sviluppi futuri della serie di norme europee EN 12354, Convention Nazionale del G A E, Ferrara, 2009.
- [11] C. Martorana, S. Becherini, Confronto tra applicazione del modello e collaudi in opera, Convention Nazionale del G A E, Ferrara, 2009.