



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN
"SCIENZE DELL'INGEGNERIA"

CICLO XXII

COORDINATORE Prof. Stefano Trillo

**LA VARIABILITÀ DEI RISULTATI NELLE
MISURE IN OPERA DI ACUSTICA EDILIZIA**

Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/11

Dottorando

Dott. Cremonini Renzo

Tutore

Prof. Fausti Patrizio

Anni 2007/2011

SOMMARIO

INTRODUZIONE	1
1. La variabilità dovuta alla posa in opera	5
1.1 Premessa	5
1.2 Esperimento statistico per la valutazione della variabilità della sola posa in opera	6
1.2.1 Descrizione dell'esperimento statistico.....	6
1.2.2 Applicazione dell'esperimento statistico al caso in esame	8
1.2.3 Risultati isolamento al rumore aereo R' (tipologia parete doppia)	10
1.2.4 Isolamento al rumore aereo – altri risultati su pareti monostrato.....	13
1.2.5 Risultati livello di rumore di calpestio	15
1.3 L'approccio alla problematica della posa in opera a livello europeo 18	
1.3.1 Progetto europeo COST Action TU0901	18
1.3.2 Spagna – “ <i>Guida de Aplicacion del DB HR</i> ”	19
1.3.3 Scozia – “ <i>Example constructions and generic internal constructions – For use with section 5: noise of the technical handbooks</i> ”	22
1.3.4 Inghilterra e Galles – “ <i>Robust Details Certification Scheme</i> ”	23
1.3.5 Francia – “ <i>Example de solutions acoustiques – Règlamentation acoustique 2000</i> ”	24
1.4 Raccolta degli errori di progetto e di posa più comuni per ogni requisito	25
1.4.1 Isolamento al rumore aereo – errori di posa e di progetto	26
1.4.2 Isolamento acustico di facciata – errori di posa e di progetto.....	29
1.4.3 Livello di rumore di calpestio – errori di posa e di progetto.....	31
1.4.4 Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo – errori di posa e di progetto	32
1.4.5 Livello di rumore degli impianti a ciclo continuo – errori di posa e di progetto	35
1.5 Esempi di checklist per il contesto costruttivo italiano	36
2. La variabilità nelle procedure di misurazione in opera	47
2.1 Premessa	47
2.2 Variabilità dovuta alla tecnica di misura	48
2.2.1 Risultati isolamento al rumore aereo R'	51
2.2.2 Risultati livello di rumore di calpestio $L'n$	55
2.3 Variabilità dovuta alla posizione e al tipo di sorgente sonora	56
2.3.1 Risultati isolamento al rumore aereo R' (applicazione esperimento statistico mutuato dalla normativa UNI ISO 5725-3)	57
2.3.2 Risultati isolamento acustico di facciata	61
3. La classificazione acustica degli edifici: la variabilità nella scelta del campione per edifici seriali e non seriali	67
3.1 Aspetti principali e problematiche della normativa UNI 11367	67
3.2 Campagna di misurazioni in opera per la classificazione acustica di un edificio con caratteristiche non seriali	68

3.3 Classificazione edificio in esame mediante procedura di campionamento prevista per edifici con caratteristiche seriali.....	71
3.3.1 Risultati classificazione con procedura di campionamento UNI 11367..	
.....	73
3.3.2 Confronto con i risultati ottenuti applicando il precedente Progetto di norma sulla classificazione acustica	77
3.4 Classificazione edificio in esame mediante applicazione delle Linee Guida U20002150.....	80
3.4.1 Risultati complessivi classificazione con applicazione delle Linee Guida	81
3.5 Confronto tra i risultati e considerazioni	93
CONCLUSIONI	99
ALLEGATO - Raccolta degli errori di progetto e di posa più comuni per ogni requisito	
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUZIONE

La valutazione della variabilità dei risultati delle misure in opera di acustica edilizia è da tempo materia di notevole interesse da parte degli studiosi, anche in relazione all'evoluzione delle norme e della legislazione sui requisiti acustici passivi degli edifici.

Le principali fonti di variabilità, con riferimento ai requisiti acustici passivi degli edifici, possono essere ricondotte a questi fattori principali:

- le condizioni del contesto (ad esempio la forma e le dimensioni dei locali, il campo acustico interno, l'influenza delle trasmissioni laterali, etc.);
- la natura dei materiali usati;
- la posa in opera degli elementi tecnici e dei suoi componenti;
- il metodo di misurazione;
- le modalità di funzionamento degli impianti (limitatamente alle misure sugli impianti).

Questi fattori possono essere visualizzati in maniera più immediata mediante un diagramma causa effetto del tipo di quello in Figura 1.

Per prima cosa è necessario distinguere tra il termine *variabilità* e il termine *incertezza*. Si ritiene infatti che il concetto di incertezza implichi l'adozione di precisi metodi statistici descritti in specifiche normative, basati su modelli matematici rigorosi oppure su approcci sperimentali comunque ben definiti e non modificabili (per esempio l'organizzazione di test inter-laboratorio). Le analisi e i risultati ottenuti nel presente lavoro sono invece basati su esperimenti statistici mutuati da normative e applicati a particolari situazioni in opera, oppure su procedure empiriche. Per questo motivo si è utilizzato il termine, più generico, di *variabilità*, con riferimento all'isolamento al rumore aereo, all'isolamento acustico di facciata, al livello di rumore di calpestio e al livello di rumore degli impianti a ciclo continuo e discontinuo.

I valori limite di questi requisiti sono determinati, a tutt'oggi, dal DPCM 5/12/97 [1], anche se già da alcuni anni si parla di una revisione del quadro normativo e legislativo sulla protezione acustica degli edifici. La Legge Comunitaria 07/07/2009 n. 88 [2], come modificata dalla Legge Comunitaria 04/06/2010 n. 96 [3], ha specificato che *“in attesa del riordino della materia, la disciplina relativa ai requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti di cui all'articolo 3, comma 1, lettera e), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, non trova applicazione nei rapporti tra privati e, in particolare, nei rapporti tra costruttori-venditori e acquirenti di alloggi sorti successivamente alla data di entrata in vigore della presente legge”*. La delega del governo, prevista nella citata Legge Comunitaria, è però scaduta e si è in attesa di ulteriori sviluppi su questa tematica. In ambito normativo, a luglio 2010 è stata pubblicata la norma sulla classificazione acustica degli edifici UNI 11367 [4].

In merito all'incertezza in acustica, è attualmente in corso una fase di revisione delle normative, basate sul documento più generale UNI CEI ENV 13005 [5], la versione italiana della normativa ISO/IEC Guide 98 (“GUM”) [6]. Le normative sono basate esclusivamente sulla descrizione delle procedure per la determinazione della variabilità relativa al metodo di misura (in questi casi più propriamente chiamata *incertezza*), senza accenni agli altri fattori di variabilità.

Nel presente lavoro sono stati studiati quei fattori di variabilità che comportano differenze tra le prestazioni di progetto e le prestazioni effettive misurate in opera, concentrandosi prevalentemente sui due fattori considerati più influenti: la variabilità dovuta alla posa in opera e la variabilità dovuta al metodo di misura.

In merito alle condizioni del contesto e alla natura dei materiali, la variabilità dei risultati può essere elevata ma, per alcune situazioni, l'effetto può essere prevedibile.

La casistica di situazioni che si possono presentare è molto ampia ed è quindi importante inserire nel rapporto di misura una descrizione dettagliata del grado di finitura dei lavori, delle condizioni di misura, della natura e spessori dei materiali utilizzati, della forma e del tipo di materiali utilizzati per le strutture laterali. Si può citare, ad esempio, l'effetto della presenza dei battiscopa o del tipo di rivestimento superficiale nella misura del rumore di calpestio, la sigillatura e la regolazione dei serramenti nella misura dell'isolamento di facciata, etc. L'influenza delle trasmissioni laterali strutturali ed aeree, inoltre, può essere stimata con i diversi metodi implementati sulla base della serie di normative UNI EN 12354 [7]. La variabilità legata ai modelli previsionali è stata analizzata in diversi lavori, in particolare quello di Simmons [8], e non è oggetto di questo studio.

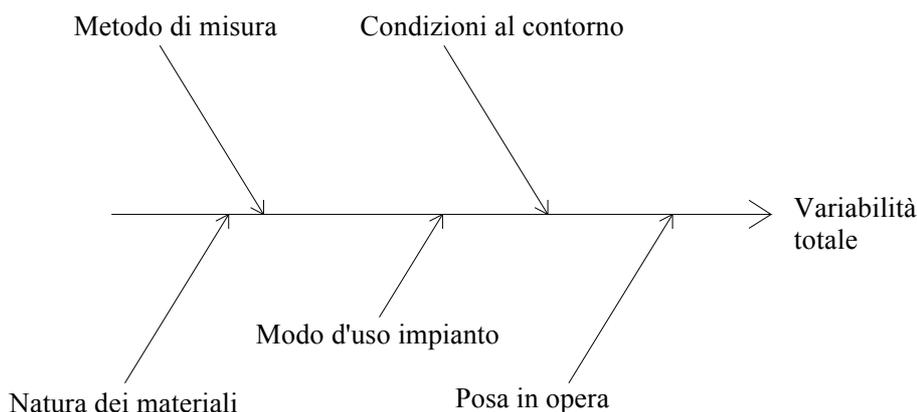


Figura 1: diagramma causa – effetto per individuare le cause di incertezza nelle misure di acustica edilizia

La **variabilità riguardante la posa in opera** è probabilmente uno dei fattori più critici. In fase di progetto infatti si parte dal presupposto che le strutture vengano realizzate secondo i criteri della *regola dell'arte*, ipotesi che nella realtà spesso è confutata dalla presenza di errori di posa, più o meno gravi, che possono comportare scostamenti anche evidenti dai risultati previsti.

Il tema della variabilità della posa in opera viene affrontato nel primo capitolo, mediante lo studio di un esperimento statistico che ha permesso di isolare e quantificare tale contributo rispetto agli altri fattori di variabilità. L'analisi è poi proseguita attraverso uno studio di documenti e progetti a livello europeo finalizzati a limitare per quanto possibile tale problematica, per soffermarsi sulla redazione di una casistica degli errori di posa e di progetto più frequenti nel nostro panorama costruttivo, basata soprattutto su esperienze maturate in opera.

Infine sono stati studiati esempi di checklist, che potrebbero diventare un utile strumento di supporto agli addetti ai lavori (progettisti e direttore dei lavori in primis) per la verifica sia della corretta posa in opera che della corretta progettazione.

Riguardo la **variabilità del metodo di misura**, le componenti che possono agire su tale variabilità sono riferiti soprattutto alla misura del tempo di riverberazione (scelta tra diverse tipologie di misura), alla presenza di un rumore di fondo più o meno elevato, alla misura del volume dell'ambiente di prova e della superficie di prova (solamente per alcuni requisiti), al metodo di misura del livello sonoro (postazioni microfoniche fisse, microfono su asta rotante, movimentazione manuale del microfono) e alla scelta della posizione della sorgente di rumore (altoparlante, macchina di calpestio).

Nel capitolo due è stata affrontata tale problematica, attraverso lo studio dell'influenza di questi ultimi due fattori di variabilità (tecnica di misura e posizione delle sorgenti), ritenuti più importanti rispetto ad agli altri fattori.

L'analisi è stata eseguita, quando possibile, mediante l'esperimento statistico utilizzato nel capitolo uno oppure attraverso sperimentazioni empiriche.

La variabilità legata all'incertezza di misura rientra, come spiegato in precedenza, anche nella normativa **UNI 11367 sulla classificazione acustica degli edifici**, in termini di incertezza estesa con la quale correggere i risultati di una misurazione.

L'applicazione della normativa, in particolare della procedura di campionamento, può comportare differenze anche sostanziali tra i risultati ottenuti, in funzione, per esempio, della scelta dei campioni da sottoporre a misura e soprattutto dalla differenza di prestazione tra di essi. Questi fattori di variabilità tendono poi ad incrementare in caso di applicazione del campionamento in edifici con caratteristiche non seriali.

Nel capitolo tre è stata analizzata tale problematica, con il supporto di una estesa campagna di misurazioni in opera eseguita presso un complesso residenziale di nuova costruzione con caratteristiche non seriali, dove sono state eseguite quasi tutte le prove per i requisiti di isolamento al rumore aereo, isolamento di facciata e livello di calpestio. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti applicando il criterio di campionamento per edifici seriali, sia per evidenziare le differenze dovute alla selezione del campione, che per sottolineare altre problematiche. Il confronto conclusivo è stato eseguito anche con i risultati ottenuti adottando le linee guida UNI U20002150 [9] per l'applicazione della classificazione acustica ad edifici non seriali, attualmente in fase di discussione nei gruppi di lavoro UNI.

Tutte le valutazioni e considerazioni si sono basate su estese campagne di misurazioni effettuate in opera.

1. La variabilità dovuta alla posa in opera

1.1 Premessa

Nel mercato delle costruzioni il tema della corretta posa di materiali e sistemi per l'isolamento ai rumori riveste particolare importanza.

Come evidenziato anche nell'introduzione della norma UNI 11367 [4], sulla classificazione acustica delle unità immobiliari, una posa in opera errata può determinare scostamenti anche rilevanti tra le valutazioni previsionali dei requisiti acustici passivi e i risultati effettivamente ottenuti al termine dei lavori.

Da questa problematica è nata la necessità di tentare di quantificare l'influenza dell'effetto della posa sulla prestazione finale di un elemento tecnico, isolando il più possibile il contributo di tutti gli altri fattori di variabilità. È stato quindi studiato un esperimento statistico adeguato allo scopo, la cui applicabilità è stata poi verificata in situazioni reali in opera.

Tale approccio potrebbe essere impiegato per definire le soluzioni più "robuste", cioè meno soggette ad errori di posa in opera, e fornire quindi indicazioni utili a livello progettuale.

La "robustezza" di una soluzione, tuttavia, non può essere considerata solamente come un parametro intrinseco di una determinata soluzione costruttiva, ma dipende anche dal grado di istruzione e formazione della manodopera. Una stessa tipologia di parete, posata in due complessi edilizi identici ma realizzata da diversa manodopera, può fornire risultati completamente differenti.

Per questo motivo il grado di robustezza di un elemento tecnico non è di per sé sufficiente per conseguire in opera prestazioni paragonabili a quelle calcolate nel progetto, e diventa quindi necessario fornire agli addetti ai lavori (progettisti e Direttori dei Lavori in primis) altri strumenti di progetto, corretta esecuzione e verifica.

In quest'ottica sono stati analizzati gli approcci di altri Paesi europei, basati soprattutto sull'emanazione di manuali o linee guida caratterizzati da soluzioni conformi, indicazioni di posa in opera e strumenti di verifica in fase ante-operam, di realizzazione e post-operam.

Questi strumenti si inseriscono anche all'interno di un progetto europeo di più ampio respiro (*COST Action TU0901* [10]), che si prefigge, tra le altre cose, di realizzare una sorta di database europeo in cui sono selezionate le soluzioni costruttive più "robuste", con i relativi dettagli di corretta posa in opera e indicazioni sugli errori da evitare.

In questo contesto è stata studiata una casistica il più possibile esaustiva degli errori di progetto e di posa più frequenti, in riferimento alle soluzioni costruttive tipiche del nostro contesto edilizio. Ogni tipologia di errore è corredata di particolari costruttivi o fotografie, e, in alcuni casi, da misurazioni o sperimentazioni eseguite in opera. La raccolta dettagliata è riportata in Allegato.

Il passo successivo è stata la predisposizione di documenti per la verifica della corretta progettazione e della corretta esecuzione in opera delle soluzioni costruttive. L'impiego di queste checklist, abbinate a spiegazioni dettagliate di corretta posa e errori da evitare, potrebbero dare un contributo per ridurre le

differenze tra le prestazioni previste in fase di progetto e le prestazioni effettive misurate in opera.

1.2 Esperimento statistico per la valutazione della variabilità della sola posa in opera

I principali fattori di variabilità dei risultati nelle misura di acustica edilizia sono la procedura di misura, le condizioni al contorno, la natura dei materiali e la posa in opera. Per analizzare singolarmente l'influenza di un solo fattore è necessario mantenere costanti o per lo più trascurabili tutti gli altri.

Riguardo alla valutazione della variabilità legata alla sola posa in opera, la procedura più immediata dovrebbe prevedere le misurazioni su una stessa tipologia di parete o di solaio realizzata e distrutta più volte da parte dello stesso gruppo di manovali. Tale procedura, oltre ad essere di difficile applicazione, tende probabilmente a sottostimare la variabilità dovuta alla posa in opera, che risulta certamente più curata rispetto alle reali condizioni di lavoro in cantiere.

Per questo motivo è stata ricercata una metodologia che permettesse di valutare, con una precisione accettabile, l'influenza di tale variabilità su partizioni (pareti e solai) già realizzate in opera.

È stata quindi condotta un'estesa campagna di misurazioni di isolamento al rumore aereo e livello di calpestio presso diversi appartamenti all'interno di un quartiere di nuova costruzione sito in Ferrara. La peculiarità fondamentale di questa campagna di misura è che le prove sono state tutte effettuate da parte dello stesso operatore, con la stessa strumentazione, su pacchetti di partizioni della stessa tipologia e realizzati dalla stessa impresa di costruzioni. In questo modo è stato possibile mantenere fissi o per lo meno trascurabili alcuni fattori di variabilità, legati al metodo di misurazione (stesso operatore) e alla natura dei materiali (stesso pacchetto di partizioni in tutti gli appartamenti realizzato dalla stessa impresa), per andare ad indagare gli altri fattori, legati alle condizioni al contorno e alla posa in opera.

1.2.1 Descrizione dell'esperimento statistico

La normativa UNI EN 20140-2 [11] fornisce i metodi per verificare l'incertezza delle misurazioni acustiche attraverso la determinazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità in prove interlaboratorio.

La ripetibilità e la riproducibilità rappresentano due estremi: la prima misura la variabilità minima e la seconda la variabilità massima dei risultati delle prove. La normativa accenna poi la possibilità di effettuare misure intermedie di variabilità tra questi due estremi, allo scopo di analizzare singolarmente i diversi fattori che concorrono alla variabilità massima.

Quest'ultimo caso viene affrontato nella normativa UNI ISO 5725-3 [12], il cui metodo statistico è stato applicato allo scopo di valutare la variabilità legata alla realizzazione in opera di un elemento tecnico (parete o solaio). È importante specificare che tale normativa è normalmente utilizzata per la determinazione di fattori di variabilità legati alle *procedure di misura*: si è tuttavia ritenuto che il principio di base e le relative formulazioni statistiche potessero essere applicate anche per ricercare altri fattori di variabilità, quali appunto le condizioni al contorno e la posa in opera.

Tale normativa è focalizzata sulle misure intermedie di precisione in un metodo di misurazione. Queste misure sono definite intermedie poiché la loro grandezza si trova in una posizione intermedia tra i due valori estremi di precisione di un dato metodo di misurazione: lo scarto tipo di ripetibilità e lo scarto tipo di riproducibilità.

Per la stima delle misure intermedie di precisione è stato utilizzato un esperimento a tre fattori totalmente in cascata, descritto nella normativa stessa. Il vantaggio dell'impiego di tale approccio statistico consiste nella possibilità di ottenere contemporaneamente, durante un esperimento interlaboratorio, non solo lo scarto tipo di ripetibilità e di riproducibilità, ma anche un valore dello scarto tipo della precisione intermedia, nel caso in esame associabile allo scarto tipo dovuto alla posa in opera.

Lo schema generale del piano sperimentale a tre fattori totalmente in cascata è riportato nella figura seguente.

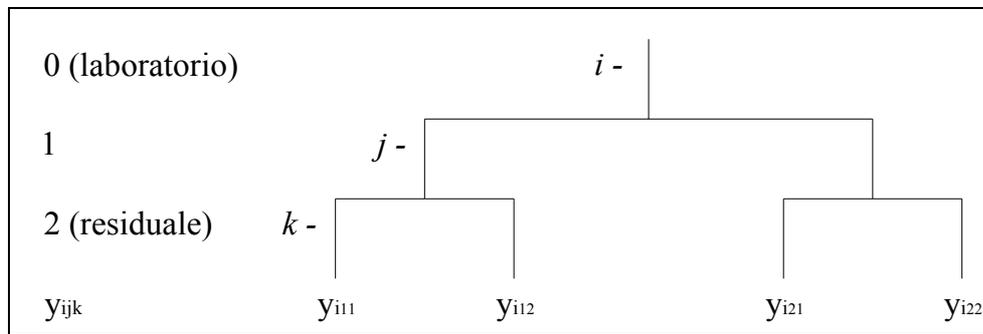


Figura 2: rappresentazione schematica di un esperimento a tre fattori totalmente in cascata

Attraverso un'analisi statistica nota come “analisi della varianza” (ANOVA) si ottiene la stima della varianza per la riproducibilità:

$$s_R^2 = s_r^2 + s_{(1)}^2 + s_{(0)}^2 \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

dove:

s_{r2} è la stima della varianza per la ripetibilità [dB];

$s_{(1)2}$ è la stima della varianza della condizione intermedia [dB];

$s_{(0)2}$ è la stima della varianza tra i laboratori [dB];

La determinazione di ogni singolo parametro di varianza è riportata di seguito:

$$s_{(0)}^2 = \frac{\sum_i (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2}{p-1} - \frac{\sum_i w_{i(2)}^2}{4p} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

$$s_{(1)}^2 = \frac{\sum_i w_{i(2)}^2}{2p} - \frac{\sum_i \sum_j w_{ij(1)}^2}{8p} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

$$s_r^2 = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij(1)}^2}{4p} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

dove:

p è il numero di laboratori che hanno partecipato all'esperimento [dB];

\bar{y}_i è il valore medio tra i due campioni di ogni laboratorio [dB];

\bar{y} è il valore medio totale tra tutti i laboratori [dB];

$w_{i(2)}$ è l'escursione tra i due campioni di uno stesso laboratorio [dB];

$w_{ij(1)}$ è l'escursione tra i due risultati di prova su ogni campione [dB].

La normativa precisa che un esperimento a n fattori totalmente in cascata deve prevedere un minimo di 2^{n-1} risultati di prova da ogni laboratorio. Nel caso di un esperimento a tre fattori quindi il numero minimo di risultati di prova per ogni laboratorio è pari a 4.

1.2.2 Applicazione dell'esperimento statistico al caso in esame

Come illustrato in precedenza, la campagna di misurazioni in opera è stata effettuata dallo stesso operatore con la stessa strumentazione, sulla stessa tipologia di parete o solaio realizzata dalla stessa impresa di costruzione. Gli unici fattori di variabilità tra le diverse prove effettuate sono state le condizioni al contorno (dimensione, forma e caratteristiche del campo acustico degli ambienti di prova, influenza della trasmissione laterale) e le condizioni di realizzazione in opera delle pareti e dei solai.

L'applicazione del metodo ha previsto innanzitutto la definizione dei tre livelli della prova per il caso in esame, il livello 0 (laboratorio), il livello 1 (intermedio) e il livello 2 (residuale).

I laboratori sono stati ipotizzati come coppie di configurazioni di prova identiche. Ogni "laboratorio" (coppia di configurazioni di prova) è costituito da due coppie di ambienti di prova uguali in termini di forma, dimensioni e condizioni del campo acustico interno, in modo tale da mantenere costanti le variabilità legate alle condizioni al contorno. Da qui in poi al posto del termine "laboratorio" sarà utilizzato il termine "configurazione di prova". Per giustificare l'ipotesi di uguaglianza del campo acustico interno agli ambienti appartenenti alla stessa configurazione di prova, sono stati posti a confronto i rispettivi tempi di riverberazione, in termini di andamento in frequenza. Nelle figure seguenti sono riportati due esempi di confronto tipo relativi ad una coppia di ambienti appartenenti ad una configurazione di prova (ambienti G4 ed E4) e ad un'altra coppia di ambienti appartenenti ad un'altra configurazione di prova (C5 ed A5). Si può notare che le differenze sono pressoché trascurabili a tutte le frequenze, da cui si desume la validità dell'ipotesi di uguaglianza del campo acustico interno.

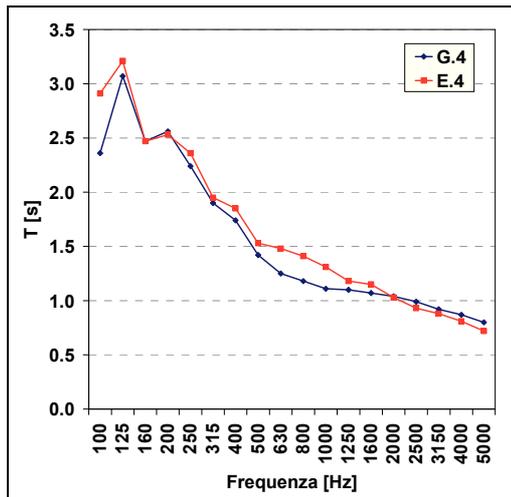


Figura 3: confronto tempi di riverberazione tra due ambienti della stessa configurazione all'interno del Blocco 4, identici in termini di forma e dimensioni

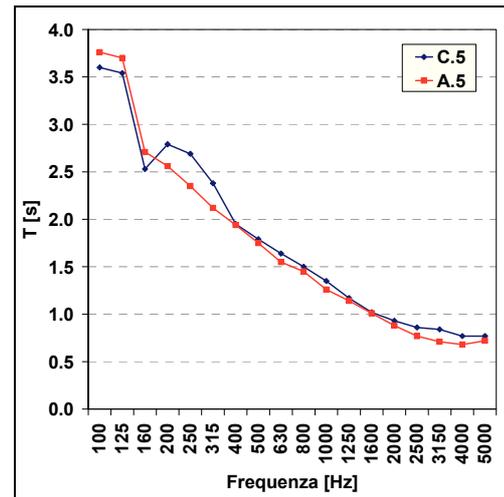


Figura 4: confronto tempi di riverberazione tra due ambienti della stessa configurazione all'interno del Blocco 5, identici in termini di forma e dimensioni

Per quanto riguarda il livello intermedio, in ogni configurazione di prova sono presenti due campioni di prova (due pareti o due solai) ipoteticamente identici. Infatti dimensioni, forma e materiali utilizzati sono i medesimi, l'unico fattore di variabilità tra i due campioni è legato quindi alla posa in opera.

Allo scopo di minimizzare il più possibile l'errore casuale dovuto alla procedura di misura, lo stesso operatore con la stessa strumentazione e ad intervalli di tempo brevi ha effettuato due prove su ogni parete/solaio.

L'operatore ha seguito le procedure descritte nelle normative UNI EN ISO 140-4 [13] e UNI EN ISO 140-7 [14].

Nella figura seguente è riportato lo schema del piano sperimentale a tre fattori totalmente in cascata applicato al caso in esame e, a seguire, l'esempio di due configurazioni di prova per le misure di isolamento al rumore aereo.

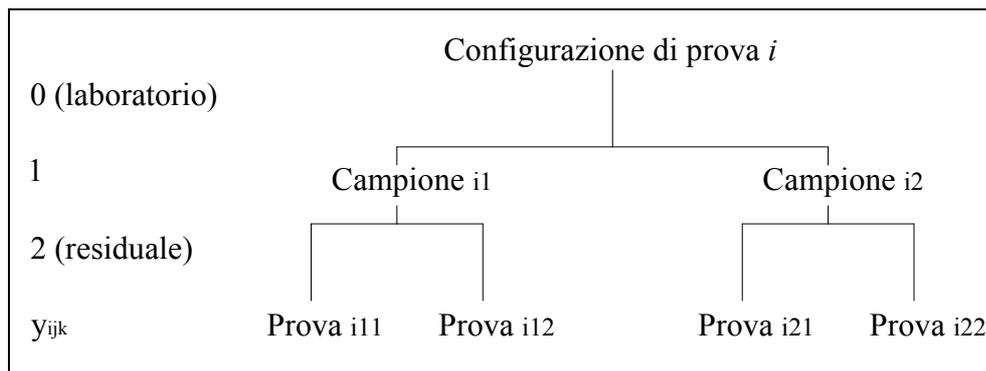


Figura 5: rappresentazione schematica dell'esperimento a tre fattori totalmente in cascata applica al caso in esame

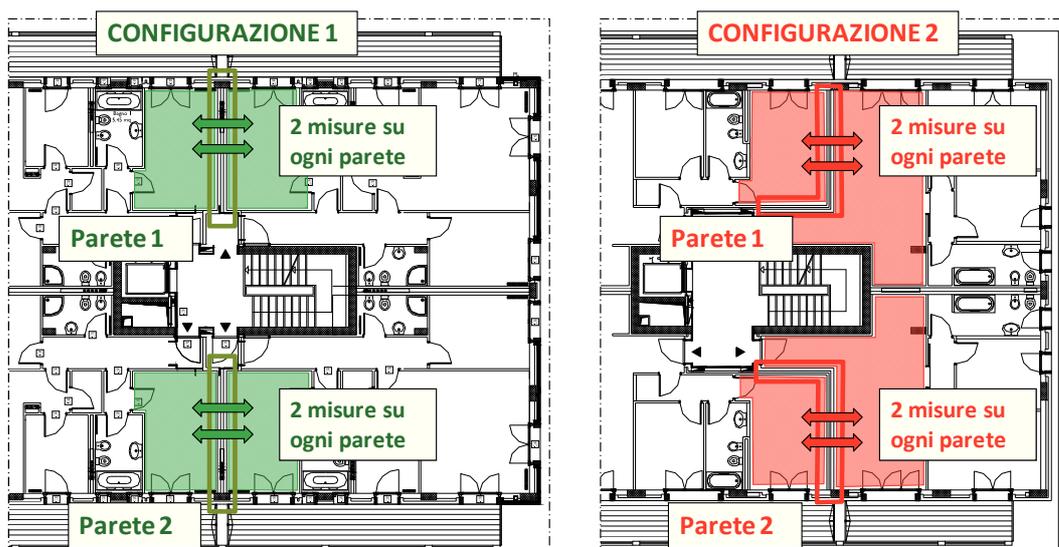


Figura 6: esempio di applicazione dell'esperimento statistico alle misurazioni di isolamento al rumore aereo in due configurazioni di prova

I tre contributi che determinano la varianza tipo di riproducibilità, definita nella (1), nel caso in esame sono riconducibili alle tre cause di variabilità:

- s_{r2} è la stima della varianza della ripetibilità, che corrisponde all'errore casuale associato allo stesso operatore nell'effettuare due misure sulla stessa parete seguendo la stessa procedura di misurazione;
- $s_{(1)2}$ è la stima della varianza della condizione intermedia, che corrisponde alla variazione riscontrata tra due pareti di una stessa configurazione di prova, per ognuna delle n configurazioni. Tale varianza rappresenta proprio la variabilità legata *unicamente* alla posa in opera, non solo del campione di prova ma anche delle strutture adiacenti. Questo parametro è calcolato considerando le escursioni tra le due pareti della stessa configurazione di prova e detraendo il contributo della variabilità dovuta all'errore casuale dell'operatore;
- $s_{(0)2}$ è la stima della varianza tra le configurazioni di prova, che corrisponde alla variabilità delle condizioni al contorno esistente tra le configurazioni stesse. Questo parametro è calcolato considerando le escursioni tra il valor medio misurato per ogni configurazione di prova e il valor medio complessivo di tutte le configurazioni, sottraendo il contributo della variabilità legata all'errore casuale dell'operatore e alla posa in opera.

La normativa UNI EN ISO 5725-3 [12] prevede l'utilizzo del metodo su più livelli, intesi nel caso in esame come il valore del potere fonoisolante apparente R' o il livello di calpestio L'_n nel campo di frequenze in terzi d'ottava compreso tra 50 e 5000 Hz, con l'aggiunta di un ulteriore livello corrispondente agli indici di valutazione R'_{w} e $L'_{n,w}$.

1.2.3 Risultati isolamento al rumore aereo R' (tipologia parete doppia)

In totale sono state considerate 19 configurazioni di prova, per ognuna delle quali sono state testate 2 pareti e per ogni parete sono state effettuate 2 misurazioni di isolamento, per un totale di 38 pareti testate e 76 misurazioni effettuate. Le prove

sono state effettuate in quattro differenti blocchi (Blocchi 2, 3, 4 e 5) dello stesso complesso residenziale.

Le pareti testate appartengono alla tipologia di parete doppia con intercapedine parzialmente riempita con lana minerale. La sezione della parete tipo è riportata nella figura seguente.

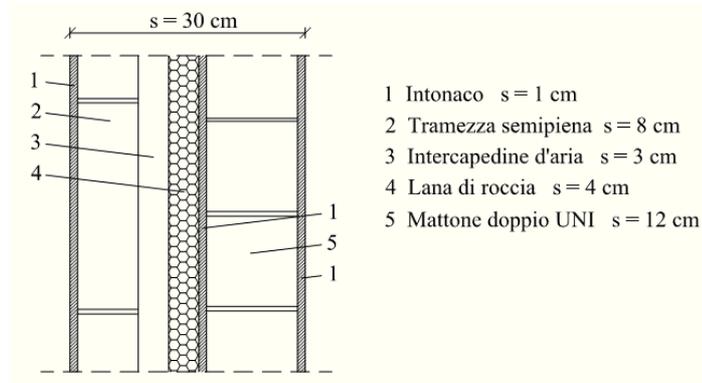


Figura 7: pacchetto tipo di parete divisoria presente tra due unità immobiliari

In Figura 8 è riportato l'andamento in frequenza del potere fonoisolante medio R' , con indicate le barre di valore massimo e di valore minimo.

Nella Figura 9 sono riportati i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante per tutte le pareti, espresso in dB.

Entrambi i grafici mostrano un andamento simile per tutti i campioni sottoposti a prova, specialmente alle medie e alte frequenze, con indici di valutazione che hanno raggiunto anche i 56/57 dB. Le differenze maggiori, specialmente alle basse frequenze, sono dovute a sei campioni, con indici di valutazione inferiori ai 50 dB.

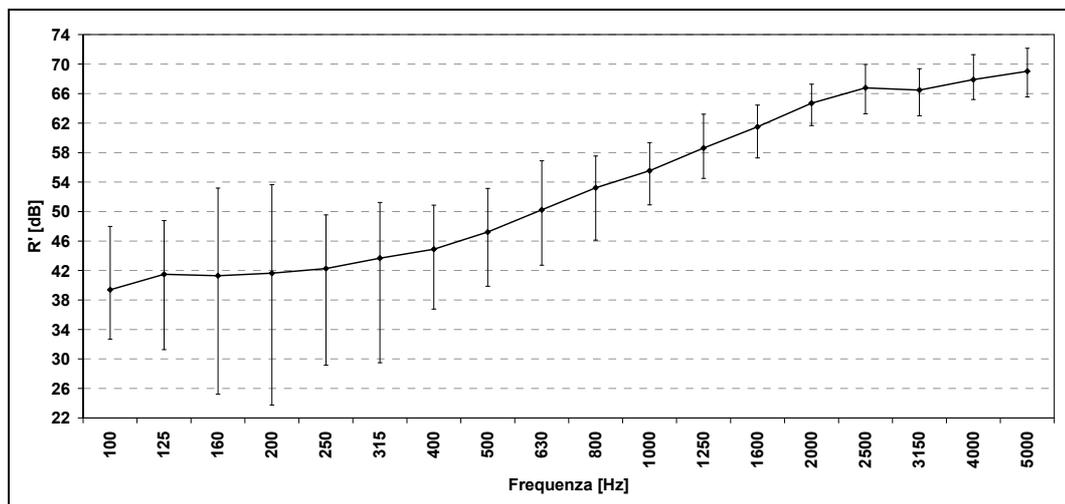


Figura 8: andamento in frequenza del potere fonoisolante medio R' , con indicate le barre di massimo e di minimo

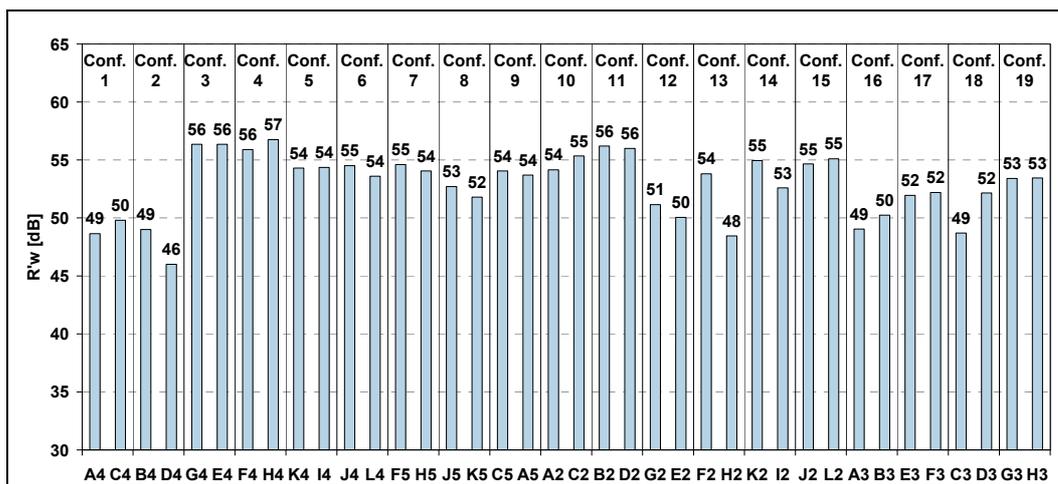


Figura 9: valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente ottenuti per le pareti testate, suddivisi per configurazioni di prova

L'applicazione del metodo statistico ha poi permesso di individuare, in termini generali, il contributo delle variabilità dovute alle condizioni al contorno, alla posa in opera e alla replicazione delle misure. Nella tabella seguente è riportato il valore medio dell'indice di valutazione e i relativi valori degli scarti tipo ricavati dalle stime delle varianze illustrate nella (1), in Figura 10 sono riportati gli andamenti in frequenza degli scarti tipo.

Relativamente all'indice di valutazione, lo scarto tipo di riproducibilità dipende quasi esclusivamente dalla variabilità delle condizioni al contorno, il contributo di variabilità fornito dalle condizioni di realizzazione in opera delle pareti è risultato inferiore ma comunque significativo. La variabilità legata alla replicazione delle misure è prossima allo zero.

Tali risultati sono in linea con quanto riportato nel grafico precedente (Figura 9): si può infatti notare come l'escursione tra i risultati di due pareti della stessa configurazione di prova sia nella maggior parte dei casi minima (con qualche eccezione riferita alle configurazioni 2, 13 e 18) rispetto all'escursione tra le configurazioni stesse, ben superiore.

In termini di contenuto in frequenza (Figura 10) si può notare che alle basse frequenze il contributo delle condizioni al contorno è più importante, ma alle frequenze medio – alte la variabilità complessiva dipende sia della condizioni al contorno che dalla posa in opera.

Tabella 1: valore dell'indice di valutazione medio, dello scarto tipo di riproducibilità e dei diversi contributi dello scarto tipo

$R'_{w,medio}$ [dB]	S_R [dB]	$S_{(0)}$ [dB]	$S_{(1)}$ [dB]	S_r [dB]
	<i>Variabilità massima</i>	<i>Variabilità condizioni al contorno</i>	<i>Variabilità posa in opera</i>	<i>Variabilità replicazione misure</i>
53	2.7	2.4	1.3	0.3

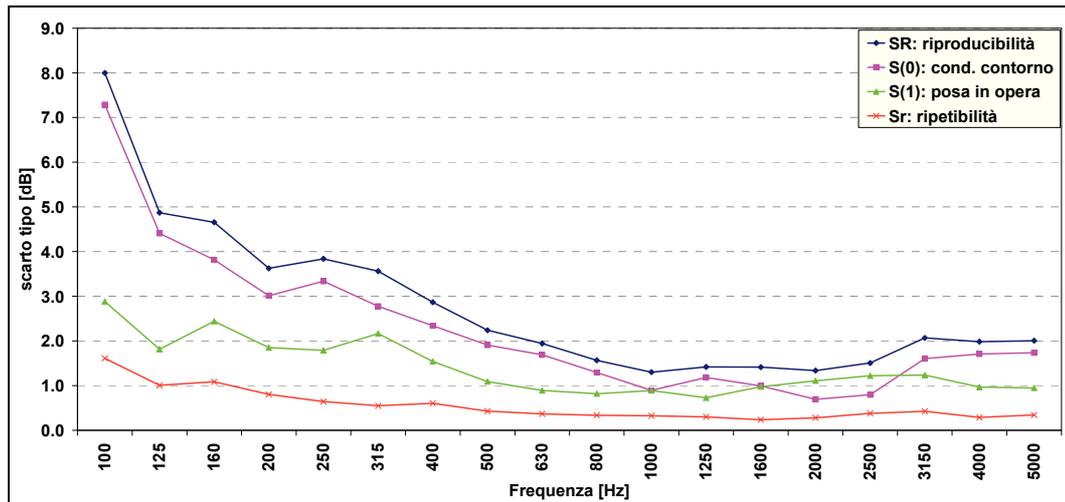


Figura 10: valori dello scarto tipo di riproducibilità e dei diversi contributi riferiti all'andamento in frequenza del potere fonoisolante medio

Questi risultati nel complesso sono abbastanza buoni, tipici delle misurazioni effettuate sulla stessa tipologia di parete, costruita nello stesso complesso residenziale da manodopera adeguatamente formata e monitorata dalla direzione lavori. Gli elevati valori di variabilità riferiti alle condizioni al contorno non dipendono da diverse forme e dimensioni, né dalle condizioni acustiche all'interno delle camere: l'apporto principale è dovuto alla interazione della parete in prova con le strutture adiacenti. Tale contributo è maggiore quando l'isolamento acustico aereo del campione è elevato in quanto la trasmissione strutturale attraverso le pareti contigue e i solai è più importante.

Questi risultati sono associabili esclusivamente al caso in esame, per questa tipologia di parete, questa impresa di costruzioni e questi appartamenti. Nel caso di misurazioni effettuate sulla stessa tipologia di parete doppia, ma realizzata da imprese diverse in edifici diversi, è lecito prevedere un sostanziale aumento di variabilità dovuta alla posa in opera.

1.2.4 Isolamento al rumore aereo – altri risultati su pareti monostrato

Nel periodo dal 2000 al 2010 è stata condotta una campagna di misura in opera su una particolare tipologia di parete monostrato di spessore totale pari a 28 cm. Nel complesso sono state effettuate prove su 47 pareti.

Nella tabella seguente è riportato un confronto dettagliato tra le due campagne di prove in opera, sia in termini di condizioni di misura che in termini di risultati (potere fonoisolante medio, scarto tipo e range di valori del potere fonoisolante stesso). Si può notare che, a differenza delle misure eseguite sulle pareti doppie, sulle pareti monostrato le prove sono state eseguite in condizioni al contorno completamente diverse tra loro, con pareti dello stesso tipo ma realizzate da imprese di costruzioni diverse e in contesti costruttivi diversi (Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto, Toscana etc.), in un lasso di tempo molto più lungo (10 anni). L'operatore inoltre è variato, anche se la strumentazione utilizzata è stata sempre la medesima. Il valore medio dell'indice di valutazione di tutte le misurazioni $R'_{W,medio,monostrato}$ è risultato pari a 52 dB con uno scarto tipo $S(R'_{W,medio,monostrato})$ pari a 1.2 dB. Confrontando quest'ultimo valore dello scarto tipo con quello

ottenuto sulle pareti doppie ($S_{(R'W,medio,p.doppie)}$ pari a 2.7 dB) si osserva come la variabilità dei risultati per le misurazioni effettuate sulle pareti monostrato sia risultata largamente inferiore rispetto alla variabilità dei risultati della parete doppia, nonostante il numero di fattori di variabilità nelle misure su pareti monostrato fosse maggiore (diversi contesti, diverse imprese, tempi più lunghi).

Tale risultato si giustifica considerando la diversa stratigrafia nelle due soluzioni tecnologiche: le pareti monostrato hanno una minore variabilità rispetto al risultato atteso mentre le pareti doppie hanno una variabilità maggiore. Si tratta quindi di soluzioni più “robuste”, meno soggette cioè ad eventuali errori di posa in opera.

A fronte di questo, però, le pareti doppie permettono di spingersi verso risultati anche molto più elevati rispetto alle pareti monostrato, utilizzando materiali e spessori opportuni. Si può infatti notare che il valore di potere fonoisolante massimo raggiunto nella campagna di misure sulle pareti doppie è stato di 57 dB, mentre per le pareti monostrato il massimo isolamento raggiunto è stato di 54 dB.

Le stesse conclusioni si evidenziano anche nel confronto tra l'andamento in frequenza del potere fonoisolante medio delle due tipologie di pareti (Figura 11): le barre di minimo e massimo delle pareti doppie sono generalmente più ampie a quasi tutte le frequenze, ad indicare una maggiore variabilità tra i risultati, tuttavia il potere fonoisolante medio è maggiore, soprattutto alle alte frequenze.

Tabella 2: confronto tra la campagna di prove sulle pareti doppie e sulle pareti monostrato in termini di condizioni di misura e risultati

Tipologia di parete	Parete doppia	Parete monostrato
N. pareti testate	38	47
Operatore e strumentazione	Stesso operatore e stessa strumentazione	Operatori diversi ma con la stessa strumentazione
Tecnica di misura	Stessa tecnica di misura	Diverse tecniche di misura (posizioni microfoniche fisse o movimentazione manuale del microfono)
Periodo di misura e condizioni climatiche	3 settimane di misura, condizioni climatiche stabili	Misure eseguite nell'arco di 10 anni, condizioni climatiche di tutti i tipi
Contesto costruttivo	Pareti realizzate in un singolo complesso residenziale sito in Ferrara	Pareti realizzate in complessi residenziali situati in diversi contesti costruttivi (Veneto, Emilia – Romagna, Toscana, Lombardia etc.)
Impresa di costruzioni	Stessa impresa di costruzioni	Imprese di costruzioni sempre diverse
Condizioni al contorno	Simili per tutte le misurazioni	Completamente differenti per tutte le misurazioni
$R'_{W,medio}$ [dB]	53	52
$S_{(R'W,medio)}$ [dB]	2.7	1.2
$(R'_{W,MIN} - R'_{W,MAX})$ [dB]	(46 – 57)	(50 – 54)

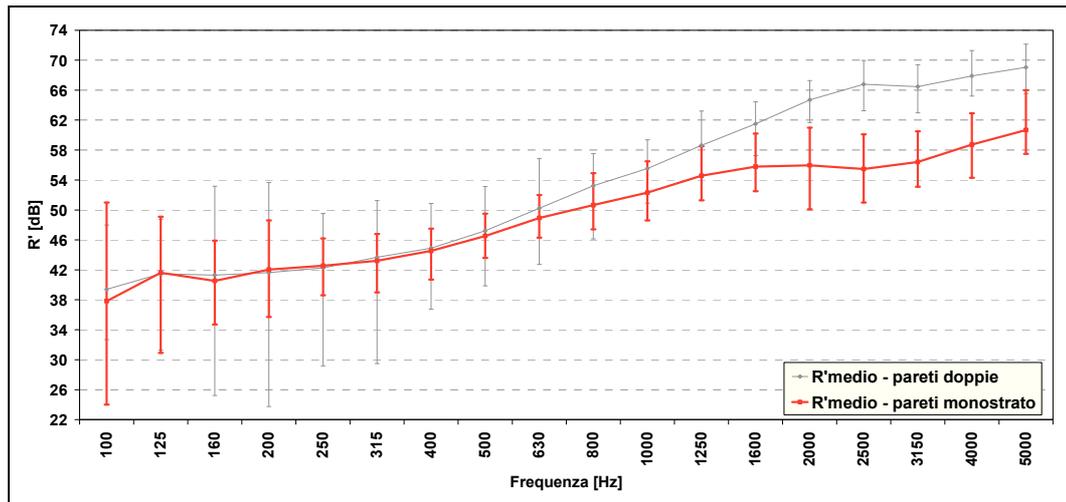


Figura 11: confronto tra l'andamento in frequenza del potere fonoisolante medio, con indicazione delle barre di massimo e di minimo, per le pareti doppie e per le pareti monostrato

1.2.5 Risultati livello di rumore di calpestio

In totale sono state considerate 11 configurazioni di prova, per ognuna delle quali sono stati testati 2 solai e per ogni solaio sono state effettuate 2 misurazioni di isolamento, per un totale di 22 solai testati e 44 misurazioni effettuate. Le prove sono state effettuate in due differenti blocchi (Blocchi 4 e 5) dello stesso complesso residenziale.

I solai testati erano costituiti da solaio grezzo in laterocemento 20+4 e pavimento galleggiante, con pavimentazione in parquet e battiscopa in legno. La sezione dettagliata del solaio tipo è riportata nella figura seguente.

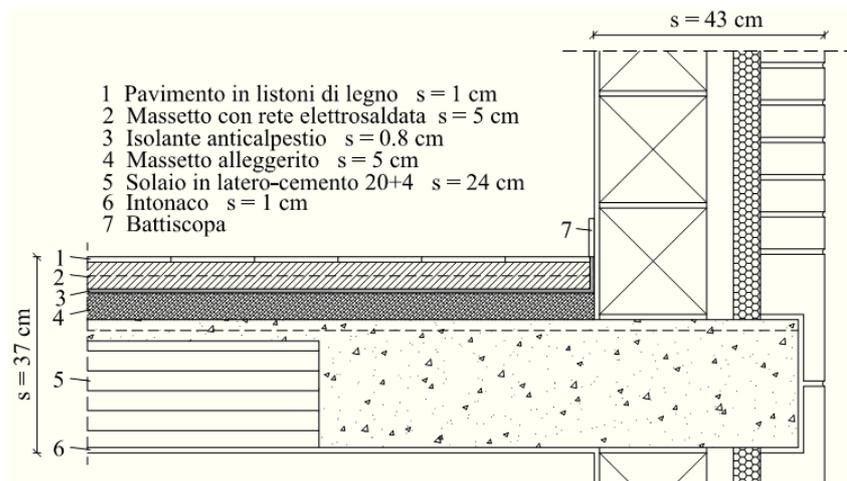


Figura 12: pacchetto tipo di solaio presente tra due unità immobiliari

In Figura 13 è riportato l'andamento in frequenza del livello di rumore di calpestio medio L'_n , con indicate le barre di valore massimo e di valore minimo. Nella Figura 14 sono riportati i valori dell'indice di valutazione del livello di calpestio per tutti i solai, espresso in dB.

Le misurazioni in opera hanno portato a risultati tutti conformi al limite legislativo: poco meno della metà dei solai ha ottenuto un indice di valutazione compreso tra 49 e 53 dB, l'altra metà ha ottenuto valori compresi tra 54 e 57 dB. Entrambi i grafici mostrano un andamento simile per tutti i solai specialmente alle medie e alte frequenze, le differenze maggiori sono presenti alle basse frequenze.

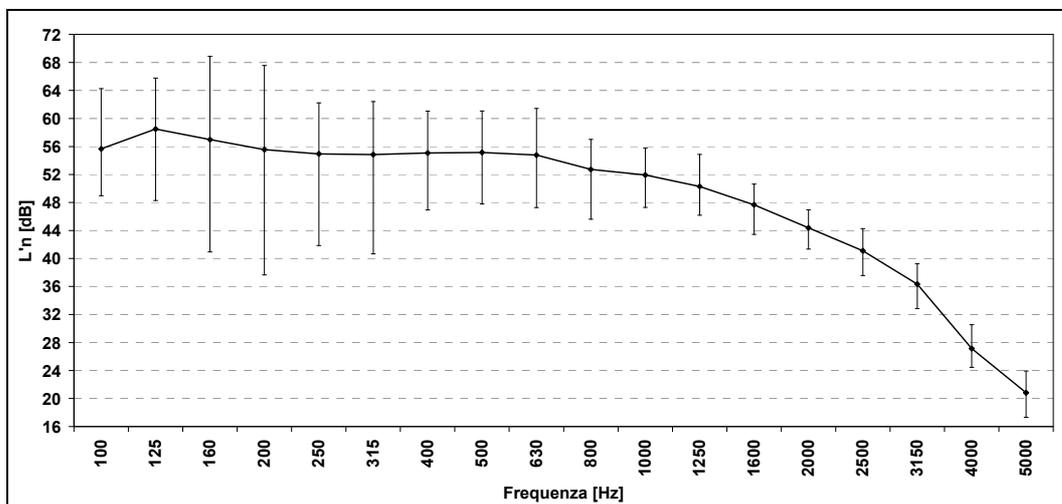


Figura 13: andamento in frequenza del livello di calpestio medio L'_n , con indicate le barre di massimo e di minimo

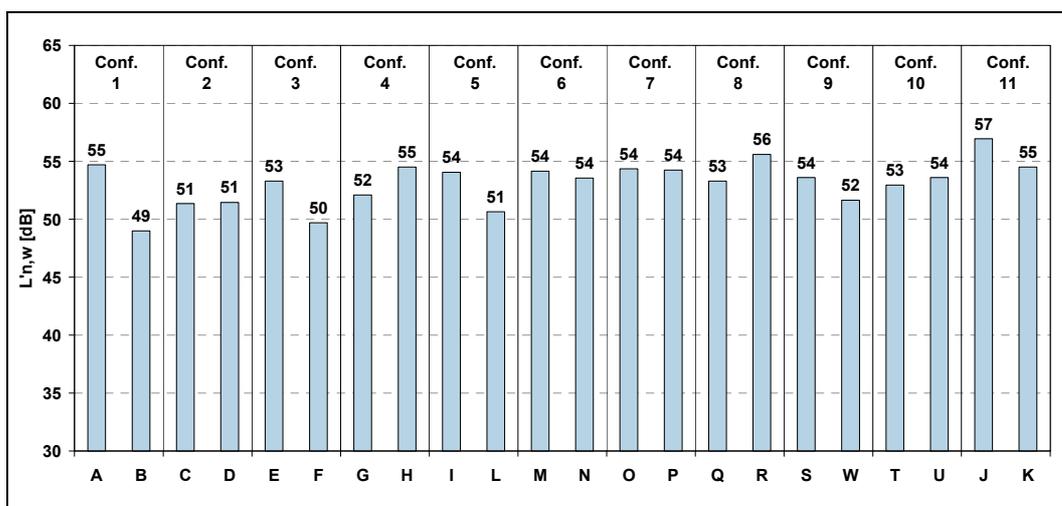


Figura 14: valori dell'indice di valutazione del livello di calpestio ottenuti per i solai testati, suddivisi per configurazioni di prova

I diversi contributi alla variabilità, dovuti alle condizioni al contorno, alla posa in opera e all'errore casuale associato all'operatore, sono riportati nella tabella e nella figura seguenti.

In termini di indice di valutazione (Tabella 3), la variabilità massima (scarto tipo di riproducibilità) dipende esclusivamente dalla variabilità della posa in opera. La variabilità riferita alle condizioni al contorno è dello stesso ordine di grandezza della ripetibilità, prossima allo zero.

In merito al contenuto in frequenza (Figura 15) l'andamento è quasi il medesimo: sopra i 200 Hz la variabilità totale dipende esclusivamente dalla posa in opera.

Dal grafico si nota che la variabilità dovuta alle condizioni al contorno è pari a zero tra 200 e 800 Hz, il motivo è da ricercare nell'analisi statistica. La normativa UNI ISO 5725-2 [15], a cui si riferisce la UNI ISO 5725-3 [12] utilizzata per il caso in esame, contempla la possibilità di escludere i valori anormali o dispersi dal calcolo della varianza, attraverso l'utilizzo di specifici test numerici (test di Cochran, test di Grubbs, statistica h e k di Mandel). Per questa ragione alcuni valori compresi tra 200 e 800 Hz dovrebbero essere esclusi. Tuttavia lo scopo dell'utilizzo di questo esperimento statistico non è di valutare la variabilità di un metodo di misura, ma di determinare la variabilità dovuta alla posa in opera. In questo caso tutti i valori anormali o dispersi sono dovuti ad una elevata differenza (nell'intervallo tra 200 e 800 Hz) tra alcuni campioni appartenenti alla stessa configurazione di prova, probabilmente causati da differenze nel montaggio degli stessi. Questa approssimazione ha provocato alcuni errori nei risultati nel campo di frequenze tra 200 e 800 Hz, per cui è stato deciso di massimizzare la deviazione standard dovuta alla posa in opera, allo scopo di enfatizzare la reale fonte di variabilità. L'effetto di tale operazione è stata la minimizzazione della variabilità dovuta alle condizioni al contorno.

Tabella 3: valore dell'indice di valutazione medio $L'_{n,W,medio}$, dello scarto tipo di riproducibilità e dei diversi contributi dello scarto tipo

$L'_{n,W,medio}$ [dB]	S_R [dB]	$S_{(0)}$ [dB]	$S_{(1)}$ [dB]	S_r [dB]
	<i>Variabilità massima</i>	<i>Variabilità condizioni al contorno</i>	<i>Variabilità posa in opera</i>	<i>Variabilità replicazione misure</i>
53	1.9	0.3	1.9	0.2

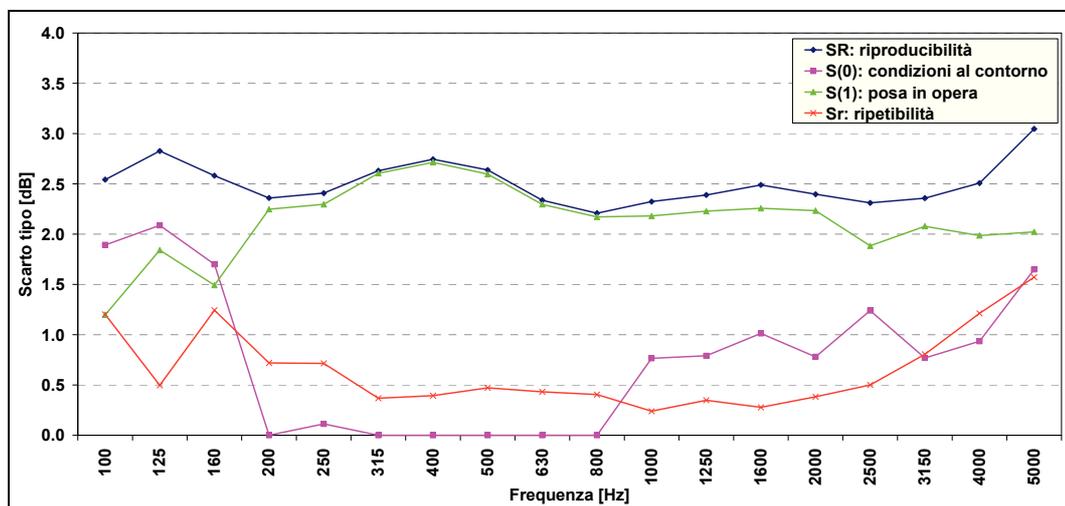


Figura 15: valori dello scarto tipo di riproducibilità e dei diversi contributi riferiti all'andamento in frequenza del livello di calpestio medio

Anche in questo caso, come per l'isolamento al rumore aereo, i risultati ottenuti sono abbastanza buoni. La variabilità totale (scarto tipo di riproducibilità) è inferiore rispetto alle pareti, però dipende interamente dal contributo di variabilità della posa in opera.

Tale risultato è in linea con le attese, infatti la realizzazione di un pavimento galleggiante si presta maggiormente a possibili errori di posa rispetto alla realizzazione di una parete doppia: eventuali lacerazioni del materiale anticlastico, mancanza di continuità della fascetta perimetrale specialmente negli angoli e sotto le soglie delle portefinestre, spessori di massetto galleggiante diversi rispetto a quelli di progetto sono solo gli esempi degli errori di posa più comuni.

1.3 L'approccio alla problematica della posa in opera a livello europeo

Negli ultimi anni a livello europeo è cresciuta la sensibilità al problema della differenza tra i risultati previsti a livello progettuale e i risultati effettivamente ottenuti in opera. Una delle cause principali di tale variabilità, come illustrato nel dettaglio nel paragrafo precedente, è riferita alla posa in opera.

In questo contesto si inserisce sia un progetto europeo (*COST Action TU0901* [10]) atto a regolamentare e armonizzare gli aspetti principali dell'acustica edilizia tra i vari Paesi, sia l'impegno dei Paesi stessi a fornire strumenti per ridurre l'influenza della posa in opera.

L'approccio di molti Paesi è stato l'emanazione di manuali o linee guida, caratterizzati da indicazioni atte a ridurre il più possibile l'influenza della posa in opera sui risultati attesi.

Questi manuali solitamente presentano, per ogni requisito, una serie di soluzioni conformi più o meno elaborate in funzione della prestazione che si vuole ottenere in opera. Queste soluzioni sono di aiuto prettamente ai progettisti.

Spesso sono riportate anche indicazioni, più o meno dettagliate, di posa in opera corretta e di posa in opera errata, corredate da schemi, dettagli costruttivi e, a volte, da fotografie. In altri casi si fornisce esclusivamente la robustezza delle diverse soluzioni, intesa come la capacità di un elemento tecnico ad essere influenzato dalla variabilità della posa in opera.

Nel caso della Spagna, dell'Inghilterra e del Galles, le linee guida riportano anche delle checklist per le tipologie di soluzioni costruttive più comuni. Le checklist sono schede, la cui compilazione spetta solitamente al direttore dei lavori, utilizzate per verificare che la posa in opera di un dato elemento tecnico sia stata eseguita in maniera ottimale in tutte le sue fasi.

Di seguito è riportata una breve descrizione dei principi e degli obiettivi del progetto europeo e delle linee guida o manuali realizzati in alcuni Paesi (Spagna, Scozia, Inghilterra e Galles, Francia).

1.3.1 Progetto europeo COST Action TU0901

La COST è un quadro intergovernativo, finanziato a livello europeo, che favorisce la cooperazione tra scienziati e ricercatori in tutta Europa su uno specifico progetto (chiamati *Actions*).

In riferimento all'acustica edilizia, la *COST Action TU0901* [10] si pone il duplice obiettivo di armonizzare i descrittori dell'isolamento acustico per via aerea, del rumore da calpestio e dell'isolamento acustico di facciata, e di preparare uno schema di classificazione acustica a livello europeo.

All'interno di questa *Action*, sono presenti tre gruppi di lavoro, uno dei quali (il Gruppo di Lavoro 3 o *WG3*) affronta la problematica delle soluzioni costruttive e della posa in opera.

Il *WG3* è riferito infatti alla progettazione e alla prestazione acustica degli elementi costruttivi, sia per nuovi edifici che per edifici esistenti. In questo senso il *WG3* sta sviluppando il "Progetto Mosaico", che si prefigge di raccogliere informazioni sulle soluzioni costruttive e sulle loro prestazioni acustiche, per ogni Paese europeo partecipante. Lo scopo è la redazione di un database europeo in cui sono selezionate le soluzioni costruttive più "robuste", cioè, come spiegato in precedenza, meno soggette a potenziali errori di posa in opera.

1.3.2 Spagna – "Guida de Aplicacion del DB HR"

In Spagna sono state pubblicate delle importanti linee guida [16] di applicazione del *Documento Básico HR – Protección frente al ruido*, che contengono criteri di impiego dei materiali e di realizzazione delle tecnologie, utili ai tecnici che devono affrontare il processo edificatorio dal punto di vista della protezione dal rumore. Queste indicazioni tengono conto delle differenze che insorgono fra la fase progettuale e la fase di posa in opera.

La prima parte delle linee guida commenta il *Documento Básico*, che contiene i limiti previsti dalla legislazione spagnola definendo le procedure di verifica dei requisiti di protezione da rumore in materia di acustica edilizia. La seconda parte consiste in un serie di schede che racchiudono le informazioni relative agli elementi costruttivi.

Le schede sono di due tipologie: le prime riguardano i sistemi costruttivi nel loro complesso, le seconde riguardano i singoli elementi.

Le schede sui sistemi costruttivi contengono disegni, informazioni sugli elementi di giunzione e indicazioni sulla posa in opera, relativamente alle soluzioni più comuni presente nel contesto costruttivo spagnolo. Ad esempio, in funzione della tipologia di parete (pareti pesanti, pareti leggere, pareti prefabbricate, etc.) viene indicata la massa superficiale, lo spessore e il potere fonoisolante del pannello da impiegare e le modalità di posa in opera per garantire un determinato isolamento acustico complessivo della parete. Lo stesso tipo di indicazioni sono riportate anche per i solai e per gli elementi di facciata (serramenti, porte e cassonetti). Non viene fatto esplicito riferimento al rumore degli impianti a ciclo continuo e discontinuo.

Per ogni elemento costruttivo sono poi riportati gli errori di posa in opera da evitare e buoni accorgimenti per prevenire ponti acustici.

Infine, sempre per ogni elemento costruttivo, sono predisposte delle schede di controllo (checklist) con verifiche da eseguire ante-operam, in corso d'opera e post-operam.

Questo sistema di progettazione e controllo della posa in opera permette di garantire al progettista il rispetto dei limiti normativi previsti e fornisce una garanzia della qualità del comfort acustico.

Di seguito (Figura 16, Figura 17 e Figura 18) si riporta un esempio di scheda tecnica di esecuzione, errori di posa da evitare e di relativa checklist, relativamente ad un pavimento galleggiante.

Ficha SF-01.a. EJECUCIÓN	
SUELOS FLOTANTES: De mortero de cemento Material aislante a ruido de impactos: Lana mineral (LM), poliestireno elastificado, EEPS y láminas multicapa.	
<p style="text-align: center;">1-2</p> <p style="text-align: center;">3-4</p> <p style="text-align: center;">5</p> <p style="text-align: center;">6</p> <p style="text-align: center;">7-8</p>	Fases de la ejecución: <ol style="list-style-type: none"> 1. Los suelos flotantes se ejecutarán una vez que se haya llevado a cabo la ejecución de los cerramientos verticales de separación entre unidades de uso diferentes. 2. La superficie del forjado³ debe encontrarse lisa y seca. Se barrerá el forjado de forma que no haya restos de obra ni imperfecciones significativas sobre él, que puedan deteriorar el material aislante a ruido de impactos en el momento del vertido del mortero. Si existen huecos en el forjado, estos deben rellenarse con mortero pobre o con arena, con el fin de que la superficie del forjado quede lisa. Si en el proyecto estuviera previsto que las instalaciones discurrieran bajo el material aislante a ruido de impactos, se colocarán las tuberías de instalaciones y se colocará una capa niveladora, por ejemplo de arena o mortero pobre. Véase detalle SF-01-Ci4. 3. Se colocará un zócalo de material aislante en todo el perímetro del recinto hasta una altura 5 cm. superior a la altura de la solera que esté prevista instalar. También se instalará ese zócalo en los pilares y tuberías que atraviesen el suelo flotante. 4. Se colocará el material aislante a ruido de impactos cubriendo toda la superficie del recinto. Acometiendo al zócalo perimetral. Los paneles se colocaran a tope y si fuera preciso se sellarán conforme a las especificaciones del fabricante del material aislante a ruido de impactos. 5. Se colocará un film impermeable a matajuntas sobre el material aislante a ruido de impactos de forma que se evite el contacto directo entre el mortero y el suelo. Este film es necesario si el material aislante a ruido de impactos es poroso o sus juntas no están selladas. Se efectuará un solape de 5 cm. entre distintos paños del film. Dicho film también cubrirá el zócalo vertical perimetral. 6. Se colocarán el mallazo de reparto y si así estuviera previsto, los conductos de instalaciones. Se verterá el mortero encima del film plástico sin que llegue a entrar en contacto con los cerramientos verticales perimetrales del recinto. Los conductos que vayan sobre el suelo se revestirán de un material elástico y no estarán en contacto directo con el forjado. 7. Una vez seca la solera, se cortará a ras el zócalo vertical del material aislante a ruido de impactos y del film plástico. 8. Se cubrirá toda la superficie con el acabado final sin que éste llegue a tocar directamente a los cerramientos verticales. El rodapié no puede conectar el suelo y la partición, para ello se colocará en su base un sellado de un material elástico, como por ejemplo, un cordón de silicona. (Véase detalle SF-01-P)

Figura 16: esempio di una scheda tecnica, estratta dalle Linee Guida spagnole [16], con elencate le fasi di esecuzione di un pavimento galleggiante

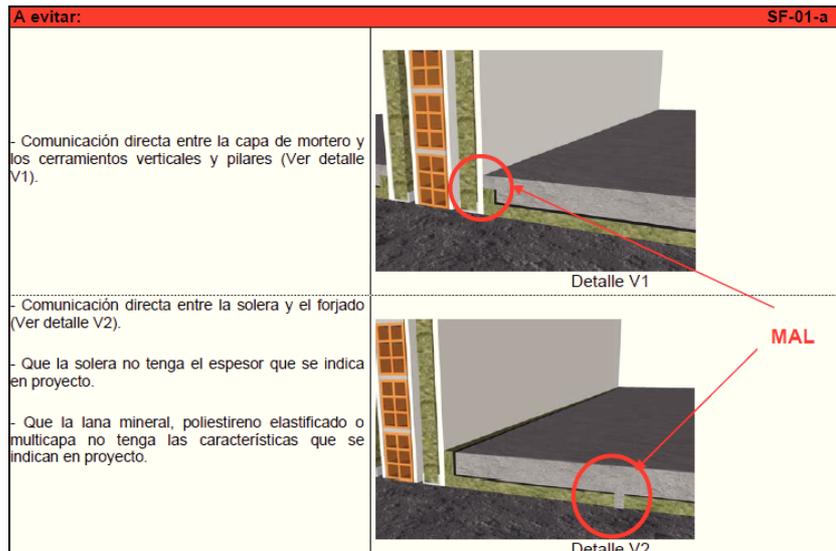


Figura 17: parte di una scheda, estratta dalle Linee Guida spagnole [16], relativa a due errori da evitare nella posa del pavimento galleggiante

Ficha SF-01.a			
CONTROL DE EJECUCIÓN			
Suelo flotante con lana mineral (LM), poliestireno elastificado, EEPS, multicapas.			
Obra:	Fecha:		
Recintos:			
Condiciones	SI	NO	Observaciones
Antes de la ejecución			
Los materiales que componen el suelo flotante se encuentran en perfecto estado			
Los cerramientos verticales que delimitan cada unidad de uso están ejecutados, o si son de fábrica, se han ejecutado al menos las 2 primeras hiladas.			
Si corresponde, se ha ejecutado la tabiquería			
La superficie del forjado está limpia, seca y sin irregularidades significativas.			
Durante la ejecución			
Si en el proyecto las instalaciones van bajo el material aislante a ruido de impactos, se ha colocado una capa niveladora de arena, mortero pobre, etc.			
Los paneles de LM, EEPS o multicapa se han colocado a tope y cubren toda la superficie del forjado, así como el zócalo perimetral.			
El zócalo perimetral de material aislante a ruido de impactos sobresale al menos 5 cm por encima de la altura de la solera que se va a instalar			
El film plástico cubre toda la superficie del suelo, así como el zócalo perimetral.			
Antes de verter la solera de mortero, la superficie del film se ha colocado a matajuntas y no sufre roturas.			
Las instalaciones que van por el suelo no están en contacto directo con el forjado			
La solera de mortero no entra en contacto directo con los cerramientos verticales.			
La solera tiene el espesor que se indica en proyecto.			
Después de la ejecución			
La solera y el acabado de suelo final no están en contacto directo con cerramientos verticales de separación de distinta unidad de uso, fachadas, y/o pilares.			

Figura 18: esempio della checklist relativa alla posa del pavimento galleggiante, estratta dalle Linee Guida spagnole [16]

1.3.3 Scozia – “*Example constructions and generic internal constructions – For use with section 5: noise of the technical handbooks*”

In Scozia la Building Standard Division del governo ha pubblicato delle linee guida [17] con lo scopo di racchiudere una serie di esempi delle soluzioni costruttive più comuni di pareti esterne, pareti divisorie interne e solai. Anche in questo caso gli impianti a ciclo continuo e discontinuo non vengono presi in considerazione.

Queste linee guida garantiscono le prestazioni richieste nel capitolo 5 del *Technical Handbooks* [18] per gli elementi costruttivi sopra citati, tenendo in considerazione anche i giunti di collegamento con gli elementi adiacenti.

A tal proposito, gli esempi costruttivi contenuti nelle linee guida scozzesi sono stati concepiti secondo tre principi fondamentali:

- la riduzione del rumore strutturale trasmesso in orizzontale attraverso pareti divisorie e generato, per esempio, da interruttori o chiusura di porte;
- la riduzione della trasmissione del rumore attraverso solai con struttura in legno;
- la riduzione della trasmissione laterale attraverso gli elementi costruttivi adiacenti all'elemento divisorio, per esempio lo strato interno della parete di facciata.

Nelle linee guida scozzesi, analogamente alle linee guida spagnole, sono riportate delle schede tecniche contenenti disegni di dettagli costruttivi e indicazioni sulle modalità di posa in opera (in particolare sugli errori da evitare). A differenza però della Spagna, sono assenti le checklist relative alle modalità di verifica dell'esecuzione in opera.

A titolo di esempio di seguito si riporta lo schema costruttivo di una parete piena in muratura (Figura 19) e di una delle sue applicazioni in caso di giunto laterale d'angolo (Figura 20).

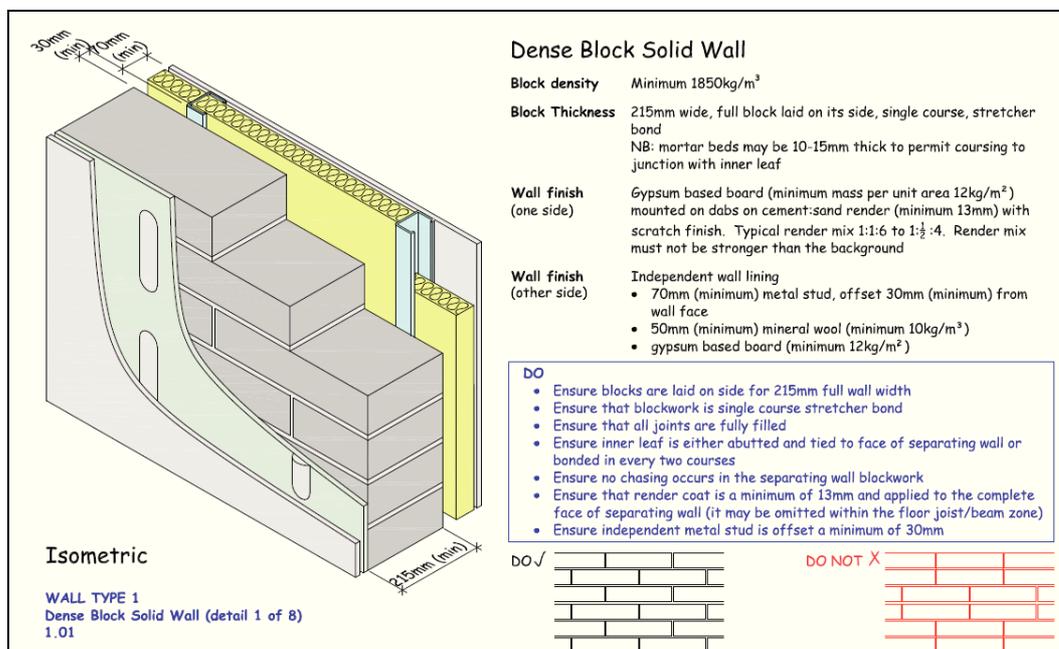


Figura 19: esempio di una scheda di corretta esecuzione di una parete pesante monostrato con controparete, estratta dalle Linee Guida scozzesi [17]

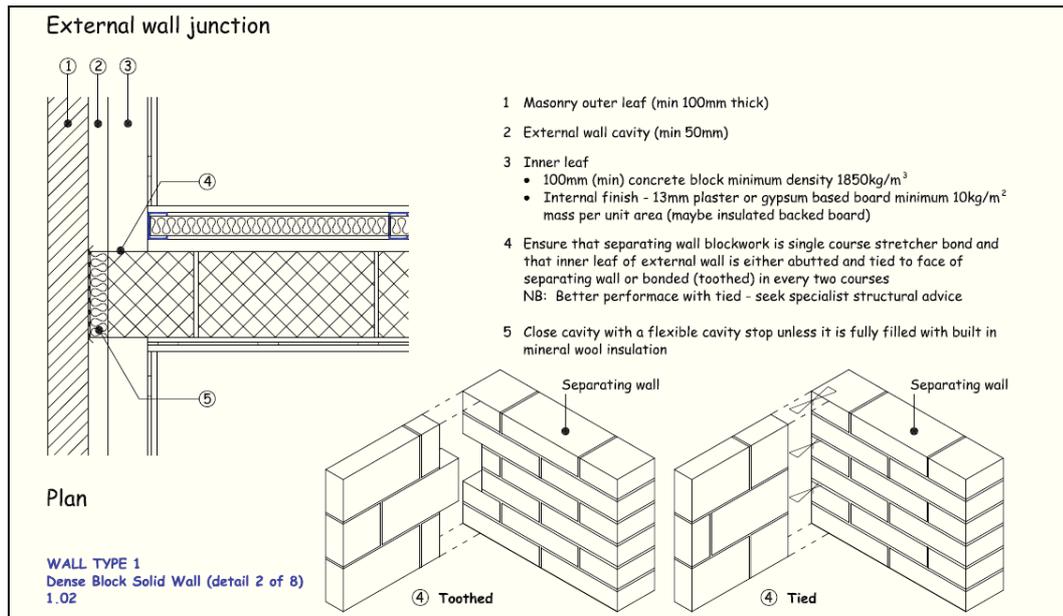


Figura 20: esempio di una scheda di corretta esecuzione del giunto tra la parete pesante sopra citata e la parete esterna di facciata, estratta dalle Linee Guida scozzesi [17]

1.3.4 Inghilterra e Galles – “Robust Details Certification Scheme”

Parallelamente alla Scozia, in Inghilterra e in Galles il gruppo di lavoro *Robust Details Limited (RDL)* [19], con l’approvazione del ministero responsabile della regolamentazione edilizia, ha elaborato una serie di dettagli costruttivi (*Robust Details Certification Scheme*) in grado di garantire prestazioni in accordo con la parte E del manuale di regolamentazione edilizia (*Building Regulations* [20]).

Questi dettagli costruttivi sono stati concepiti per creare elementi con prestazioni acustiche superiori a quelle previste dal *Building Regulations*, e di pratica realizzazione da parte della manodopera (soluzioni quindi meno soggette ad errori di posa in opera).

Analogamente alla situazione spagnola, sono state predisposte delle checklist da compilare sia in corso d’opera che a posteriori, in grado di garantire una corretta posa in opera degli elementi.

Di seguito si riporta l’esempio di una scheda tecnica per la corretta esecuzione di una parete leggera (Figura 21) con la relativa checklist (Figura 22).

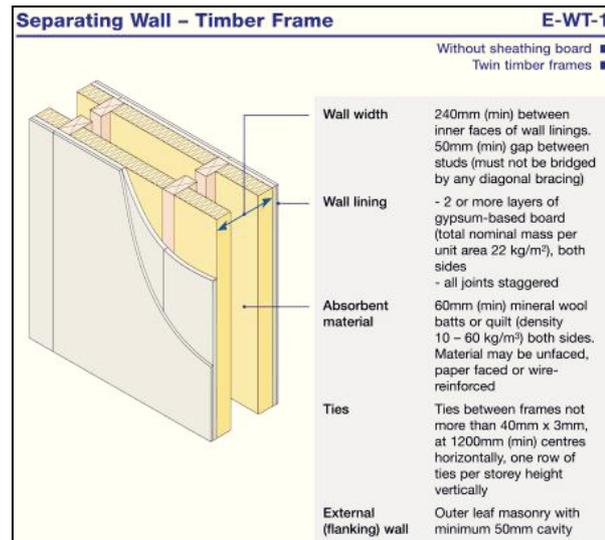


Figura 21: esempio di indicazione di esecuzione di una parete leggera, estratta dal “*Robust Details Certification Scheme*” di Inghilterra e Galles [19]

Separating Wall - Timber Frame		E-WT-1	
CHECKLIST (to be completed by site manager/supervisor)			
Company: _____			
Site: _____			
Plot: _____		Site manager/supervisor: _____	
Ref.	Item	Yes (✓)	No (✓) Inspected (initials & date)
1.	Are wall linings at least 240mm apart?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Is absorbent material at least 60mm thick?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Does absorbent material cover whole lining area except above ceiling line in roof void zone?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Are all joints in wall lining staggered?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Is separating wall lining correct mass per unit area on both sides?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Are all joints sealed with tape or caulked with sealant?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Are services installed in accordance with sketches 9.1 and 9.2?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	If there is a separating floor (e.g. in flats/apartments) has the resilient flanking strip been provided?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Is separating wall satisfactorily complete?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Notes (include details of any corrective action)			

Figura 22: esempio di una checklist relativa alla posa della parete leggera della figura precedente, estratta dal “*Robust Details Certification Scheme*” di Inghilterra e Galles [19]

1.3.5 Francia – “*Exemple de solutions acoustiques – Règlamentation acoustique 2000*”

In Francia nel maggio 2002 la *Direction Générale de l’Urbanisme de l’Habitat de la Costrucion* col documento “*Exemple de solutions acoustiques – Règlamentation acoustique 2000*” [21] ha definito una serie di soluzioni

costruttive di supporto alla progettazione in conformità con la nuova regolamentazione edilizia.

Le soluzioni proposte prendono in considerazione l'incertezza legata alle prestazioni effettive dei prodotti, l'imperfezione dei metodi previsionali impiegati e la variazione delle performance legate alla posa in opera ipotizzando una realizzazione a regola d'arte.

Il documento si divide in due parti.

La prima riporta esempi di dettagli costruttivi, prendendo in considerazione tutto il nucleo abitativo, definiti a partire da una soluzione di base, alla quale poi vengono aggiunte modifiche in relazione ai requisiti da soddisfare. I requisiti cui si fa riferimento sono l'isolamento al rumore aereo e di facciata, il livello di rumore di calpestio e degli impianti. Vengono proposte anche soluzioni per il trattamento di pareti di parti comuni degli edifici come i vani scala e corridoi, e anche indicazioni sui vani ascensore

La seconda parte del documento riporta le prestazioni dei singoli elementi utilizzati negli esempi costruttivi della prima parte. La qualità acustica degli elementi (o dei sistemi) è indicata in base ad una scala di performance crescente (da ESA1 a ESA6). La scala "ESA" è stata scelta in modo che un prodotto ESA4, posato in maniera corretta, porta ad una performance in linea con i limiti di legge.

L'unico accenno alla posa in opera è il grado di difficoltà di realizzazione, indicato con delle crocette rosse riportate in calce alle tabelle: i gradi di difficoltà sono tre, dall'elemento meno robusto, cioè più soggetto ad errori di posa (☒), all'elemento più robusto (☒☒☒).

Type	Produit caractérisé au choix par		
	Certification NF "Entrées d'air"	Essai de type de moins de 10 ans	Description
ESA 4	$36 \leq D_{n,ew} + C_{tr}$	$38 \leq D_{n,ew} + C_{tr}$	—
ESA 5	$39 \leq D_{n,ew} + C_{tr}$	$41 \leq D_{n,ew} + C_{tr}$	—

La notion "Essai de type..." suppose que l'essai a été réalisé par un laboratoire accrédité reconnu par le COFRAC, suivant les normes en vigueur.

Difficulté pour obtenir une mise en œuvre conforme : ☒☒

Figura 23: esempio di scheda presente nella seconda parte del documento francese "Exemple de solutions acoustiques – Règlementation acoustique 2000" [21], relativa alle prestazioni che devono avere i dispositivi per fori di ventilazione per ottenere prestazioni di base (ESA4) o superiori (ESA5)

1.4 Raccolta degli errori di progetto e di posa più comuni per ogni requisito

Il progettista e il direttore dei lavori sono tra le figure professionali più importanti all'interno di un processo costruttivo, ed è quindi di fondamentale importanza che entrambi siano a conoscenza delle potenziali criticità acustiche dovute ad un'errata progettazione o ad un'errata posa in opera.

Nel nostro contesto edilizio non sono attualmente presenti documenti ufficiali di aiuto alla progettazione e alla posa, relativi specificamente all'acustica edilizia. Il

panorama è difatti piuttosto frammentato, tra normative tecniche di settore, manuali di corretta posa di ditte specializzate e articoli scientifici.

Allo scopo di fornire strumenti adeguati per evitare la scelta delle soluzioni più critiche dal punto di vista acustico e per limitare gli effetti della posa, è stata studiata una casistica il più possibile esaustiva degli errori di progetto e di posa.

La casistica riportata di seguito è riferita ad ognuno dei requisiti acustici passivi definiti nella legislazione italiana. Si è cercato di considerare le soluzioni costruttive più frequenti nel nostro contesto costruttivo, soprattutto in merito all'edilizia residenziale.

Ad esempio l'utilizzo di pareti doppie o pareti monostrato rappresenta la soluzione tecnologica largamente più usata per la separazione tra due unità immobiliari. Così come il solaio in laterocemento accoppiato ad un pavimento galleggiante, oppure, per le facciate, serramenti in legno e/o PVC, con e senza cassonetto. La collocazione delle tubazioni di scarico all'interno di cavedi, analogamente, rappresenta la metodologia più impiegata per ridurre il rumore degli impianti.

Tutti questi elementi tecnici sono stati studiati in maniera approfondita, ricercando tutti i possibili errori di progetto e di posa, fornendo anche raccomandazioni progettuali e indicando le metodologie per una corretta esecuzione in opera.

Nella casistica tuttavia sono stati considerati, in maniera più sommaria, anche gli errori più comuni che caratterizzano elementi tecnici meno rappresentativi, come ad esempio le pareti leggere e i solai in acciaio misto legno.

Ad ogni errore riportato nelle tabelle sottostanti è associata una descrizione più dettagliata nell'Allegato, corredata spesso di disegni e/o fotografie frutto di prove e sopralluoghi eseguiti in opera, in diversi contesti edilizi.

In taluni casi, in assenza di materiale fotografico e tecnico, sono stati utilizzati particolari costruttivi o fotografie estrapolate da manuali tecnici di ditte specializzate, da normative di settore oppure da linee guida di altri Paesi europei.

Una delle peculiarità più interessanti della casistica riportata nell'Allegato è la presenza di misurazioni o sperimentazioni eseguite in opera, allo scopo di verificare quanto un determinato errore influisce sui risultati finali. I risultati riportati sono riferiti esclusivamente all'elemento singolo o all'insieme degli elementi tecnici misurati, non hanno quindi valore statistico. Tuttavia possono fornire all'addetto ai lavori un'idea approssimativa della penalizzazione che potrebbe comportare una certa tipologia di errore.

1.4.1 Isolamento al rumore aereo – errori di posa e di progetto

La frequenza maggiore di errori, di posa e di progetto, si riscontra solitamente nelle pareti divisorie tra unità immobiliari distinte. In merito ai solai, gli errori che possono compromettere l'isolamento al rumore aereo sono generalmente gli stessi che possono incrementare il livello di rumore di calpestio. Per questo motivo nel presente paragrafo sono trattate solamente le pareti, mentre i solai sono trattati nel paragrafo relativo al calpestio.

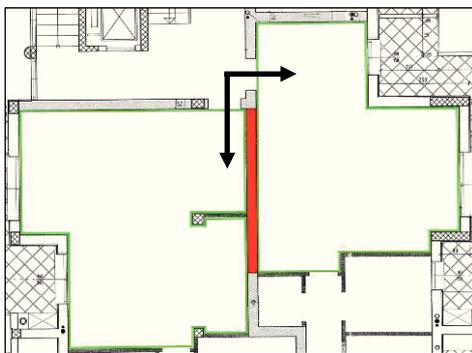
Dal punto di vista progettuale, gli errori più comuni riguardano soprattutto la mancata adozione di accorgimenti atti alla riduzione della trasmissione laterale del rumore tra due ambienti. Errori tipici sono, ad esempio, l'assenza della trave rompitratta in cima ad una parete divisoria, oppure la continuità di una parete laterale tra due ambienti.

In merito agli errori di posa, i problemi principali sono dovuti all'insorgenza di ponti acustici dovuti a tracce eccessive nella parete e, soprattutto, all'assenza (o presenza parziale) di malta cementizia in alcuni punti critici. L'esempio più comune è la mancata posa di malta nei giunti verticali.

Per quanto riguarda le porte di ingresso, l'isolamento acustico è stato spesso sottovalutato in quanto non considerato tra i requisiti del DPCM 5/12/97 [1].

Nella normativa UNI 11367 [4] sulla classificazione acustica degli edifici si fa invece esplicito riferimento all'isolamento acustico normalizzato rispetto ad *“ambienti accessori di uso comune o collettivo dell'edificio collegati mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi di una unità immobiliare”* (UNI 11367, Cap. 6.1, lettera i). Anche se tale tipologia di isolamento non rientra nella valutazione della classificazione acustica, in appendice B della normativa stessa sono descritte le metodologie di calcolo (con riferimento alla normativa UNI EN ISO 140-14 [22]) e sono suggeriti dei valori di riferimento, in funzione della destinazione d'uso e del livello prestazionale che si intende ottenere.

La prestazione acustica di una porta di ingresso è importante soprattutto per la protezione dal rumore proveniente da vani comuni, tuttavia potrebbe anche



influenzare l'isolamento acustico tra due distinte unità immobiliari, con una parete divisoria in comune. E' il caso, piuttosto frequente, di due unità immobiliari con due ambienti abitativi divisi da una parete e prospicienti sullo stesso pianerottolo, senza la presenza di zone di ingresso o zone filtro. Un esempio di questa configurazione è riportato nella figura a fianco. Se l'isolamento acustico delle porte di ingresso

è insufficiente nasce il problema del rumore passante attraverso le porte stesse, che potrebbe compromettere l'isolamento acustico tra i due ambienti, anche a fronte di una parete divisoria con ottime prestazioni.

In Tabella 4 e Tabella 5 è riportato un elenco degli errori di progetto e di posa in opera più frequenti, per le diverse tipologie di elementi tecnici.

Tabella 4: elenco degli errori di progetto più comuni per il requisito di isolamento al rumore aereo di pareti

ERRORI DI PROGETTO – ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO DI PARETI		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 1.1.1	Parete pesante	Assenza della trave rompitratta nel giunto parete – solaio
A 1.1.2	Giunto facciata – parete pesante	Strato interno della facciata non interrotto in corrispondenza del giunto con la parete divisoria
A 1.1.3	Parete pesante	Tracce impiantistiche realizzate in maniera simmetrica su ambo i lati della parete
A 1.1.4	Parete leggera divisoria	Controsoffitto continuo in corrispondenza con la parete divisoria

Tabella 5: elenco degli errori di posa più comuni per il requisito di isolamento al rumore aereo di pareti

ERRORI DI POSA – ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO DI PARETI		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 1.2.1	Parete pesante	Assenza o quantità limitata di malta cementizia nei giunti verticali (per le pareti che la richiedono)
A 1.2.2	Parete pesante	Materiale fonoassorbente non continuo all'interno dell'intercapedine
A 1.2.3	Parete pesante	Tracce impiantistiche troppo profonde e non adeguatamente riempite con malta cementizia
A 1.2.4	Parete pesante	Spessore troppo esiguo o assenza del terzo intonaco su un lato dell'intercapedine delle pareti doppie (se prescritto in sede progettuale)
A 1.2.5	Parete pesante	Fascia tagliamuro, utilizzata per desolidarizzare le pareti dal solaio, posta alla base di pareti pesanti e/o posata senza lasciare almeno 2 cm di bordo libero dalla parete soprastante
A 1.2.6	Parete pesante	Blocchi ad incastro non perfettamente uniti tra loro
A 1.2.7	Controparete su telaio metallico	Connessione rigida del telaio metallico alla parete divisoria
A 1.2.8	Giunto parete divisoria – tetto inclinato	Presenza di aperture o fessure tra la parete e il tetto
A 1.2.9	Porta di ingresso	Presenza di intercapedini o fessure non adeguatamente riempite o sigillate – regolazione non adeguata della porta

1.4.2 Isolamento acustico di facciata – errori di posa e di progetto

Dai collaudi svolti in diversi contesti costruttivi è emerso che l'isolamento acustico di facciata risulta essere il parametro in cui si rilevano maggiori difficoltà nel raggiungimento in opera della prestazione prevista in sede progettuale.

Tale difficoltà è dovuta soprattutto ad errori di posa in opera dei serramenti, che rappresentano il punto debole dell'intera facciata. Il montaggio di un serramento con buone prestazioni in laboratorio, se eseguito in maniera errata in opera potrebbe portare a risultati molto diversi rispetto al valore atteso.

Per questi motivi l'UNI ha predisposto le Linee Guida UNI 11296 [23], che forniscono sia indicazioni di corretta posa in opera per i serramenti che suggerimenti per la selezione degli elementi di facciata potenzialmente più prestanti dal punto di vista acustico. Alcune delle indicazioni contenute nel presente paragrafo fanno riferimento a queste Linee Guida.

Riguardo all'aspetto progettuale, gli errori più frequenti sono riferiti soprattutto alla scelta di elementi tecnici o di materiali senza caratteristiche fonoisolanti, per esempio la scelta di fori di ventilazione senza silenziatore, oppure la scelta di cassonetti non adeguatamente isolati dal punto di vista acustico.

In merito alla posa in opera, uno degli errori più frequenti è rappresentato dalla mancata regolazione dei serramenti, oppure da una regolazione eseguita in maniera approssimativa. Altri errori riguardano per esempio difetti nel montaggio della parte fissa del serramento oppure l'assenza di sigillature adeguate sul perimetro dei telai e dei vetri.

Anche la posa in opera errata della parete esterna o di altri elementi di facciata (per esempio i fori di ventilazione delle cucine) assume una certa importanza, soprattutto a fronte di un serramento montato in maniera corretta e di prestazioni abbastanza elevate.

In Tabella 6 e Tabella 7 è riportato un elenco degli errori di progetto e di posa in opera più frequenti, per le diverse tipologie di elementi tecnici di una facciata.

La presenza di uno o più di questi errori diventa particolarmente importante per edifici con destinazione d'uso ospedaliera o scolastica, in cui i valori limite del DPCM 5/12/97 [1] sono molto elevati (rispettivamente 45 dB per gli ospedali e 48 dB per le scuole).

E' importante altresì specificare che un eventuale intervento a posteriori di sistemazione del serramento o di altri elementi di facciata è molto meno oneroso rispetto ad altri requisiti, e può produrre comunque risultati significativi.

Tabella 6: elenco degli errori di progetto più comuni per il requisito di isolamento acustico di facciata

ERRORI DI PROGETTO – ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 2.1.1	Cassonetto	Assenza di un adeguato rivestimento fonoassorbente all'interno
A 2.1.2	Cassonetto	Struttura del cassonetto poco massiva
A 2.1.3	Foro di ventilazione cucina	Utilizzo di un sistema non silenziato
A 2.1.4	Aeratori per finestre	Scelta di aeratori senza abbattimento acustico
A 2.1.5	Cappotto per parete esterna	Utilizzo di materiali con rigidità dinamica troppo elevata (probabile riduzione di isolamento acustico della parete)

Tabella 7: elenco degli errori di posa più comuni per il requisito di isolamento acustico di facciata

ERRORI DI POSA – ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 2.2.1	Serramento	Regolazione non eseguita oppure eseguita in maniera errata
A 2.2.2	Serramento	Assenza di adeguati riempimenti e sigillature nei giunti della parte fissa del serramento (giunto parete – controtelaio – telaio fisso)
A 2.2.3	Serramento	Posizionamento errato dei tasselli di portata nel giunto vetro – telaio
A 2.2.4	Cassonetto	Fissaggio parziale del cassonetto alla parete, assenza di sigillatura in alcune zone del giunto parete – cassonetto, presenza di fessure sul perimetro dello sportello di ispezione, posa parziale del materiale fonoassorbente all'interno
A 2.2.5	Cassonetto	Apertura tra l'avvolgibile (o il cassonetto) e la parete esterna, assenza dello spazzolino
A 2.2.6	Facciata continua	Profilati non adeguatamente riempiti e/o assenza di sigillatura nei giunti tra pannelli opachi e profilati
A 2.2.7	Foro di ventilazione cucina	Traccia realizzata per foro di ventilazione non completamente riempita con malta

1.4.3 Livello di rumore di calpestio – errori di posa e di progetto

La posa in opera dei solai, dal punto di vista acustico rappresenta una delle fasi più delicate dell'intera realizzazione di un edificio.

Da un lato la posa è caratterizzata da numerosi accorgimenti esecutivi che, se disattesi, potrebbero compromettere totalmente la prestazione attesa. Dall'altro lato, in caso di errore e conseguente riduzione di isolamento, gli interventi di ripristino sono quasi sempre invasivi e quindi molto onerosi.

Una corretta progettazione, abbinata ad una posa a regola d'arte, è un presupposto fondamentale per ottenere buoni risultati.

In fase di progetto è bene innanzitutto prevedere, quando possibile, lo soluzione con pavimento galleggiante, l'unica attualmente in grado di garantire ottimi risultati. Particolarmente importante in questa fase è il dimensionamento corretto del pavimento galleggiante, sia in termini di spessori che di materiali.

Riguardo alla posa in opera gli errori più frequenti sono quasi tutti riconducibili alla presenza di collegamenti rigidi tra la parte galleggiante del solaio (massetto e pavimentazione) e le pareti perimetrali o il massetto di livellamento. In alcuni casi la penalizzazione può essere limitata, in molti altri può invece essere molto elevata e incrementare notevolmente il livello di calpestio.

Per meglio affrontare queste problematiche sono a disposizione dei tecnici molti manuali e linee guida per la corretta posa in opera dei solai, realizzati sia da ditte produttrici di materiali che da associazioni appartenenti al ramo dell'edilizia. In alcuni degli esempi riportati di seguito si è fatto riferimento o sono state utilizzate illustrazioni rintracciate in questi testi.

In Tabella 8 e Tabella 9 è riportato un elenco degli errori di progetto e di posa in opera più frequenti, per le diverse tipologie di elementi tecnici di un solaio.

Tabella 8: elenco degli errori di progetto più comuni per il requisito di livello di rumore di calpestio

ERRORI DI PROGETTO – LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 3.1.1	Pavimento galleggiante	Rigidità dinamica troppo elevata del materiale anticalpestio, spessore troppo esiguo del massetto galleggiante
A 3.1.2	Pavimento galleggiante	Materiale resiliente collocato tra il solaio grezzo e il massetto di livellamento
A 3.1.3	Pavimento galleggiante con riscaldamento a pannelli radianti	Assenza del materiale resiliente a pavimento e utilizzo di un materiale per l'isolamento termico senza caratteristiche anticalpestio
A 3.1.4	Vano scala	Vano scala connesso rigidamente alla parete divisoria

Tabella 9: elenco degli errori di posa più comuni per il requisito di livello di rumore di calpestio

ERRORI DI POSA – LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 3.2.1	Massetto di livellamento	Presenza di tubazioni non completamente annegate nel massetto e/o superficie non adeguatamente ripulita dal materiale di risulta
A 3.2.2	Materiale resiliente a pavimento	Presenza di discontinuità in alcune zone, presenza di lacerazioni, sistemazione del materiale con il verso di posa errato
A 3.2.3	Fascia resiliente perimetrale	Presenza di discontinuità, incollaggio parziale o assente alle pareti, altezza troppo bassa e/o rifilatura eseguita prima della posa della pavimentazione
A 3.2.4	Massetto galleggiante	Spessore gettato in opera diverso dallo spessore di progetto, assenza della rete elettrosaldata (se prevista)
A 3.2.5	Massetto galleggiante + pavimentazione	Assenza di separazione strutturale tra i massetti e la pavimentazione delle varie stanze
A 3.2.6	Giunto portafinestra – solaio	Contatto rigido della pavimentazione in ceramica e/o del massetto con la soglia della portafinestra
A 3.2.7	Pavimentazione	Pavimentazione in contatto rigido con le pareti
A 3.2.8	Rivestimenti a parete (cucine e bagni)	Contatto rigido tra il rivestimento a parete e la pavimentazione
A 3.2.9	Battiscopa	Battiscopa posato direttamente sulla pavimentazione
A 3.2.10	Riscaldamento a pannelli radianti	Collegamento rigido tra collettore, tubazioni e massetto galleggiante
A 3.2.11	Solaio misto acciaio – legno	Connessione rigida tra le travi in acciaio, le travi secondarie in legno e l'assito

1.4.4 Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo – errori di posa e di progetto

Gli impianti a ciclo discontinuo tendenzialmente più rumorosi sono quelli idrici, in particolare le colonne di scarico, i sanitari e le rubinetterie.

Analizzando la sezione verticale della colonna di scarico, si può osservare come il rumore prodotto dal passaggio dell'acqua possa avere diverse origini: la caduta dell'acqua lungo la colonna di scarico (dovuta soprattutto al flusso turbolento all'interno della tubazione), l'urto dell'acqua in corrispondenza dei cambiamenti di direzione (per esempio al piede della colonna), il rumore del deflusso dell'acqua nei tratti orizzontali dell'impianto (rumore spesso trascurabile rispetto agli altri due).

Il rumore generato dal passaggio dell'acqua nelle colonne di scarico dell'impianto può essere sia di tipo aereo che di tipo strutturale.

Il rumore per via aerea viene generato all'interno della tubazione per effetto dell'efflusso dell'acqua: tale rumore viene quindi trasmesso all'interno della tubazione lungo il suo sviluppo e trasmesso all'esterno attraverso le pareti della tubazione. A livello progettuale gli errori più comuni, che tendono a non attenuare il rumore per via aerea, sono caratterizzati dalla scelta di tubazioni di massa insufficiente, da cavedi troppo leggeri in cui non è stato previsto rivestimento interno e da cambi di direzione della tubazione troppo bruschi. In termini di posa in opera la problematica maggiore è l'assenza del rivestimento fonoisolante della tubazione.

Il rumore per via strutturale è dovuto al passaggio dell'acqua che produce vibrazioni che vengono trasmesse alle strutture dell'edificio e che si propagano attraverso le strutture stesse. Nella trasmissione del rumore per via strutturale i punti più critici sono le zone di contatto rigido tra la colonna di scarico e la struttura, che permettono il trasferimento delle vibrazioni fra i due elementi. L'errore di posa principale e anche più frequente consiste quindi nell'assenza di desolidarizzazione tra la tubazione e i vari punti della struttura, a causa del mancato rivestimento fonoisolante sulla tubazione, o per l'utilizzo di collari rigidi di fissaggio della tubazione alla parete.

Il rumore generato dai sanitari può diventare importante fonte di disturbo, soprattutto per la trasmissione del rumore per via strutturale. Prevedere la collocazione dei sanitari potenzialmente più rumorosi (WC e doccia) a ridosso di pareti divisorie è solitamente da evitare, soprattutto in caso di pareti monostrato. In termini di posa in opera occorre prendere tutte le precauzioni possibili per disaccoppiare i vari componenti dei sanitari dalle pareti e dal pavimento, per evitare contatti rigidi che potrebbero compromettere la riduzione del rumore.

Infine, le rubinetterie comportano generalmente problematiche di rumorosità meno accentuate rispetto alle tubazioni di scarico e ai sanitari, tuttavia l'esecuzione di certi tipi di errori potrebbe non rendere trascurabile tale problematica.

In Tabella 10 e Tabella 11 è riportato un elenco degli errori di progetto e di posa in opera più frequenti, per le diverse tipologie di elementi tecnici.

Tabella 10: elenco degli errori di progetto più comuni per il requisito di livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo

ERRORI DI PROGETTO – LIVELLO DI RUMORE DI DEGLI IMPIANTI A CICLO DISCONTINUO		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 4.1.1	Colonna di scarico	Tubazione di densità troppo scarsa e/o con rivestimento fonoisolante inadeguato
A 4.1.2	Colonna di scarico	Tubazione fissata su pareti leggere, collocata all'interno di pareti doppie divisorie
A 4.1.3	Colonna di scarico	Cambio di direzione di 90° alla base della colonna
A 4.1.4	Cavedio	Cavedio di struttura troppo leggera, senza adeguato rivestimento fonoassorbente interno, collocato nella zona centrale di un ambiente abitativo
A 4.1.5	Sanitari	Collocazione dei sanitari potenzialmente più critici (WC, doccia) a ridosso di pareti divisorie (nell'eventualità esistano collocazioni alternative)
A 4.1.6	Rubinerteria	Assenza di riduttori di pressione, di ammortizzatori per colpi d'ariete e utilizzo di rubinetti con sezione a spigoli "vivi"

Tabella 11: elenco degli errori di posa più comuni per il requisito di livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo

ERRORI DI POSA – LIVELLO DI RUMORE DI DEGLI IMPIANTI A CICLO DISCONTINUO		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 4.2.1	Colonna di scarico	Tubazione priva del rivestimento fonoisolante, soprattutto in corrispondenza dei passaggi attraverso i solai
A 4.2.2	Colonna di scarico	Fissaggio della tubazione alla parete tramite collari privi di inserto antivibrante
A 4.2.3	Colonna di scarico	Cambio di direzione della tubazione non adeguatamente rivestito con materiale fonoisolante
A 4.2.4	Cavedio	Assenza di malta nei giunti tra i laterizi della struttura del cavedio, rivestimento fonoassorbente interno assente o fissato solo parzialmente
A 4.2.5	Diramazioni di scarico	Tubazioni di scarico connesse rigidamente al massetto e/o alle pareti del bagno (assenza del rivestimento fonoisolante)
A 4.2.6	Rivestimento fonoisolante tubazioni	Presenza di aperture o lacerazioni del rivestimento fonoisolante
A 4.2.7	Doccia / vasca da bagno	Piatto doccia o base della vasca connessi rigidamente al pavimento o alle pareti del bagno

ERRORI DI POSA – LIVELLO DI RUMORE DI DEGLI IMPIANTI A CICLO DISCONTINUO		
Classificazione errore (da Allegato)	Tipologia di elemento tecnico	Descrizione dell'errore
A 4.2.8	WC sospeso	Assenza del materiale desolidarizzante tra il retro del WC e la parete
A 4.2.9	Cassetta di risciacquo esterna	Cassetta e/o tubo di cacciata connessi rigidamente alla parete
A 4.2.10	Cassetta di risciacquo incassata	Cassetta e/o tubo di cacciata connessi rigidamente alla parete
A 4.2.11	Cassetta di risciacquo esterna o incassata	Valvola di adduzione connessa rigidamente alla parete

1.4.5 Livello di rumore degli impianti a ciclo continuo – errori di posa e di progetto

Gli impianti a ciclo continuo ad uso più comune sono gli impianti di climatizzazione (riscaldamento, condizionamento, aerazione).

Un impianto di questo tipo, nella versione più completa, è costituito dalle seguenti parti: la centrale termica, la centrale frigorifera con le eventuali torri di raffreddamento, il sistema di circolazione dell'acqua calda o refrigerata, il sistema di trattamento e di distribuzione dell'aria, le eventuali unità locali.

Le potenziali sorgenti di rumore in questo caso sono molteplici e dipendono soprattutto dalla tipologia di impianto, dalle sue componenti, dalle dimensioni e da una serie di altri fattori.

Diventa quindi difficile e probabilmente inutile tentare di identificare gli errori di posa più comuni, data la vastità della casistica a disposizione. In merito agli errori di progetto è possibile altresì fornire indicazioni di carattere indicativo.

In linea generale la fase progettuale deve essere caratterizzata da un'attenta scelta di macchine e materiali con caratteristiche acustiche certificate, definendo poi, in funzione della destinazione d'uso dell'edificio, l'ubicazione delle macchine, il lay-out dell'impianto e le relative condizioni operative. Si deve porre poi particolare attenzione nel definire in maniera più chiara possibile le modalità di installazione e di collegamento alle parti murarie.

A questo proposito diventa importante isolare quanto possibile i locali tecnici dall'abitazione, evitando di collocarli in adiacenza ad ambienti abitativi.

L'isolamento acustico delle strutture dei locali tecnici deve essere progettato in funzione dell'effettiva rumorosità degli impianti, e le loro superfici devono essere trattate, ove necessario, al fine di ridurre il rumore riverberato o per aumentare il fattore di accoppiamento.

È utile anche porre attenzione al comportamento in frequenza della struttura; questa deve avere una frequenza di risonanza diversa dalla frequenza fondamentale dell'impianto onde evitare che in questo campo si abbia una

eccessiva rumorosità dello stesso dovuta a una perdita di isolamento della struttura.

Tale regola vale anche per le strutture dove vengono appoggiati i macchinari, ovvero la frequenza di risonanza dei solai deve essere diversa dalla frequenza di rotazione di eventuali organi elettro-meccanici o della frequenza di risonanza degli isolatori.

1.5 Esempi di checklist per il contesto costruttivo italiano

Con riferimento alla raccolta di errori di posa riportata nel paragrafo precedente e in Allegato, e sulla base degli esempi dei sistemi di verifica della progettazione e della posa presenti in Spagna, Inghilterra e Galles, è stata studiata una tipologia di checklist anche per il contesto costruttivo italiano.

Sono stati considerati, a titolo di esempio, gli elementi tecnici più comuni nel nostro panorama costruttivo: la parete pesante doppia con intercapedine riempita con materiale fonoassorbente, il pavimento galleggiante, il serramento con cassonetto e infine la colonna di scarico inserita in un cavedio.

Per ogni elemento tecnico sono state realizzate due bozze di checklist, riferite alle verifiche da eseguire in fase di progettazione e in fase di cantiere.

In merito alla progettazione, l'intento principale è di indicare al progettista non solo gli errori da evitare, ma anche eventuali raccomandazioni per scegliere soluzioni più robuste in termini di potenziali criticità nella posa in opera.

Le checklist riferite alla posa sono divise in due parti. La prima riguarda la fase anteriore alla posa, con il controllo della corrispondenza dei materiali rispetto a quelli previsti e del loro stato, e il controllo della superficie di posa.

La seconda parte è da compilare durante la realizzazione dell'elemento tecnico, per verificare se sono stati evitati gli errori di posa più frequenti e importanti. Per ovvie ragioni è necessario che la seconda parte di questa checklist sia compilata durante la posa e non a posteriori.

In linea generale è importante verificare la posa dei primi elementi tecnici di una certa tipologia, poi sarebbe a discrezione del Direttore Lavori (a cui dovrebbe competere la compilazione della checklist) la scelta del numero di elementi tecnici da verificare, in funzione delle dimensioni del complesso edilizio. Per ogni checklist dovrebbe essere inserita la data di verifica e l'ubicazione dell'elemento tecnico verificato. Ovviamente più elementi tecnici saranno controllati e maggiore sarà la probabilità di ottenere i risultati attesi in fase progettuale.

Le checklist dovrebbero essere di semplice comprensione e compilazione, per questo motivo si è scelta la tipologia con domande dirette, in cui le possibili risposte sono *SÌ* e *NO*. Il *SÌ* indica sempre la corretta progettazione/posa di un dato accorgimento, il *NO* corrisponde a possibili problematiche. A fianco delle due risposte è stata inserita la colonna "Note", da riempire soprattutto nei casi di risposta negativa. Alla fine della checklist è stata poi riportato uno spazio per scrivere ulteriori annotazioni.

Una checklist con tutti *SÌ* significa che l'elemento costruttivo è stato progettato/posato in maniera corretta in tutte le sue parti, e quindi con ogni

probabilità la prestazione in fase di collaudo sarà conforme alla prestazione prevista. Ovviamente non è possibile avere la garanzia assoluta del raggiungimento di un buon risultato, data la varietà infinita di soluzioni e di metodi di posa. Tuttavia, senza avere la pretesa di essere completamente e pianamente esaustivo, lo strumento delle checklist può essere sicuramente di aiuto allo scopo di diminuire il più possibile la presenza di errori per la maggior parte delle soluzioni costruttive.

Sarebbe opportuno che le checklist fossero collegate ad sorta di manuale, che dovrebbe essere corredato di disegni di corretta e non corretta posa, di eventuali fotografie e di penalizzazioni previste in caso di errore. In questo modo il progettista e/o l'incaricato a verificare la posa in opera possiede gli strumenti per approfondire o chiarire eventuali punti oscuri.

Tabella 12: bozza di checklist da compilare in fase di progetto, nel caso di una parete pesante doppia con intercapedine riempita con materiale fonoassorbente

Elemento tecnico	PARETE PESANTE DOPPIA CON INTERCAPEDINE RIEMPITA CON MATERIALE FONOASSORBENTE		
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire in fase di PROGETTO	SÌ	NO	Note
Il solaio in cima alla parete divisoria è interrotto da una trave rompitratta?	SÌ	NO	
La continuità della parete esterna è interrotta in corrispondenza della parete divisoria?	SÌ	NO	
La fascia tagliamuro (se prevista) è adeguata per reggere il carico soprastante?	SÌ	NO	
E' stata prevista una fascia tagliamuro almeno 4 cm più larga rispetto alla parete soprastante?	SÌ	NO	
Si è evitato di collocare le tracce impiantistiche (fori di ventilazione, scatole di derivazione, etc.) in maniera simmetrica su ambo i lati della parete divisoria?	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

Tabella 13: bozza di checklist da compilare prima e durante la posa, nel caso di una parete pesante doppia con intercapedine riempita con materiale fonoassorbente

Elemento tecnico	PARETE PESANTE DOPPIA CON INTERCAPEDINE RIEMPITA CON MATERIALE FONOASSORBENTE		
Ubicazione dell'elemento tecnico verificato:		Data:	
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire PRIMA DELLA POSA	SÌ	NO	Note
I materiali da posare sono esattamente quelli indicati nel progetto?	SÌ	NO	
I materiali da posare, in particolare i laterizi e il materiale fonoassorbente, sono in buono stato?	SÌ	NO	
La superficie di posa della parete e dell'eventuale fascia tagliamuro è pulita e senza imperfezioni significative?	SÌ	NO	
...			
Verifiche da eseguire DURANTE LA POSA	SÌ	NO	Note
La fascia tagliamuro (se prevista) è stata posata lasciando almeno 2 cm di bordo per parte?	SÌ	NO	
Le pareti laterali sono interrotte in corrispondenza della parete divisoria?	SÌ	NO	
E' stata inserita la malta nei giunti verticali di entrambi gli strati della parete doppia?	SÌ	NO	
E' stato applicato il terzo intonaco (se previsto) sul lato interno di uno dei due strati della parete doppia?	SÌ	NO	
Il terzo intonaco (se previsto) ha uno spessore di almeno 1 cm?	SÌ	NO	
Sono state ripulite le sbavature di malta tra i due strati della parete, per evitare di metterli in connessione rigida?	SÌ	NO	
Il materiale fonoassorbente nell'intercapedine copre tutta la superficie di uno strato della parete, senza fessure e lacerazioni?	SÌ	NO	
Nel caso sia previsto il riempimento parziale dell'intercapedine, il materiale fonoassorbente è fissato correttamente su tutta la superficie interna di uno strato della parete?	SÌ	NO	
I blocchi ad incastro (se previsti) sono stati posati senza lasciare fessure tra loro?	SÌ	NO	
Il giunto tra il solaio superiore e i due strati della parete è stato adeguatamente sigillato con malta?	SÌ	NO	
In caso di ambienti sottotetto, sono state evitate fessure tra la parete divisoria e il tetto inclinato?	SÌ	NO	
Le tracce impiantistiche sono state eseguite non troppo in profondità, cioè senza forare completamente uno strato della parete e arrivare fino al materiale fonoassorbente?	SÌ	NO	
Si è evitato di eseguire le tracce impiantistiche in maniera simmetrica su ambo i lati della parete?	SÌ	NO	

Le tracce impiantistiche sono state tutte completamente e abbondantemente riempite con malta?	SÌ	NO	
L'intonaco è stato posato con lo spessore previsto da progetto (e comunque non inferiore ad 1 cm)?	SÌ	NO	
L'intonaco alla base della parete è rimasto disconnesso dal solaio grazie all'interposizione della fascia tagliamuro (se prevista)?	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

Tabella 14: bozza di checklist da compilare in fase di progetto, nel caso di un serramento con cassonetto

Elemento tecnico	SERRAMENTO CON CONTROTELAIO E GIUNTO IN BATTUTA, CON CASSONETTO		
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire in fase di PROGETTO	SÌ	NO	Note
E' stato previsto un rivestimento, su tutte le facce interne del cassonetto, con materiale fonoassorbente di densità $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ e spessore $\geq 2 \text{ cm}$?	SÌ	NO	
E' stato scelto un tipo di cassonetto di massa adeguata (per esempio privilegiando una struttura in legno piuttosto che una struttura in PCV)? (*)	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

(*) non rappresenta un errore ma una raccomandazione per progettare una soluzione più "robusta"

Tabella 15: bozza di checklist da compilare in prima e durante la fase di posa in opera, nel caso di un serramento con cassonetto

Elemento tecnico	SERRAMENTO CON CASSONETTO		
Ubicazione dell'elemento tecnico verificato:		Data:	
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire prima della POSA	SÌ	NO	Note
I materiali da posare (telaio, vetro, guarnizioni, cassonetto, materiale fonoassorbente, etc.) sono esattamente quelli indicati nel progetto?	SÌ	NO	
Telai, ante, vetri, guarnizioni, cassonetti e materiale fonoassorbente sono in buono stato?	SÌ	NO	
Le guarnizioni sono presenti su tutto il perimetro dei serramenti?	SÌ	NO	
Il vano di posa è stato adeguatamente ripulito prima di installare il serramento?	SÌ	NO	
Verifiche da eseguire durante la POSA	SÌ	NO	Note
Lo spazio tra controtelaio e telaio è stato riempito in maniera completa con malta cementizia?	SÌ	NO	
In caso di controtelaio con profilo cavo metallico, la cavità è stata riempita con materiale fonoassorbente o sigillante espandente?	SÌ	NO	
E' stata riempita completamente l'intercapedine tra controtelaio e telaio fisso tramite sigillante espandente, lungo tutto il perimetro del serramento?	SÌ	NO	
E' stata applicata la sigillatura interna del giunto tra telaio fisso e controtelaio, lungo tutto il perimetro?	SÌ	NO	
E' stata applicata la sigillatura perimetrale esterna nel giunto tra telaio fisso e muratura, lungo tutto il perimetro del serramento?	SÌ	NO	
I tasselli di portata del vetro sono stati posati perfettamente in asse con il vetro?	SÌ	NO	
Il cassonetto è stato fissato saldamente alla parete in ogni sua parte?	SÌ	NO	
Il giunto perimetrale tra il cassonetto e la parete è stato completamente sigillato? Sono state evitate fessurazioni tra il cassonetto e la parete?	SÌ	NO	
Lo sportello d'ispezione del cassonetto è chiuso in maniera adeguata lungo tutto il perimetro?	SÌ	NO	
Il materiale fonoassorbente aderisce perfettamente a tutte le pareti interne del cassonetto?	SÌ	NO	
E' stato inserito lo spazzolino tra avvolgibile e parete?	SÌ	NO	
In caso di apertura molto pronunciata tra parete e cassonetto oppure tra parete e avvolgibile, tale apertura è stata adeguatamente occlusa?	SÌ	NO	
Spazio per ulteriori annotazioni:			

Tabella 16: bozza di checklist da compilare in fase di progetto, nel caso di un solaio in laterocemento con pavimento galleggiante senza pannelli radianti

Elemento tecnico	SOLAIO IN LATEROCEMENTO CON PAVIMENTO GALLEGGIANTE (SENZA PANNELLI RADIANTI)		
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire in fase di PROGETTO	SÌ	NO	Note
Il massetto previsto ha uno spessore ≥ 5 cm?	SÌ	NO	
La rigidità dinamica del materiale resiliente è < 50 MN/m ³ ?	SÌ	NO	
La resistenza al flusso d'aria del materiale resiliente è < 5 kNs/m ⁴ ?	SÌ	NO	
In caso di scelta di posare il materiale resiliente direttamente sul solaio grezzo, tale scelta è stata effettuata per l'impossibilità di prevedere la posa del materiale resiliente sul massetto di livellamento (scelta meno soggetta a criticità e più performante)?	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

Tabella 17: bozza di checklist da compilare prima e durante la posa in opera, nel caso di un solaio in laterocemento con pavimento galleggiante senza pannelli radianti

Elemento tecnico	SOLAIO IN LATEROCEMENTO CON PAVIMENTO GALLEGGIANTE (SENZA PANNELLI RADIANTI)		
Ubicazione dell'elemento tecnico verificato:		Data:	
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire prima della POSA	SÌ	NO	Note
I materiali da posare sono esattamente quelli indicati nel progetto?	SÌ	NO	
I materiali da posare, in particolare il materassino resiliente a pavimento e la fascia perimetrale resiliente, sono in buono stato?	SÌ	NO	
La superficie del massetto di livellamento è stata ripulita, senza materiale di risulta e/o senza irregolarità significative, prima della posa del materiale resiliente a pavimento?	SÌ	NO	
In caso di scelta di posare il materiale resiliente direttamente sul solaio grezzo, la superficie del solaio grezzo è stata ripulita, senza materiale di risulta e/o senza irregolarità significative?	SÌ	NO	
Verifiche da eseguire durante la POSA	SÌ	NO	Note
Le tubazioni orizzontali sono completamente annegate nel massetto di livellamento?	SÌ	NO	

Il materiale di rivestimento a pavimento è stato sistemato nel giusto verso di posa?	SÌ	NO	
I pannelli o i rotoli del materiale di rivestimento a pavimento sono stati adeguatamente sovrapposti e nastrati tra loro, in modo da evitare aperture?	SÌ	NO	
Sono state evitate lacerazioni del materiale resiliente a pavimento, anche di piccola entità?	SÌ	NO	
La fascia perimetrale resiliente è stata posata con continuità in tutti i punti, anche nelle zone d'angolo e in prossimità di porte o pilastri?	SÌ	NO	
Si sono evitate aperture e/o lacerazioni della fascia perimetrale, soprattutto nelle zone d'angolo e in prossimità di porte o pilastri?	SÌ	NO	
La fascia perimetrale resiliente è stata fissata adeguatamente alle pareti e al materiale resiliente a pavimento, senza lasciare aperture e fessure, anche di piccola entità?	SÌ	NO	
La fascia perimetrale resiliente è stata posata con la giusta altezza in tutte le zone perimetrali?	SÌ	NO	
La fascia perimetrale resiliente è stata posata in corrispondenza delle soglie delle porte o delle portefinestre, fino ad un'altezza superiore alla soglia stessa?	SÌ	NO	
Le tubazioni affioranti dal solaio grezzo sono state tutte completamente avvolte con materiale desolidarizzante fino in cima alle tubazioni stesse?	SÌ	NO	
Il materiale desolidarizzante con cui sono state avvolte le tubazioni affioranti è stato adeguatamente fissato al materiale resiliente a pavimento, sigillando ogni tipo di apertura o fessura?	SÌ	NO	
E' stata posata la rete elettrosaldata all'interno del massetto galleggiante (se prevista)?	SÌ	NO	
Lo spessore del massetto galleggiante è quello previsto in fase progettuale? In tutti i punti?	SÌ	NO	
E' stato separato strutturalmente il massetto tra le varie stanze, in corrispondenza delle porte?	SÌ	NO	
Nella fessura di separazione tra i massetti delle varie stanze è stato inserito il giunto di separazione?	SÌ	NO	
E' stato eseguito un controllo per verificare la presenza di contatti rigidi tra il massetto e la parete?	SÌ	NO	
Dopo la posa del massetto, si è evitato di rifilare la fascia perimetrale?	SÌ	NO	
Nell'eventualità che la fascia sia stata erroneamente rifilata prima della posa della pavimentazione, si è proceduto alla sigillatura della fessura perimetrale tramite sigillante elastico?	SÌ	NO	
Sono stati evitati contatti rigidi tra la pavimentazione e le pareti?	SÌ	NO	
In caso di rivestimenti a parete (angoli cottura e bagni), la fila inferiore di piastrelle è stata posata distanziata dalla pavimentazione, riempiendo eventualmente la fessura con sigillante elastico?	SÌ	NO	

Il battiscopa è stato fissato a parete, evitando contatti rigidi con la pavimentazione?	SÌ	NO	
La fessura tra la base del battiscopa e la pavimentazione è stata sigillata con sigillante elastico?	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

Tabella 18: bozza di checklist da compilare in fase di progetto, nel caso di colonna di scarico inserita in un cavedio

Elemento tecnico	COLONNA DI SCARICO INSERITA IN UN CAVEDIO		
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire in fase di PROGETTO	SÌ	NO	Note
E' stata prevista una tubazione con caratteristiche insonorizzanti?	SÌ	NO	
E' stato previsto il rivestimento completo della colonna di scarico e delle sue diramazioni tramite materiale fonoisolante?	SÌ	NO	
Si è cercato di evitare il più possibile i cambi di direzione della tubazione? (*)	SÌ	NO	
In caso di cambi di direzione della tubazione, è stata valutata l'ipotesi di inserirli all'interno dei solai, opportunamente e completamente rivestiti con materiale fonoisolante?	SÌ	NO	
Al piede della colonna di scarico è stato previsto un cambio di direzione della tubazione con due curvature di 45° e interposizione tra le stesse di un tratto rettilineo di lunghezza minima pari a due volte il diametro della tubazione? (Oppure: è stato evitato un cambio di direzione di 90° della tubazione?)	SÌ	NO	
Si è evitato di collocare il cavedio nella zona centrale di un ambiente abitativo? (**)	SÌ	NO	
La struttura del cavedio è composta da pareti di spessore ≥ 12 cm?	SÌ	NO	
Si è evitato di utilizzare laterizi con percentuale di foratura maggiore del 50% per la struttura del cavedio? (***)	SÌ	NO	
E' stato previsto un rivestimento fonoassorbente all'interno del cavedio, di spessore ≥ 4 cm, almeno su tutte le pareti libere del cavedio stesso?	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

(*) la presenza di cambi di direzione non rappresenta propriamente un errore, ma è buona norma tentare il più possibile di evitarli

(**) non rappresenta un errore ma una raccomandazione per progettare una soluzione più "robusta", che prevede la collocazione del cavedio preferibilmente negli angoli degli ambienti

(***) è buona norma privilegiare i laterizi semipieni

Tabella 19: bozza di checklist da compilare in fase di posa, nel caso di colonna di scarico inserita in un cavedio

Elemento tecnico	COLONNA DI SCARICO INSERITA IN UN CAVEDIO		
Ubicazione dell'elemento tecnico verificato:		Data:	
Controllore (nome e firma):			
Verifiche da eseguire prima della POSA	SÌ	NO	Note
I materiali da posare sono esattamente quelli indicati nel progetto?	SÌ	NO	
I materiali da posare, in particolare le tubazioni, i raccordi e i rivestimenti per le tubazioni e per l'interno del cavedio, sono in buono stato?	SÌ	NO	
..			
Verifiche da eseguire durante la POSA	SÌ	NO	Note
Le tubazioni sono state fissate alle pareti tramite l'utilizzo di collari con inserto antivibrante?	SÌ	NO	
Le tubazioni sono state fissate alle pareti nelle zone vicine ai solai inferiore e superiore? (*)	SÌ	NO	
La tubazione è stata rivestita interamente e per tutta la sua lunghezza tramite materiale fonoisolante, con particolare cura nelle zone di attraversamento di solai o pareti?	SÌ	NO	
In particolare il piede della colonna è stato rivestito interamente tramite materiale fonoisolante?	SÌ	NO	
Sono assenti zone di discontinuità del rivestimento fonoisolante, anche di piccola entità?	SÌ	NO	
Le diramazioni orizzontali della colonna di scarico sono state rivestite interamente e per tutta la loro lunghezza tramite materiale fonoisolante, in particolare nelle zone di attraversamento della struttura?	SÌ	NO	
E' stata inserita la malta nei giunti verticali delle pareti del cavedio?	SÌ	NO	
E' stata inserita la malta nei giunti tra cavedio e pareti adiacenti e tra cavedio e solai?	SÌ	NO	
Il materiale fonoassorbente interno al cavedio è stato posato con continuità su tutte le pareti libere del cavedio stesso?	SÌ	NO	
...			
Spazio per ulteriori annotazioni:			

(*) non rappresenta un errore ma una raccomandazione (sarebbero da evitare fissaggi su pareti leggere o nelle zone centrali delle pareti)

2. La variabilità nelle procedure di misurazione in opera

2.1 Premessa

L'affidabilità delle misure in opera delle prestazioni acustiche di edifici è da tempo oggetto di ampio dibattito e di analisi teoriche da parte di ricercatori, enti di controllo e progettisti.

In merito al quadro normativo, le procedure rigorose per la determinazione dell'incertezza delle misurazioni, valide in qualsiasi situazione, sono riportate nella normativa ISO/IEC Guide 98 (GUM) [6] pubblicata in italiano nel 2000 come UNI CEI ENV 13005 "Guida all'espressione dell'incertezza di misura" [5]. Tale normativa utilizza un metodo basato su modellazione matematica che prevede l'identificazione e la quantificazione di tutte le componenti di incertezza relative alla grandezza sottoposta a misurazione (misurando). La combinazione di tutte queste componenti porta alla determinazione dell'incertezza composta u_c , universalmente utilizzata per esprimere l'incertezza del risultato di una misurazione. In talune applicazioni commerciali, industriali e normative, è tuttavia spesso necessario dare una valutazione quantitativa dell'incertezza che definisca un *intervallo di confidenza* intorno al risultato di una misurazione. Tale intervallo viene definito tramite il prodotto dell'incertezza composta per un *fattore di copertura* k , quest'ultimo dipendente dal *livello di fiducia* che si richiede all'intervallo stesso.

In acustica edilizia, dato il numero e la complessità delle grandezze coinvolte, allo stato attuale risulta difficile individuare un modello matematico completo utilizzabile in ogni misurazione (in laboratorio e in opera) per identificarne l'incertezza globale. Alcuni lavori (Michalski et al [24], Wszolek [25]) hanno stimato l'incertezza estesa per una serie di misure di isolamento al rumore aereo, partendo dall'incertezza delle singole grandezze. Tuttavia si tratta di analisi piuttosto complesse, riferite esclusivamente alle condizioni in cui sono state eseguite le misure, ed eseguite senza considerare tutti i fattori di incertezza.

Questo non significa che la GUM sia inapplicabile, ma piuttosto che i principi che essa stabilisce possono venire soddisfatti ricorrendo a criteri diversi, per esempio quello sperimentale. Tale criterio consiste nell'investigare la prestazione *globale* del metodo in esame in modo da comprendere quante più fonti di incertezza possibile.

Questo approccio viene descritto nella normativa ISO 140-2, attualmente in fase di revisione [26], che fa riferimento alla più generale UNI ISO 5725-2 [15], per la quale è disponibile anche la guida pratica UNI ISO/TR 22971 [27]. L'UNI ha inoltre allo studio un progetto di norma per la valutazione dell'incertezza nelle misure e nei calcoli di acustica, del quale è stata pubblicata la prima parte [28].

Le norme sono basate sulla stima di due termini: la ripetibilità e la riproducibilità, che conducono ad una valutazione dell'incertezza del metodo di misura attraverso test inter-laboratorio (chiamati anche *Round Robin Test*). Tali test sono caratterizzati dal coinvolgimento di diversi "laboratori", cioè singole entità con le competenze e le attrezzature per eseguire la procedura di misurazione o calcolo, che eseguono diverse misurazioni indipendenti sullo stesso elemento tecnico, seguendo la stessa procedura e con la stessa strumentazione. I risultati ottenuti sono riferiti alla ripetibilità ed alla riproducibilità, che rappresentano

rispettivamente l'incertezza minima e l'incertezza massima ottenibile applicando una procedura di misura.

In letteratura sono disponibili numerosi articoli riguardanti l'esecuzione di RRT per la valutazione dell'incertezza delle misurazioni dei requisiti acustici dei componenti di edifici in condizioni di laboratorio, come ad esempio [29], [30], [31], [32].

Per le misure effettuate in opera, in cui i fattori che possono determinare incertezza sono più numerosi, esistono attualmente meno riferimenti, per esempio i lavori di Lang [33], Arrigucci et al [34] e Gerretsen [35].

Il lavoro di Gerretsen in particolare fa riferimento a un RRT eseguito in Olanda caratterizzato da una quantità elevata di misurazioni in opera eseguite su un numero limitato di configurazioni. I risultati, riportati in termini di scarto tipo di riproducibilità per ogni requisito acustico passivo, sono stati utilizzati dalla guida olandese NPR 5092 [36] e ripresi anche dalla normativa italiana UNI 11367 [4], per determinare il valore dell'incertezza estesa da applicare alle misurazioni in opera.

Quest'ultimo caso è paradigmatico dell'utilizzo del criterio sperimentale per identificare l'incertezza massima di una procedura di misurazione, paragonando lo scarto tipo riferito all'incertezza composta (da determinare attraverso un modello analitico) allo scarto tipo di riproducibilità (da determinare empiricamente attraverso test interlaboratorio).

Tuttavia tale criterio, rispetto all'approccio matematico, risente dello svantaggio di determinare esclusivamente il valore globale dell'incertezza, senza la possibilità di valutare l'influenza di ogni singolo contributo all'incertezza stessa.

In quest'ottica si è cercato di valutare singolarmente l'influenza di alcuni fattori di variabilità nelle procedure di misurazione in opera, ritenuti più importanti in termini di influenza sul risultato finale: la scelta della tecnica di misura e della posizione della sorgente.

La tecnica di misura prevede attualmente la scelta tra le posizioni microfoniche fisse e la procedura di movimentazione manuale del microfono secondo diverse traiettorie. Attraverso misurazioni in opera di isolamento al rumore aereo e livello di calpestio si è cercato di comparare le diverse tecniche di misura, anche analizzando una diversa tecnica di movimentazione manuale del microfono che si ritiene meno affetta da possibili errori.

La variabilità nella posizione della sorgente è stata studiata per i requisiti di isolamento al rumore aereo e di facciata. Nel primo caso l'analisi è stata condotta applicando l'approccio statistico mutuato dalla UNI ISO 5725-3 [12], illustrato nel capitolo precedente. Nel caso dell'isolamento acustico di facciata è stato impiegato un metodo di tipo empirico, attraverso l'analisi di due casi studio frequentemente riscontrabili in opera.

2.2 Variabilità dovuta alla tecnica di misura

Le normative UNI EN ISO 140 parti 4 [13] e 7 [14] relative alle misurazioni in opera di isolamento al rumore aereo e di livello di calpestio prevedono la possibilità di effettuare le prove utilizzando la movimentazione manuale del microfono, seguendo specifiche modalità di oscillazione dello stesso (piano della traiettoria inclinato rispetto alle pareti e raggio di almeno 0.7 m). Anche la

normativa UNI EN ISO 10052 [37], relativa alle misure di controllo, fa riferimento alla movimentazione del microfono, illustrando una procedura differente che prevede l'operatore al centro della stanza, l'analizzatore in mano e movimento oscillatorio del microfono secondo una traiettoria di 180°.

Tali procedure presentano alcuni aspetti problematici dovuti, ad esempio, alla vicinanza dell'operatore al microfono e alla difficoltà di eseguire medie spaziali adeguate in alcune zone dell'ambiente, per esempio le più alte.

L'analisi dell'affidabilità delle procedure di movimentazione manuale del microfono (denominate di seguito MMM), confrontate con le postazioni microfoniche fisse, è attualmente oggetto di diversi studi, sia teorici che pratici.

Hopkins ha studiato [38], attraverso simulazioni numeriche, la differenza tra la media spaziale all'interno dell'ambiente di prova fornita da diversi possibili percorsi di MMM e la media spaziale fornita dal numero minimo di postazioni fisse microfoniche (cinque). Da tale studio sono emerse tre traiettorie microfoniche che garantiscono una media spaziale migliore (alle frequenze medio – alte) o comparabile (alle basse frequenze fino a 200 Hz) rispetto alla media spaziale garantita dalle cinque posizioni fisse. La prima traiettoria, ottenuta muovendo l'analizzatore tra i due angoli opposti della stanza, è quella che garantisce i risultati più soddisfacenti; questa tecnica comporta, tuttavia, un maggiore contributo di rumorosità generata dall'operatore mentre attraversa la stanza e, in alcuni casi, risulta impossibile da realizzare in opera per la presenza di arredi interni all'ambiente. Per questo motivo sono da privilegiare gli altri due metodi di MMM, basati su una traiettoria ellittica o a tre semicerchi, che risultano caratterizzati dalla permanenza dell'operatore in un punto fisso e dalla movimentazione manuale dell'analizzatore.

Queste ultime due modalità di MMM, insieme ad altre due che prevedono un movimento circolare del microfono o secondo una traiettoria cilindrica, sono descritti nella recente normativa ISO 16283-1 [39]. Tale normativa, la prima di una serie di normative che andranno a sostituire le ISO 140 sulle misurazioni in opera, mira a incrementarne la riproducibilità, sia in termini di procedura di misura standard (sono appunto definite nel dettaglio diverse modalità di movimentazione manuale del microfono) che in termini di misure a bassa frequenza (50, 63 e 80 Hz) per ambienti di volume inferiore ai 25 m³, descrivendo in questo caso un protocollo accurato di misura.

Altri recenti lavori hanno posto l'attenzione sulle differenze tra il metodo con postazioni fisse microfoniche e i metodi di MMM descritti nelle normative, attraverso l'effettuazione di Round Robin Test.

Dunbavin [40] ha esaminato i risultati di riproducibilità tramite un Round Robin Test eseguito a Inghilterra, relativo a misure di isolamento al rumore aereo di livello di calpestio. Sono stati coinvolti anche gli ispettori della Robust Details, i quali hanno eseguito le misure secondo i propri protocolli, mentre a tutti gli altri tecnici coinvolti è stato richiesto l'uso delle tecniche previste nella ISO 140 parte 4 e 7. In particolare gli ispettori RDL hanno eseguito misure con i metodi MMM, mentre gli altri tecnici hanno eseguito le misure con postazioni microfoniche fisse. Si è dimostrato che le tecniche di MMM garantiscono una riproducibilità maggiore rispetto alle posizioni microfoniche fisse. Inoltre, in tutti i casi di misura ad esclusione del livello di calpestio su pavimento di legno, i valori di

riproducibilità dei metodi MMM sono risultati inferiori o comunque comparabili con il limite previsto dalla ISO 140 parte 2.

Il lavoro sui metodi di misura in opera di Pontarollo [41], basato su un Test Interlaboratorio a cui hanno partecipato 11 squadre, ha messo a confronto il metodo tecnico progettuale della norma UNI EN ISO 140-4 [13] (con impiego del minor numero possibile di punti fissi di misura) col metodo di controllo della UNI EN ISO 10052 [37]. I due metodi risultano comparabili e in particolare alle medio basse frequenze il metodo di controllo con movimentazione manuale ha valori di riproducibilità più bassi rispetto ai metodi di misura con postazioni fisse.

Nell'ottica di ridurre le tempistiche di misura mantenendo nel contempo un buon grado di precisione, è stato analizzato un metodo di movimentazione manuale basato sull'uso di un'asta di lunghezza variabile e sull'oscillazione del microfono stesso secondo traiettorie su piani verticali rappresentativi delle diverse zone dell'ambiente.

Per verificare la validità del metodo, sono state effettuate misurazioni in opera di livello di rumore di calpestio e di isolamento al rumore aereo di pareti su diverse partizioni, sia mediante movimentazione manuale del microfono, secondo le diverse procedure descritte di seguito, sia mediante posizioni microfoniche fisse.

Per ogni partizione in prova sono state effettuate misurazioni sia per punti fissi, sia utilizzando i metodi di MMM descritti nelle UNI EN ISO 140 e nella UNI EN ISO 10052, sia utilizzando il metodo proposto (denominato "a scansione").

Il metodo descritto nelle normative UNI EN ISO 140 parti 4 e 7 prevede che la traiettoria abbia un raggio di almeno 0.7 m, il piano definito dalla traiettoria sia inclinato in modo da coprire una vasta area dello spazio disponibile dell'ambiente e crei un angolo non minore di 10° con qualsiasi superficie dell'ambiente (Figura 24, immagine di sinistra).

La normativa UNI EN ISO 10052 specifica che l'operatore deve posizionarsi al centro della stanza (dando le spalle all'altoparlante nella camera sorgente e alla parete di prova nella camera ricevente) e, con l'analizzatore in mano, deve muovere il microfono quattro volte orizzontalmente su un angolo di 180°, facendolo oscillare su e giù durante il movimento (Figura 24, immagine centrale).

Il metodo "a scansione" proposto nel presente lavoro prevede la sistemazione del microfono su un'asta di lunghezza variabile (tra 1 e 2 m) e la scansione verticale su vari piani dell'ambiente di prova, secondo l'andamento riportato nella Figura 24 (immagine di destra). Il numero di scansioni è stato valutato in funzione del tipo di prova e delle dimensioni dell'ambiente: per la misura del livello di calpestio, nel caso di ambienti piccoli (fino a 15 m² circa) sono state effettuate 2 scansioni per ogni posizione di sorgente sonora; nel caso di ambienti grandi (da 15 a 30 m² circa), il numero di scansioni per ogni posizione della sorgente è stato aumentato fino a 3-4. Per la misura dell'isolamento acustico di pareti, negli ambienti piccoli sono state effettuate 3-4 scansioni per ogni posizione di sorgente, negli ambienti grandi le scansioni sono state 5-6. Per ogni posizione di sorgente (altoparlante o generatore di calpestio), le scansioni sono state effettuate su piani verticali in modo da eseguire una media spaziale su tutti i settori dell'ambiente. Ogni scansione ha avuto una durata tale da completare un piano verticale da parete a parete (tra 20 e 30 secondi in funzione della dimensione dell'ambiente).

Con il metodo “a scansione”, la durata delle misurazioni è sostanzialmente analoga al metodo per punti fissi, ma si ottiene una media spaziale molto migliore. E' importante specificare che la normativa UNI EN ISO 10052 prevede un numero di posizioni di sorgente, sia per R' che per L'_n , inferiore rispetto alla UNI EN ISO 140, tuttavia nel presente lavoro il numero e le posizioni della sorgente sono rimaste sempre le stesse per tutte e quattro le prove (due posizioni di altoparlante per R' e quattro posizioni di generatore di calpestio per L'_n) allo scopo di valutare le differenze dovute esclusivamente al metodo di misura.

Il numero di misurazioni in ogni ambiente è stato sempre pari al minimo riportato sulle normative (anche per le postazioni microfoniche fisse). Subito dopo ogni misurazione di livello sonoro in camera ricevente è stato misurato il rumore di fondo, utilizzando la stessa procedura di misura. Inoltre, sono state sempre rispettati i vincoli relativi alle distanze minime.

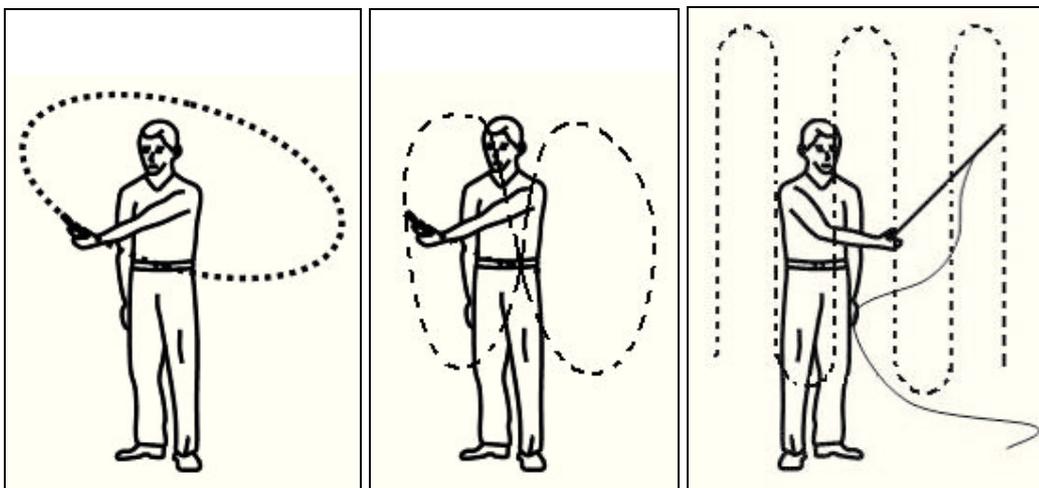


Figura 24: visualizzazione dei tre percorsi di movimentazione manuale del microfono: secondo la UNI EN ISO serie 140 (sinistra), la UNI EN ISO 10052 (centro) e il metodo “a scansione” con il microfono su asta proposto nel presente lavoro (destra)

2.2.1 Risultati isolamento al rumore aereo R'

In totale sono state effettuate prove su 9 partizioni, in ambienti di prova di superficie compresa tra 14 e 33 m². Tutti gli ambienti di prova erano privi dell'arredamento.

Nei due grafici seguenti sono riportati i risultati del confronto tra i tre metodi di movimentazione manuale del microfono e le postazioni fisse. Il confronto è stato effettuato in termini di indice di valutazione del livello di rumore di calpestio R'_w e in termini di andamento in frequenza della media degli scarti tipo associati ai livelli L_1 e L_2 misurati rispettivamente nella camera sorgente e ricevente.

Il calcolo dell'indice di valutazione è stato effettuato per passi di 0.1 dB, così da poter confrontare meglio i risultati delle diverse prove.

Nel grafico di Figura 25 si può notare che per tutte le partizioni, escluso il caso particolare della partizione 9 di cui si tratterà in seguito, le differenze tra gli indici di valutazione dei diversi metodi sono piuttosto contenute (comprese tra 0.3 e 0.8 dB). In questo caso, però, si osserva come le misurazioni effettuate con le postazioni microfoniche fisse tendono quasi sempre a sovrastimare leggermente il

risultato rispetto ai metodi di MMM. Confrontando solamente le tre modalità di MMM, si nota una sostanziale concordanza tra i risultati, con differenze minime. I grafici relativi alla media degli scarti (Figura 26 e Figura 27) tipo forniscono invece indicazioni sulla capacità, per ogni metodo di misura, di mediare spazialmente all'interno dell'ambiente. Sia nell'ambiente emittente (Figura 26) che nell'ambiente ricevente (Figura 27) le tre procedure di MMM garantiscono una media spaziale migliore rispetto alle postazioni microfoniche fisse, soprattutto alle basse e medie frequenze.

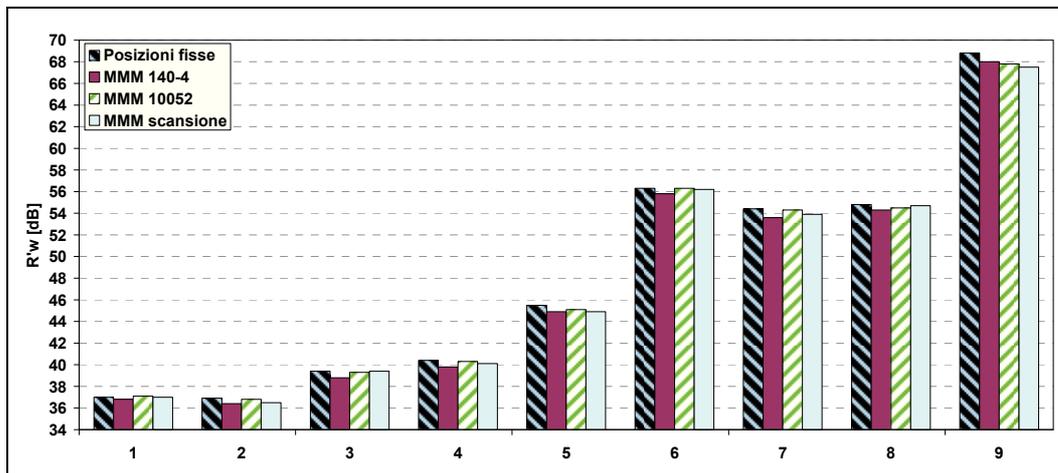


Figura 25: confronto tra i quattro metodi di misura oggetto dello studio, in termini di indice di valutazione $R'w$ calcolato per passi di 0.1 dB, per le 9 partizioni

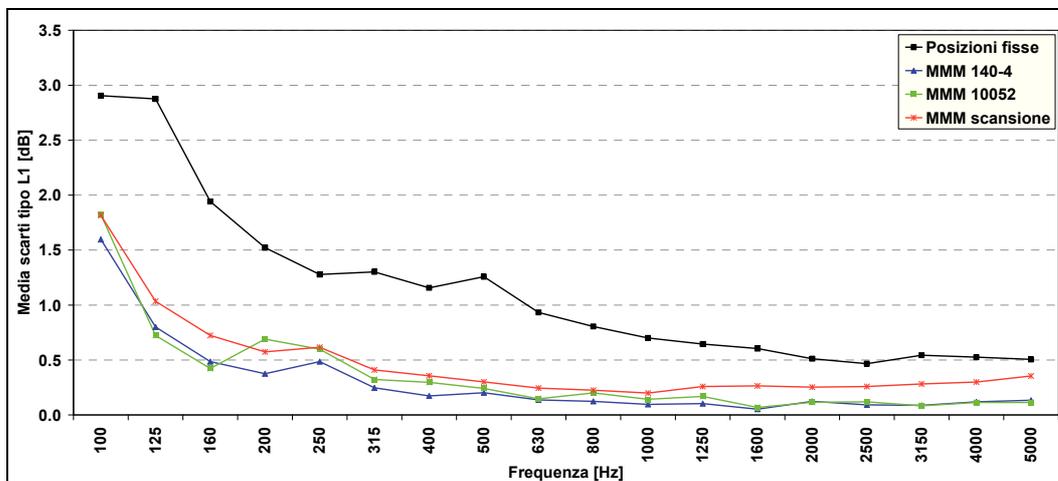


Figura 26: confronto tra gli andamenti in frequenza della media degli scarti tipo relativi al livello L_1 per i quattro metodi di misura

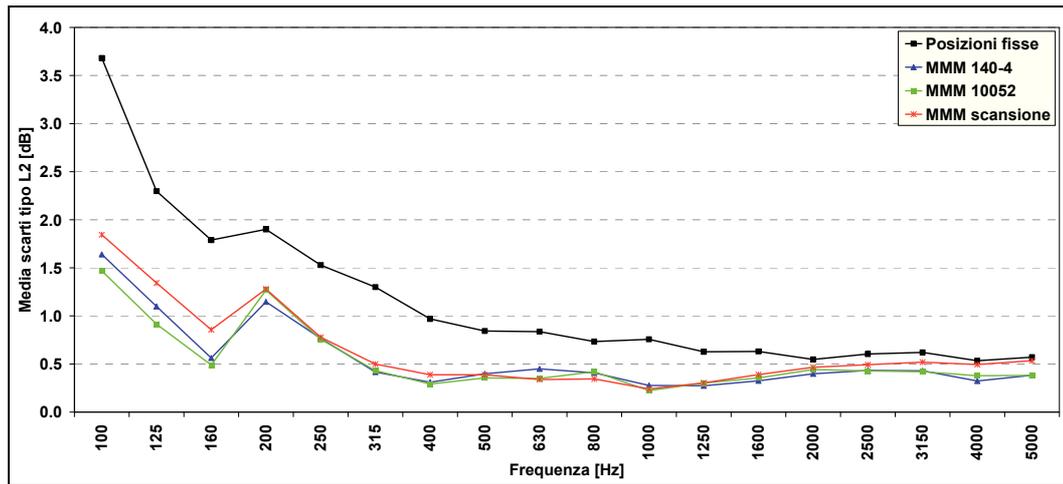


Figura 27: confronto tra gli andamenti in frequenza della media degli scarti tipo relativi al livello L_2 per i quattro metodi di misura

Un caso particolare è la partizione 9, caratterizzata da un ambiente ricevente pesantemente arredato (camera da letto matrimoniale, Figura 28 e Figura 29) e da un isolamento della parete molto elevato (la parete aveva infatti caratteristiche molto isolanti ed era inserita in un giunto antisismico, per cui i due ambienti di prova erano completamente disaccoppiati).

Il primo fattore, l'ambiente molto arredato e quindi caratterizzato da un campo sonoro non diffuso, è quello che ha contribuito all'aumento dello scostamento tra gli indici di valutazione ottenuti con i diversi metodi di misura (circa 1.3 dB) rispetto alle altre partizioni. Come si nota in Figura 30, la differenza tra gli andamenti in frequenza di R' si verifica soprattutto alle alte frequenze, proprio per la scarsa diffusività del campo sonoro.

L'elevato isolamento della parete ha fatto altresì in modo che il livello di rumore L_2 misurato nell'ambiente ricevente fosse particolarmente basso: in tale condizione i livelli L_2 misurati con i metodi di MMM della UNI EN ISO 140-7 [14] e UNI EN ISO 10052 [37] risultano fortemente influenzati dal rumore di fondo, generato dalla movimentazione dell'analizzatore mantenuto in mano dall'operatore, a partire già dalla frequenza di 1250 Hz (Figura 31).

Con il metodo a scansione, invece, il rumore di fondo generato dalla procedura di misura ha influenzato il livello L_2 in maniera praticamente trascurabile, quasi come il metodo con i punti microfonicici fissi, data la maggiore distanza tra l'operatore e il microfono, la leggerezza dell'asta utilizzata e la semplicità del movimento.



Figura 28: camera ricevente, vista 1



Figura 29: camera ricevente, vista 2

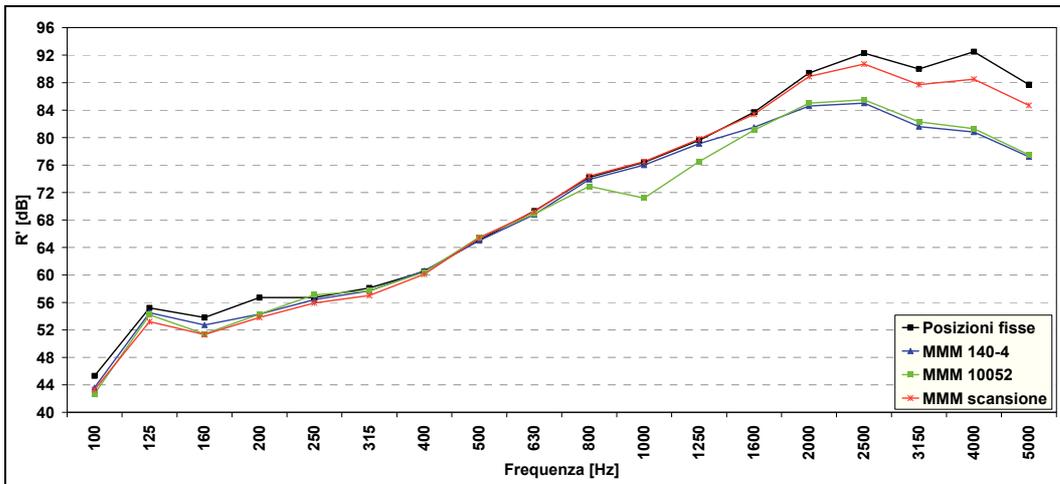


Figura 30: partizione n. 9, confronto tra i quattro metodi di misura in termini di potere fonoisolante R'

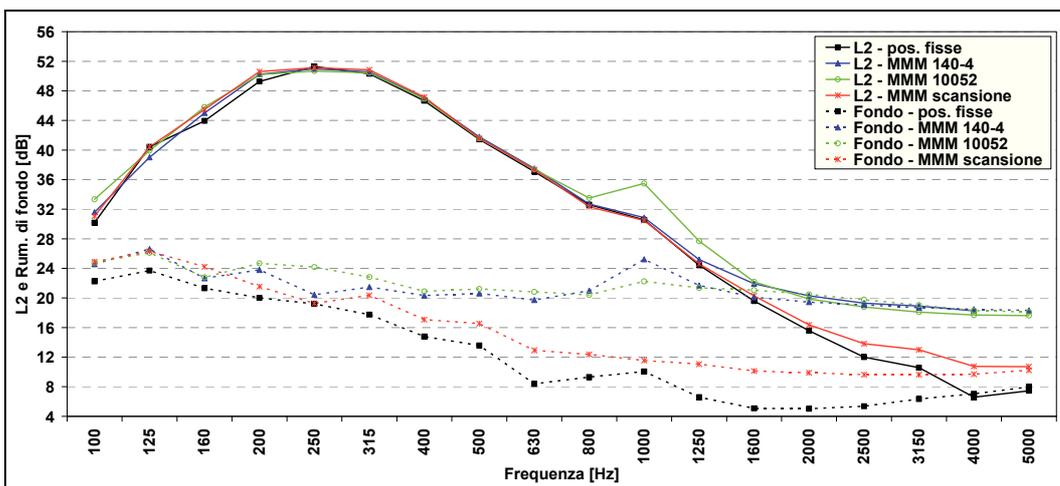


Figura 31: partizione n. 9, confronto tra i quattro metodi di misura in termini di potere fonoisolante R'

2.2.2 Risultati livello di rumore di calpestio $L'n$

In totale sono state effettuate prove su 7 solai diversi, con superfici comprese tra 14 e 33 m². Tutti gli ambienti di prova erano privi dell'arredamento, con un campo sonoro sostanzialmente diffuso.

In Figura 32 e Figura 33 sono riportati i risultati del confronto tra i tre metodi di movimentazione manuale del microfono e le postazioni fisse. Anche in questo caso il calcolo dell'indice di valutazione è stato effettuato per passi di 0.1 dB, per scopi comparativi.

Dal confronto si osserva che, per ciascun elemento in prova, i valori tra gli indici di valutazione relativi ad ogni metodo di misura sono molto simili, con differenze comprese tra 0 e 0.8 dB. Le maggiori differenze si sono ottenute con il metodo basato sulle postazioni fisse. Le diverse modalità di misura basate sulla movimentazione manuale del microfono hanno invece fornito una sostanziale equivalenza.

In merito al grafico della media degli scarti tipo, alle basse frequenze (minori di 200 Hz) il campo acustico nell'ambiente è meno diffuso e il metodo delle posizioni fisse non garantisce una media spaziale adeguata (media scarti tipo compresa tra 3 e 6 dB circa). Al contrario, con le tre tecniche di MMM la media degli scarti tipo è risultata sempre inferiore ai 3 dB. Alle alte frequenze non sono state invece rilevate grosse differenze, data la maggiore diffusività del campo acustico.

Si nota infine che la misura a scansione è del tutto in linea con i risultati e con gli scarti ottenuti dalle altre due modalità di MMM, anche alle basse frequenze.

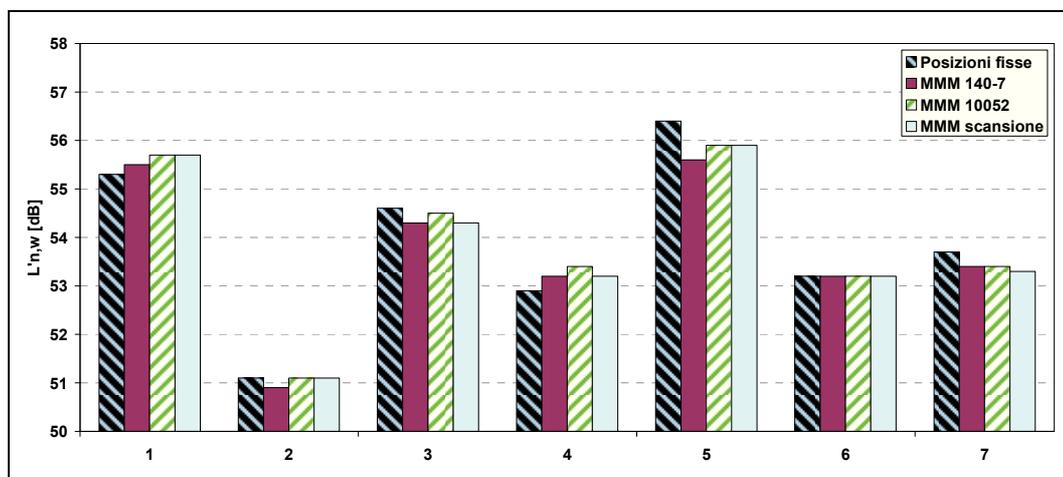


Figura 32: confronto tra i quattro metodi di misura oggetto dello studio, in termini di indice di valutazione $L'n,w$ calcolato per passi di 0.1 dB, per le 7 partizioni

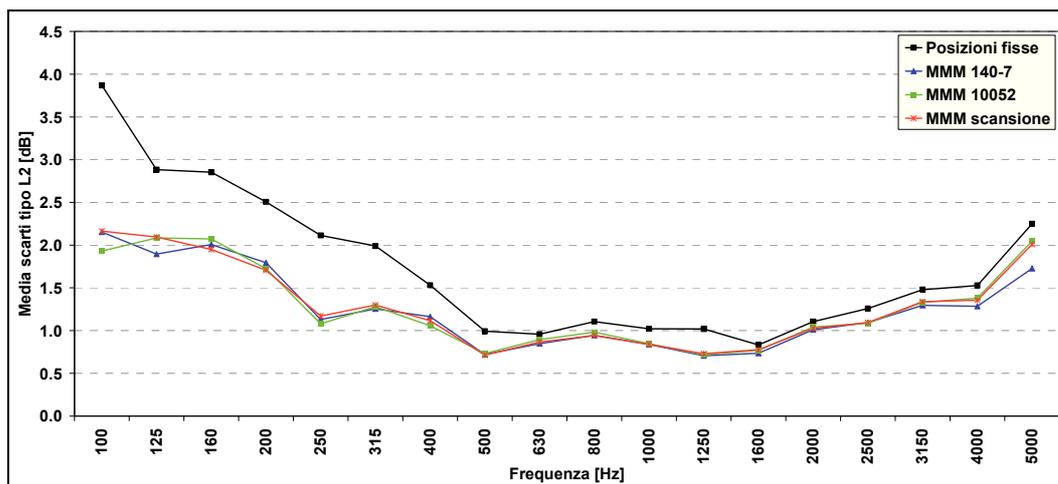


Figura 33: confronto tra gli andamenti in frequenza della media degli scarti tipo relativi al livello L_2 per i quattro metodi di misura

2.3 Variabilità dovuta alla posizione e al tipo di sorgente sonora

Uno dei quesiti tipici formulati dai tecnici che eseguono collaudi dei requisiti acustici passivi degli edifici riguarda la possibile influenza della posizione e della tipologia di sorgente sonora sui risultati delle misurazioni, soprattutto in merito all'isolamento al rumore aereo e di facciata.

Le normative di riferimento per le prove in opera lasciano dei margini di tolleranza nel posizionamento degli altoparlanti, che potrebbero comportare differenze anche importanti tra i risultati, soprattutto in ambienti di prova particolari.

In merito all'isolamento al rumore aereo, la normativa di riferimento (UNI EN ISO 140-4 [13]) specifica che il suono all'interno dell'ambiente emittente deve essere il più diffuso possibile, e a tal fine si limita a consigliare l'utilizzo di sorgenti omnidirezionali ma non esclude l'utilizzo di sorgenti direttive. La stessa normativa poi non fornisce indicazioni specifiche sulla collocazione della sorgente, mentre la normativa UNI EN ISO 140-14 [22], che presenta diversi esempi di procedura di prova per particolari situazioni in opera, colloca la sorgente sonora quasi sempre in corrispondenza degli angoli dell'ambiente emittente.

Sono state quindi valutate le differenze tra sorgenti omnidirezionali e sorgenti direttive, sia tra sorgenti posizionate genericamente all'interno del campo riverberante dell'ambiente emittente e sorgenti posizionate negli angoli dello stesso. La valutazione è stata effettuata utilizzando l'esperimento statistico, definito nella normativa UNI EN ISO 5725-3 [12], applicato a misurazioni effettuate dallo stesso operatore in ambienti di geometria diversa, mantenendo costanti le incertezze dovute al posizionamento del microfono e alla misura del tempo di riverberazione.

Riguardo all'isolamento di facciata, i margini di tolleranza sulla posizione della sorgente sono ancora più ampi, e dipendono soprattutto dalla configurazione della facciata. In questo caso lo studio è stato condotto attraverso una campagna di

misure in opera effettuata in diversi cantieri, caratterizzati da ambienti di prova diversi in termini di forma, dimensioni e campo acustico interno. Le prove sono state effettuate sempre dallo stesso operatore, cercando di volta in volta di mantenere come unico fattore di incertezza la posizione della sorgente sonora.

2.3.1 Risultati isolamento al rumore aereo R' (applicazione esperimento statistico mutuato dalla normativa UNI ISO 5725-3)

La descrizione dettagliata dell'esperimento statistico è riportata nel Paragrafo 1.2.1. Nel caso in esame è stato valutato lo scarto tipo della condizione intermedia per due casi distinti: lo scarto tipo dovuto alla tipologia di sorgente (omnidirezionale o direttiva, CASO STUDIO I) e quello dovuto al posizionamento della sorgente omnidirezionale (negli angoli o all'interno del campo riverberante dell'ambiente, CASO STUDIO II). Per la stima è stato utilizzato un esperimento a tre fattori totalmente in cascata, descritto nella normativa stessa, il cui schema generale, applicato ai due casi studio, è riportato nelle due figure seguenti.

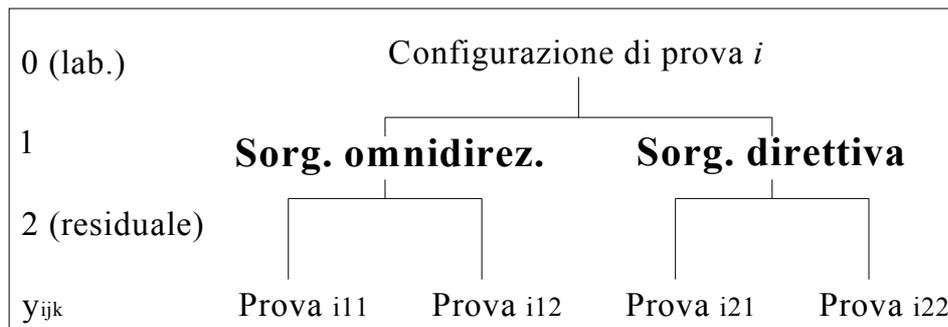


Figura 34: rappresentazione schematica dell'esperimento a tre fattori totalmente in cascata applicata al Caso Studio I (tipologia di sorgente)

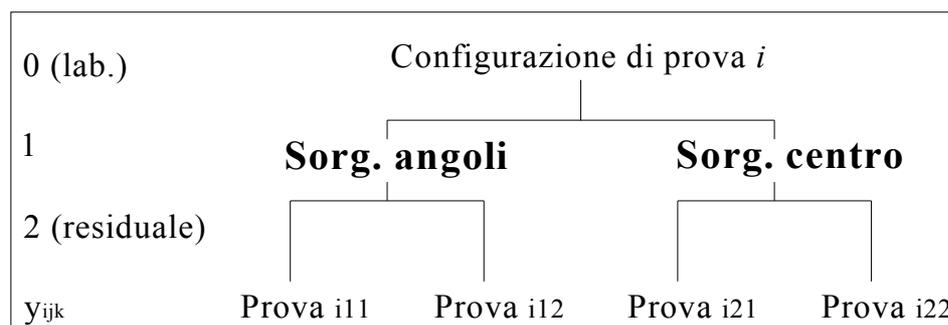


Figura 35: rappresentazione schematica dell'esperimento a tre fattori totalmente in cascata applicata al Caso Studio II (posizione della sorgente)

Ogni configurazione di prova consiste in una coppia di ambienti, l'ambiente sorgente e l'ambiente ricevente, divisi dalla parete sottoposta a prova.

Sono state definite 10 configurazioni di prova: le configurazioni 1, 2, 3 e 8 caratterizzate da ambienti emittenti grandi e di forma irregolare (volumi compresi tra 68 e 85 m³), le restanti da ambienti, sia emittenti che riceventi, di dimensioni

più ridotte e di forma regolare (volumi compresi tra 30 e 40 m³). I primi sette ambienti inoltre erano completamente vuoti e presentavano un tempo di riverberazione molto simile, compreso tra circa 1 e 3 secondi. Le altre tre configurazioni avevano ambienti arredati e di conseguenza presentavano un tempo di riverberazione inferiore, compreso tra 0.5 e 1 secondo.

Il livello intermedio è relativo alla tipologia di sorgente (CASO STUDIO I) o alla posizione della sorgente (CASO STUDIO II).

Riguardo al CASO STUDIO I, in ogni configurazione sono state considerate due tipologie di sorgenti, una omnidirezionale (altoparlante dodecaedrico, Figura 36) e una direttiva (altoparlante direttivo, Figura 37). L'altoparlante direttivo è stato posizionato in modo da evitare che il suono diretto colpisse direttamente la parete di prova o le pareti laterali adiacenti ad essa, secondo quanto consigliato nella parte 4 della serie 140.

Riguardo al CASO STUDIO II, in ogni configurazione è stata considerata la stessa tipologia di sorgente (altoparlante omnidirezionale), posizionato prima in due posizioni prossime agli angoli dell'ambiente (come consiglia la parte 14 della UNI EN ISO 140), poi in due generiche posizioni centrali all'interno del campo riverberante (come indica la parte 4 della 140). In ogni caso sono state sempre rispettate le distanze minime dalle pareti dell'ambiente sorgente.

Riguardo al livello 2 (residuale), per ognuno dei due livelli intermedi sono state effettuate due prove, condotte dallo stesso operatore, con la stessa strumentazione e ad intervalli di tempo brevi, in condizioni quindi di ripetibilità.

Allo scopo poi di rendere il più possibile trascurabili le incertezze dovute all'applicazione del metodo di misura rispetto alle incertezze dovute alla tipologia e posizionamento delle sorgenti di rumore (fattori che si vogliono indagare), per ognuna della quattro prove condotte in ogni configurazione sono state utilizzate le stesse postazioni fisse di microfono nell'ambiente ricevente.

All'inizio di ogni prova è stata sempre effettuata una calibrazione, allo scopo di minimizzare eventuali incertezze strumentali. Infine il tempo di riverberazione è stato misurato una sola volta e applicato alle quattro misurazioni di ogni configurazione. In questo modo gli unici fattori a rimanere variabili sono stati la tipologia di sorgente (per il CASO STUDIO I) e la posizione della sorgente (per il CASO STUDIO II).



Figura 36: altoparlante dodecaedrico



Figura 37: altoparlante direttivo

Attraverso l'analisi della varianza, le cui formulazioni (1), (2), (3) e (4) sono riportate nel Paragrafo 1.2.1, si ottiene la stima della varianza di ripetibilità s_r^2

(che corrisponde all'errore casuale associato allo stesso operatore nell'effettuare due misure sulla stessa parete seguendo la stessa procedura di misurazione) e della varianza della condizione intermedia $s_{(I)}^2$ (che corrisponde alla variabilità dovuta alla tipologia di sorgente o alla variazione di posizione).

Questo parametro è calcolato considerando le escursioni tra le medie della stessa configurazione di prova (sorgente omnidirezionale – sorgente direttiva e sorgente negli angoli – sorgente al centro) e detraendo il contributo della variabilità dovuta all'errore casuale dell'operatore.

CASO STUDIO I - variabilità dovuta alla tipologia di sorgente

Lo scarto tipo di ripetibilità s_r e di condizione intermedia $s_{(I)}$ (relativo alla tipologia di sorgente) in riferimento all'indice di valutazione del potere fonoisolante è riportato di seguito:

$$R'w: \quad s_r = 0.14 \text{ dB} \quad s_{(I)} = \mathbf{0.35 \text{ dB}}$$

Non è stato riportato il valore dello scarto tipo $s_{(0)}$ relativo alla variabilità tra le diverse configurazioni in quanto dato non necessario per lo studio in esame.

I valori dello scarto tipo riferiti all'andamento in frequenza e le escursioni tra le medie degli indici di valutazione di ogni configurazione (che rappresentano la differenza tra le due tipologie di sorgenti) sono riportati nelle due figure seguenti.

I risultati mostrano che la scelta della tipologia di sorgente da utilizzare comporta una differenza media, in termini di indice di valutazione del potere fonoisolante, di circa 0.4 dB.

In termini di andamento in frequenza (Figura 38), si può notare che le differenze maggiori si hanno alle frequenze basse (tra i 100 e i 250 Hz) e alle frequenze alte (tra 1600 e 3150 Hz).

Valutando poi dettagliatamente le escursioni dell'indice di valutazione in ogni singola configurazione di prova, si nota che le differenze oscillano tra un minimo di 0.1 dB e un massimo di 1.1 dB (Figura 39). Le differenze maggiori sono state riscontrate in configurazioni di prova caratterizzate da ambienti piccoli e arredati (con un basso tempo di riverberazione, configurazioni 9 e 10). Ciò è dovuto alla difficoltà nel creare un campo diffuso all'interno dell'ambiente emittente, data appunto la presenza di numerosi elementi assorbenti

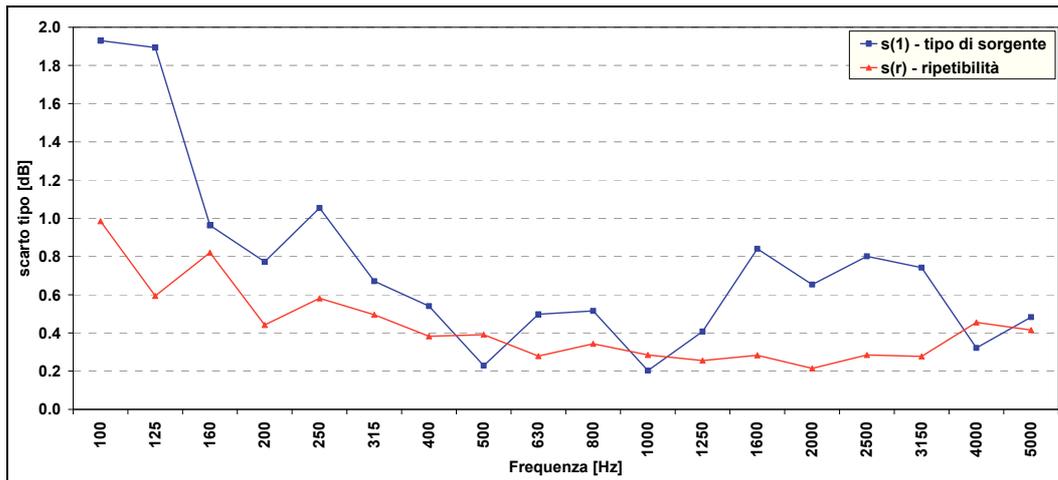


Figura 38: valori dello scarto tipo di ripetibilità e dello scarto relativo alla tipologia di sorgente, riferiti all'andamento in frequenza del potere fonoisolante

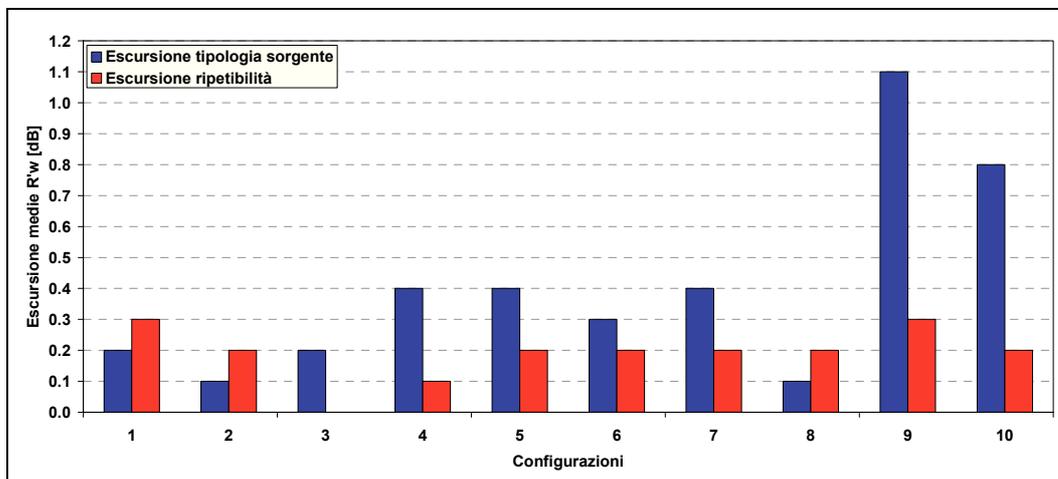


Figura 39: escursioni tra le medie degli indici di valutazione del potere fonoisolante per ogni configurazione

CASO STUDIO II - variabilità dovuta alla posizione della sorgente

Lo scarto tipo di ripetibilità s_r e di condizione intermedia $s_{(1)}$ (relativo alla posizione della sorgente) in riferimento all'indice di valutazione del potere fonoisolante è riportato di seguito:

$$R'w: \quad s_r = 0.14 \text{ dB} \quad s_{(1)} = \mathbf{0.15 \text{ dB}}$$

Anche in questo caso non è stato riportato il valore dello scarto tipo $s_{(0)}$ relativo alla variabilità tra le diverse configurazioni in quanto dato non necessario per lo studio in esame.

I valori dello scarto tipo riferiti all'andamento in frequenza e le escursioni tra le medie degli indici di valutazione di ogni configurazione (che rappresentano la differenza tra le due posizioni della sorgente) sono riportati nelle due figure seguenti.

In questo caso l'incertezza dovuta alla posizione della sorgente assume valori piuttosto piccoli rispetto al caso della diversa tipologia di sorgente. E' anche vero che la maggior parte degli ambienti utilizzati non si prestavano a grosse differenze nella collocazione della sorgente.

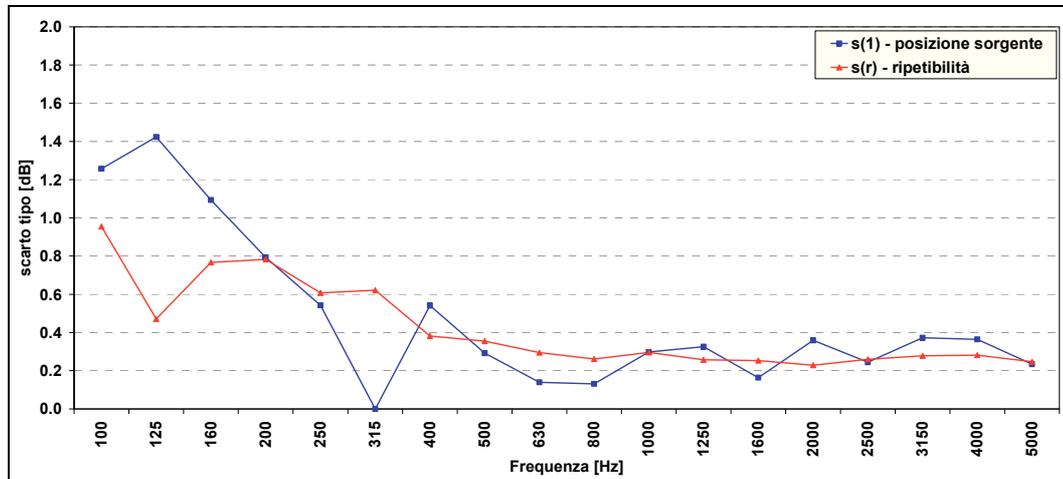


Figura 40: valori dello scarto tipo di ripetibilità e dello scarto relativo alla posizione della sorgente, riferiti all'andamento in frequenza del potere fonoisolante

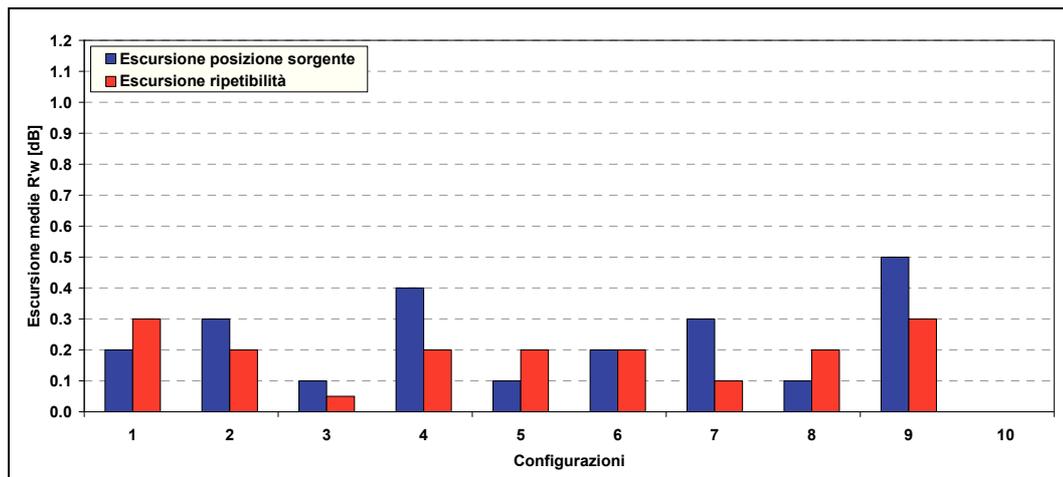


Figura 41: escursioni tra le medie degli indici di valutazione del potere fonoisolante per ogni configurazione

2.3.2 Risultati isolamento acustico di facciata

L'effetto della posizione dell'altoparlante è stato studiato affrontando due configurazioni piuttosto comuni. La prima configurazione è riferita a due facciate situate entrambe al piano secondo di un edificio residenziale, una con balcone e una senza balcone: per ogni facciata è stato effettuato un confronto tra un numero elevato di posizioni dell'altoparlante che garantivano un angolo di incidenza del suono pari a 45° , come richiesto dalla normativa. La seconda configurazione è riferita a due facciate d'angolo, che includevano sia una parete finestrata che una parete opaca: anche in questo caso sono stati confrontati i risultati ottenuti

ponendo la sorgente sonora in diverse posizioni, rimanendo sempre all'interno delle tolleranze lasciate dalla normativa.

CASO STUDIO I – variabilità dovuta all'angolo di incidenza dell'altoparlante

La procedura di misura descritta nella UNI EN ISO 140-5 [42] per il metodo globale con altoparlante precisa che l'altoparlante dovrebbe essere posizionato preferibilmente sul terreno, ad una distanza $d > 5$ m perpendicolare alla facciata, con un angolo di incidenza del suono pari a $(45^\circ \pm 5^\circ)$.

Considerando una facciata a più di 5 m di altezza dal terreno, la posizione più vicina è quella situata di fronte al centro della facciata, con l'altoparlante orientato a 45° in senso verticale (Figura 42, immagine di sinistra). Gli altri punti in cui posizionare l'altoparlante possono essere individuati "uscendo" dal centro della facciata con una serie di raggi inclinati a 45° rispetto al piano della facciata stessa: l'insieme di tutti i raggi forma in questo modo un cono, con vertice sul centro della facciata (Figura 42, immagine centrale). Il posizionamento dell'altoparlante in corrispondenza di uno qualsiasi di questi raggi garantisce un'incidenza del suono di 45° sulla facciata. Se si intende posizionare l'altoparlante sempre a terra, come consigliato dalla normativa, il luogo dei punti individuato dalla proiezione dei raggi del cono sul terreno costruisce la figura dell'iperbole equilatera (Figura 42, immagine di destra).

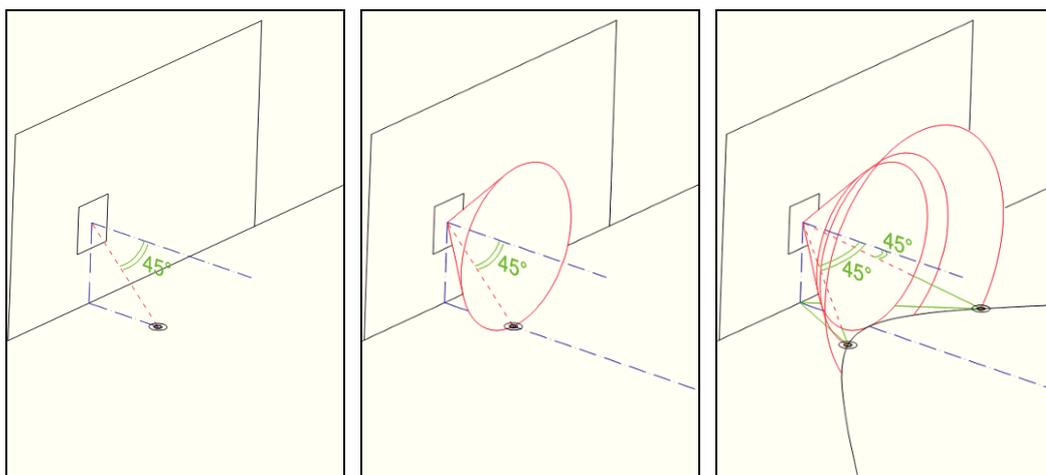


Figura 42: esempio di costruzione dell'iperbole equilatera (luogo dei punti a terra in cui posizionare l'altoparlante per avere un angolo di incidenza del suono di 45° sulla facciata in prova) tramite cono inclinato 45° rispetto alla normale riferita al centro della facciata

Le misurazioni sono state effettuate su due diverse facciate, entrambe con portafinestra, situate al piano secondo (a circa 7 m dal terreno): una facciata piana (senza balcone) e una facciata con balcone. Per ogni facciata sono state condotte diverse prove, in ognuna delle quali l'unico fattore di variabilità è stato la posizione dell'altoparlante, posto in diversi punti sull'iperbole equilatera, a distanze sempre maggiori, sia nella parte destra dell'iperbole che nella parte sinistra (Figura 43 e Figura 44). Nella prova sulla facciata senza balcone le postazioni scelte a sinistra e destra erano tutte simmetriche tra loro, mentre nella facciata con balcone solamente le prime sette posizioni erano simmetriche.

Oltre alle posizioni sull'iperbole, per entrambe le facciate sono state effettuate misurazioni anche in altre due posizioni a terra, situate a 45° in pianta rispetto al piano della facciata (Figura 45). Questa interpretazione della normativa è da considerarsi errata in quanto non garantisce un angolo di incidenza di 45° del suono sulla facciata: la prova ha quindi lo scopo di verificare se ciò comporta anche uno scostamento rispetto ai risultati ottenuti posizionando l'altoparlante in maniera corretta.

In tutte le prove su una stessa facciata sono state mantenute costanti le posizioni microfoniche interne alla camera di prova (per la misura di L_2), la posizione del microfono esterno alla facciata (per la misura di L_1) e la misura del tempo di riverberazione. Il rumore di fondo è stato trascurabile in tutte le misurazioni.



Figura 43: vista delle posizioni dell'altoparlante nelle misure in opera, per la facciata senza balcone



Figura 44: vista delle posizioni dell'altoparlante nelle misure in opera, per la facciata con balcone

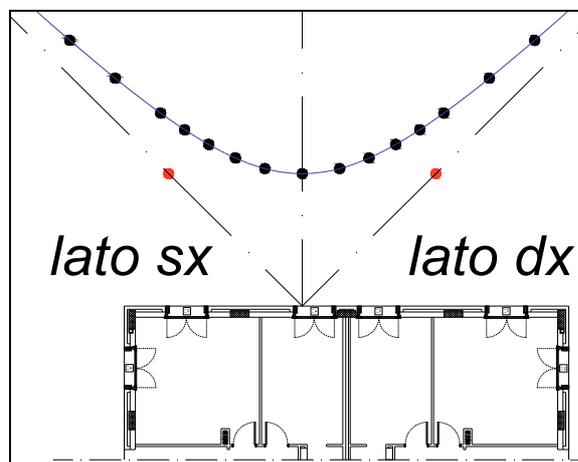


Figura 45: visualizzazione in pianta dell'iperbole equilatera con indicazione delle postazioni dell'altoparlante scelte per la prova sulla facciata senza balcone (sia quelle sull'iperbole che quelle al di fuori, non corrette)

Il confronto, per entrambe le facciate, tra gli indici di valutazione dell'isolamento acustico di facciata (calcolati a passi di 0.1 dB a scopi comparativi) per le posizioni dell'altoparlante sul lato destro e sul lato sinistro della facciata, è riportato nei grafici della figure seguenti.

L'andamento dei risultati relativamente alla facciata senza balcone (Figura 46) evidenzia che l'indice di valutazione tende a decrementare in maniera piuttosto netta nelle prime posizioni e poi a stabilizzarsi. Tale andamento è dovuto al fatto che le prime posizioni sono caratterizzate da uno spostamento della sorgente prettamente in direzione orizzontale, per cui le direzioni di puntamento della sorgente stessa subiscono una variazione maggiore. Invece le posizioni più lontane dell'iperbole hanno una caratteristica asintotica, per cui la variazione di direzione della sorgente è inferiore man mano che ci si allontana.

I valori con la sorgente posizionata sul lato sinistro sono risultati più elevati perché, come si nota nella Figura 45, la portafinestra della facciata (il punto più debole) era più spostata verso destra rispetto al centro, per cui il suono proveniente dall'altoparlante posizionato sul lato sinistro incideva maggiormente sulla parete opaca e in maniera minore sulla portafinestra, rispetto all'altoparlante posizionato sul lato destro.

In merito alla facciata con balcone (Figura 47), l'andamento dei valori risulta più variabile, ma l'andamento tendenziale risulta essere in linea con la facciata precedente: si nota infatti un decremento più netto nelle postazioni iniziali e una certa stabilità nei risultati ottenuti con la sorgente in posizioni più lontane. Il valore anomalo ottenuto alla distanza di 13.7 m sul lato sinistro è dovuto alla presenza di una colonna esterna del balcone che ha parzialmente mascherato il suono proveniente dall'altoparlante: infatti dopo un'analisi più dettagliata si è notato che i valori di L_1 non risultano alterati mentre invece i valori di L_2 , misurati all'interno della stanza, sono risultati molto più bassi rispetto alle altre misurazioni.

In entrambe le facciate si è registrata una variabilità massima compresa tra 1.5 e 2 dB circa.

Infine, per entrambe le facciate si può notare che i valori ottenuti posizionando la sorgente in maniera errata risultano piuttosto scorrelati dagli altri valori.

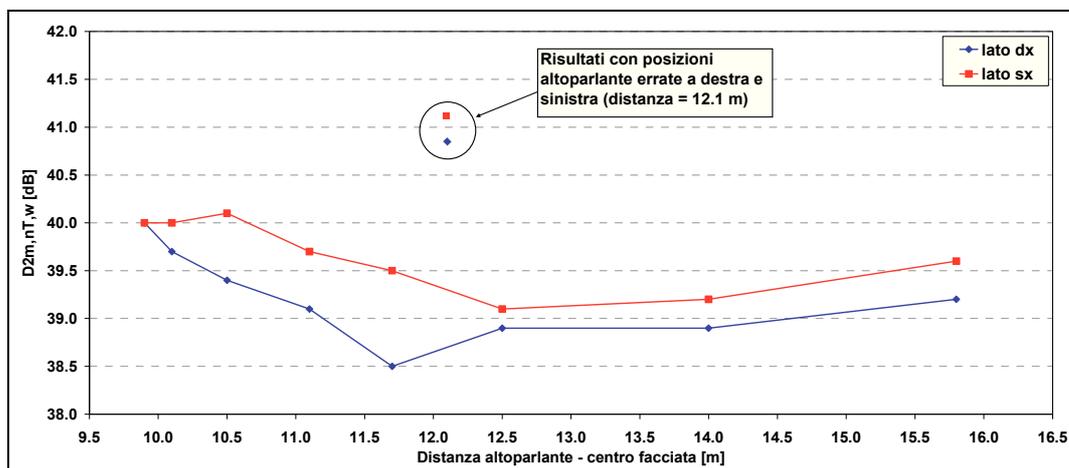


Figura 46: andamento degli indici di valutazione dell'isolamento acustico di facciata in funzione della distanza della sorgente dal centro della facciata per la facciata senza balcone, con confronto tra i valori ottenuti con la sorgente posizionata sul lato destro e sinistro della facciata

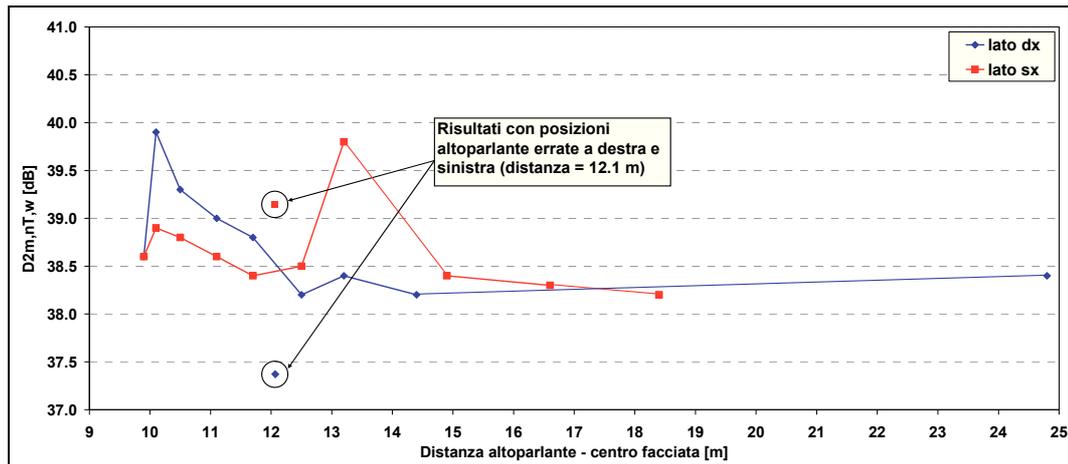


Figura 47: andamento degli indici di valutazione dell'isolamento acustico di facciata in funzione della distanza della sorgente dal centro della facciata per la facciata con balcone, con confronto tra i valori ottenuti con la sorgente posizionata sul lato destro e sinistro della facciata

CASO STUDIO II – variabilità per facciate d'angolo al piano terra

In caso di stanze molto grandi o con più di un muro esterno la normativa specifica che devono essere utilizzate un numero adeguato di posizioni della sorgente (in funzione delle caratteristiche di direzionalità dell'altoparlante e dell'area della facciata) e che l'isolamento acustico totale deve essere mediato energeticamente tra tutte le posizioni.

L'analisi è stata quindi condotta riferendosi ad una condizione che si rileva piuttosto comunemente in opera: una facciata d'angolo situata al piano terra costituita da una parete opaca e una parete finestrata.

Sono state testate in totale due facciate d'angolo, per ognuna delle quali sono state utilizzate quattro posizioni dell'altoparlante, direzionate a 45° verso il centro sia della parete opaca che della parete finestrata (Figura 48 e Figura 49).

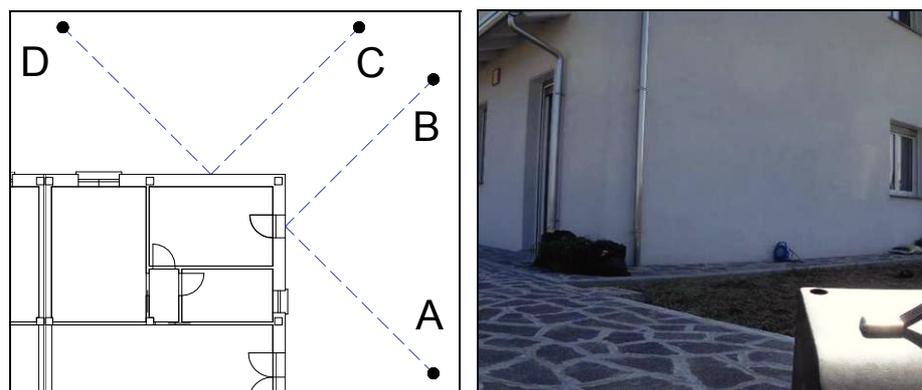


Figura 48: Facciata 1, individuazione delle posizioni dell'altoparlante (sinistra) e foto della posizione C (destra)

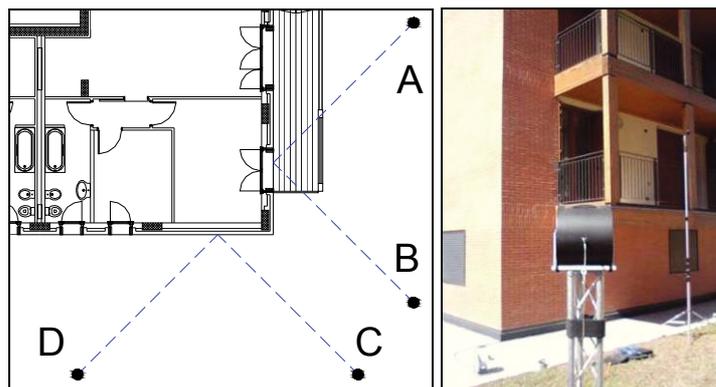


Figura 49: Facciata 2, individuazione delle posizioni dell'altoparlante (sinistra) e foto della posizione B (destra)

Per ogni muro esterno di ogni facciata l'operatore ha la libertà di scegliere quale delle due posizioni di altoparlante adottare: l'intenzione è quindi di quantificare le differenze, in termini di indice di valutazione, tra le quattro possibili combinazioni di posizione di sorgente che possono essere scelte (A+D, A+C, B+C, B+D).

Anche in questo caso per ogni prova sono state mantenute costanti le variabilità relative alle posizioni di misura di L_1 , L_2 e il risultato del tempo di riverberazione, inoltre il rumore di fondo è stato sempre trascurabile.

I risultati ottenuti, per ogni facciata d'angolo, sono riportati nella tabella seguente. Come ampiamente prevedibile i valori migliori sono dati dalla combinazione A+D, dovuti ovviamente alla posizione D con il suono incidente esclusivamente sulla parete opaca, e i valori peggiori con la combinazione B+C, dovuti al fatto che la scelta della posizione C comportava che un percentuale più o meno importante del suono entrasse comunque dal serramento. La differenza tra le due combinazioni sopracitate, per la Facciata 1 è pari a 1 dB, per la Facciata 2 è pari a circa 3 dB: tale divario è dovuto sia alle diverse prestazioni delle due pareti opache (indice di valutazione di 44.9 dB per la Facciata 1 e 49.7 dB per la Facciata 2), sia alla conformazione dell'ambiente ricevente: la minore profondità, rispetto al serramento, dell'ambiente della Facciata 2 comporta un maggiore contributo di rumore passante dal serramento proveniente dalla posizione C. Si nota infatti che per la Facciata 2 non c'è differenza tra i valori ottenuti con la sorgente in posizione B e C, mentre invece per la Facciata 1 la differenza è di 3 dB. Anche se per la normativa tutte le combinazioni utilizzate sono legittime, si ritiene comunque che la combinazione più corretta sia A+D, in quanto entrambe le posizioni A e D sono le uniche che permettono di verificare la prestazione di ogni singola parete esterna rendendo trascurabile il contributo dell'altra parete.

Tabella 20: confronto indici di valutazione isolamento acustico di facciata per ogni posizione di sorgente e nelle quattro combinazioni di sorgente

Facciat a	Indice di valutazione per ogni posizione di sorgente [dB]				Combinazioni posizioni sorgente [dB]				Diff. massima (A+D) – (B+C) [dB]
	A	B	C	D	A+D	A+C	B+C	B+D	
1	40.6	40.0	43.0	44.9	42.2	41.3	41.2	41.9	1.0
2	41.3	40.8	40.9	49.7	43.7	41.1	40.9	43.3	2.8

3. La classificazione acustica degli edifici: la variabilità nella scelta del campione per edifici seriali e non seriali

3.1 Aspetti principali e problematiche della normativa UNI 11367

La normativa UNI 11367 [4] sulla classificazione acustica degli edifici si propone di descrivere i criteri per la misurazione e la valutazione dei principali requisiti acustici passivi degli edifici, allo scopo di classificare acusticamente le singole unità immobiliari.

Il principio base di questa norma è che la classificazione acustica dell'unità immobiliare deve essere basata su misure eseguite in opera, ad edificio completato, su tutti gli elementi tecnici misurabili.

I valori dei parametri descrittivi delle caratteristiche prestazionali degli elementi tecnici da utilizzare ai fini della classificazione acustica sono riportati in Tabella 21.

Tabella 21: valori di classificazione acustica per ogni requisito

Classi	$D_{2m,nT,W}$ [dB]	R'_w [dB]	$L'_{n,W}$ [dB]	L_{ic} [dB]	L_{id} [dB]
I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42

In caso di edifici con caratteristiche seriali, cioè con elementi tecnici che si ripetono secondo schemi che dipendono da caratteristiche distributive, organizzative e funzionali degli ambienti delle unità immobiliari, la normativa prevede (alle appendici G ed H) la possibilità di adottare criteri di campionamento, per ciascun requisito acustico, al fine di ridurre il numero di prove. Tale campionamento si basa sull'individuazione di insiemi omogenei di elementi da cui ricavare le prestazioni acustiche rappresentative dell'intero gruppo ed estendibili a tutti gli elementi tecnici con le stesse caratteristiche, adottando un'apposita incertezza di campionamento.

Il criterio di campionamento presuppone che all'interno di ogni gruppo omogeneo deve essere selezionato un numero di elementi tecnici pari al 10% e comunque non minore a tre, sui quali effettuare le misurazioni.

Una delle principali fonti di variabilità consiste quindi nella scelta degli elementi tecnici sui quali eseguire le prove in opera. Teoricamente le prestazioni dei campioni scelti all'interno di ogni gruppo omogeneo non dovrebbero discostarsi eccessivamente tra di loro, con differenze massime indicative comprese tra 2 e 3 dB. Tuttavia la presenza di errori di posa o di condizioni al contorno particolari potrebbero comportare differenze anche elevate tra due campioni appartenenti allo stesso gruppo omogeneo. La diretta conseguenza è l'aumento dell'incertezza di campionamento e quindi una penalizzazione eccessiva per gli elementi tecnici considerati.

Un ulteriore aspetto problematico della UNI 11367 riguarda la determinazione della classificazione acustica per edifici con caratteristiche non seriali, con un elevato numero di unità immobiliari. La normativa in questo caso non fornisce indicazioni specifiche, per cui, in linea generale, dovrebbero essere eseguite misurazioni su tutte le unità immobiliari di tutto il complesso edilizio. Questa strada è tuttavia difficilmente percorribile, data l'onerosità che comporterebbe in termini di numero di prove.

Un percorso alternativo è l'applicazione del criterio di campionamento previsto per gli edifici seriali. In questo caso, considerando i sistemi edilizi più frequenti (residenziali e non), si hanno solitamente tipologie con un ridotto numero di elementi tecnici omogenei e quindi con un elevato numero di gruppi; il numero di misure rimane pertanto elevato in relazione al sistema edilizio da classificare. In queste situazioni, oltre a rimanere valide le problematiche di selezione del campione evidenziate sopra, anche l'approccio statistico stesso alla base del calcolo dell'incertezza di campionamento risulta poco attendibile.

Per ovviare a queste problematiche è attualmente in fase di discussione la specifica tecnica UNI U20002150 [9] relativa all'applicazione della normativa UNI 11367 ad edifici con caratteristiche non seriali. Lo scopo del rapporto tecnico è quello di fornire indicazioni per selezionare la unità immobiliari più critiche di un complesso edilizio non seriale, nelle quali eseguire tutte le misurazioni al fine di determinare la classificazione acustica.

Le problematiche sopracitate sono state studiate presso un complesso residenziale di nuova costruzione con caratteristiche non seriali, in cui sono state eseguite quasi tutte le misurazioni in opera per i requisiti di isolamento al rumore aereo, isolamento di facciata e calpestio.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti applicando sia il criterio di campionamento per edifici seriali sia la procedura prevista nelle Linee Guida per edifici non seriali.

3.2 Campagna di misurazioni in opera per la classificazione acustica di un edificio con caratteristiche non seriali

E' stato considerato un sistema edilizio composto da 24 unità immobiliari e disposto su 6 piani (figure seguenti), con caratteristiche che possono essere ricondotte ad un edificio non seriale. Al piano terra sono presenti garage e vani tecnici, ai piani superiori sono presenti le unità immobiliari. Le unità immobiliari del piano quinto sono duplex, per cui presentano stanze anche al piano sesto.

Sono state effettuate misurazioni in opera di isolamento acustico di facciata, di isolamento al rumore aereo di pareti e solai e di livello di rumore di calpestio, seguendo le procedure descritte dalle corrispondenti normative UNI EN ISO della serie 140. Non è stato possibile effettuare le prove sugli impianti.

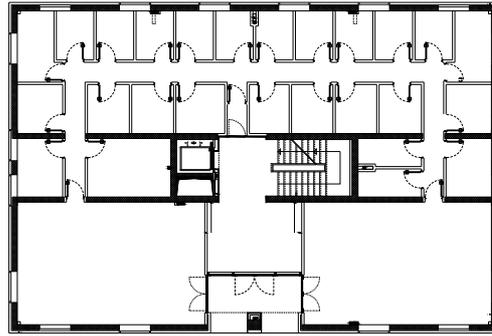


Figura 50: pianta piano terra (piano tecnico)

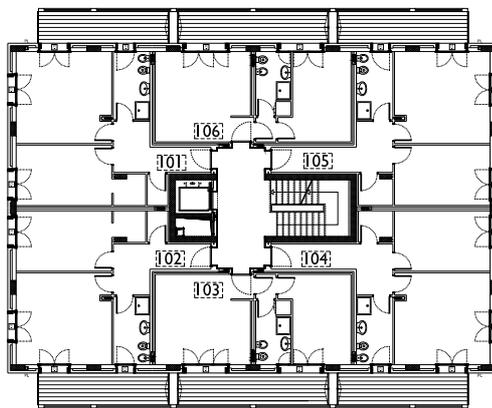


Figura 51: pianta piano primo

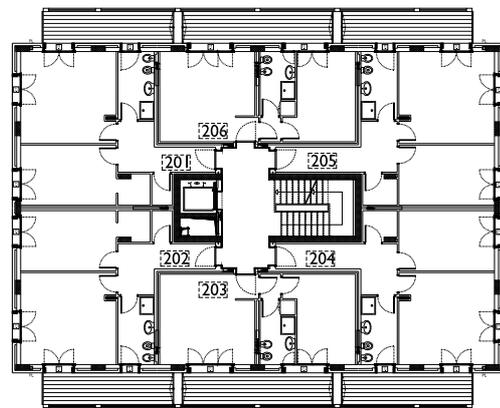


Figura 52: pianta piano secondo

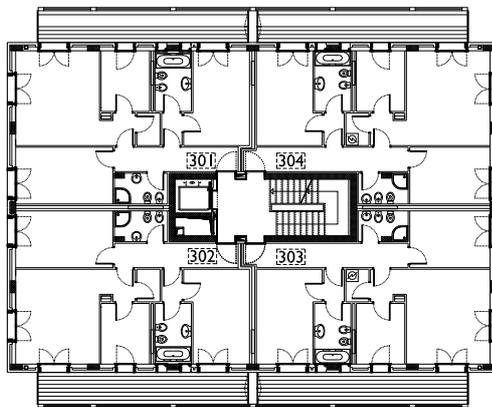


Figura 53: pianta piano terzo

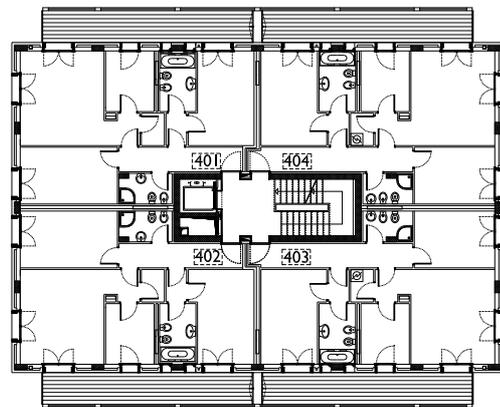


Figura 54: pianta piano quarto

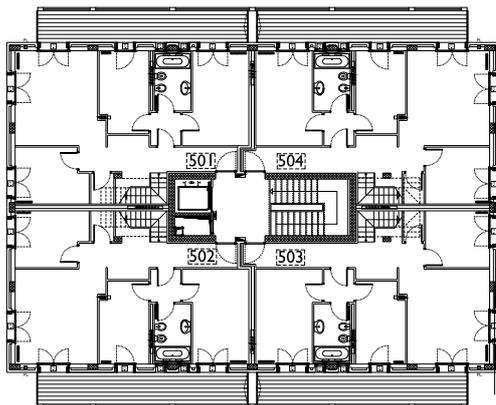


Figura 55: pianta piano quinto

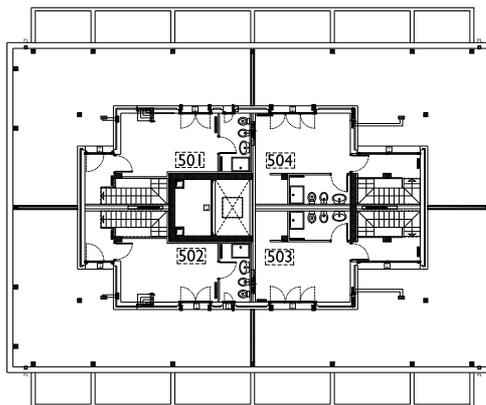


Figura 56: pianta piano sesto (duplex)

Di seguito è riportata la tabella riepilogativa (Tabella 22) con evidenziati, per ogni requisito, tutti gli elementi tecnici misurabili, quelli effettivamente misurati, la media energetica (riferita ai “valori utili”, cioè quelli già corretti con le relative incertezze di misura) e il relativo scarto tipo, che fornisce indicazioni sulla variabilità dei risultati ottenuti.

Il complesso residenziale presentava quindi un totale di 284 elementi tecnici misurabili: tra questi sono state effettuate tutte le prove di isolamento aereo di pareti e di calpestio, il 72% circa di prove di facciata e il 15 % circa di prove di isolamento aereo di solai. In quest’ultimo caso infatti è stata notata una variabilità tra i risultati molto limitata (pari a 0.7 dB), per cui non è stato ritenuto necessario effettuare altre prove. Al contrario la variabilità dei risultati per gli altri requisiti, in particolare per il livello di calpestio, è stata più elevata, il che potrebbe essere dovuto a diversi fattori (posa in opera e condizioni al contorno dell’ambiente).

Tabella 22: riepilogo misure effettuate e risultati

Requisiti	$D_{2m,nT}$	R'_{pareti}	R'_{solai}	L'_n	L_{id}	Totale
Num. elem. misurabili	76	16	68	56	68	284
Num. elem. misurati	55	16	10	56	--	137
Media energ. valori utili [dB]	35	50	55	62	--	--
Scarto tipo [dB]	2.4	2.6	0.7	5.3	--	--

Allo scopo di definire la Classe acustica di ogni unità immobiliare, agli elementi tecnici non misurati è stato associato comunque un valore medio, calcolato sulla base dei valori misurati. E’ stata quindi applicata la procedura per definire, per ogni unità immobiliare, la Classe acustica per requisito e per unità immobiliare. I risultati sono riportati nei grafici delle figure seguenti.

In merito alla classificazione per unità immobiliare (Figura 57), il 4% delle unità immobiliari è risultato in Classe II, il 92% in Classe III e il 4% in Classe IV.

Il requisito che ha fornito risultati migliori è stato il potere fonoisolante, con circa il 60% di unità immobiliari in Classe II (Figura 58): tale risultato è dovuto soprattutto ai valori ottenuti per l’isolamento al rumore aereo dei solai, con un valore medio intorno ai 55 dB.

Le problematiche e le variabilità nella regolazione dei serramenti hanno comportato risultati scarsi per l'isolamento acustico di facciata, con la maggior parte delle unità immobiliari in Classe IV.

I risultati di livello di rumore di calpestio hanno avuto una variabilità piuttosto elevata, come spiegato in precedenza, e questo ha comportato una certa dispersione di unità immobiliari soprattutto tra le classi II, III e IV.

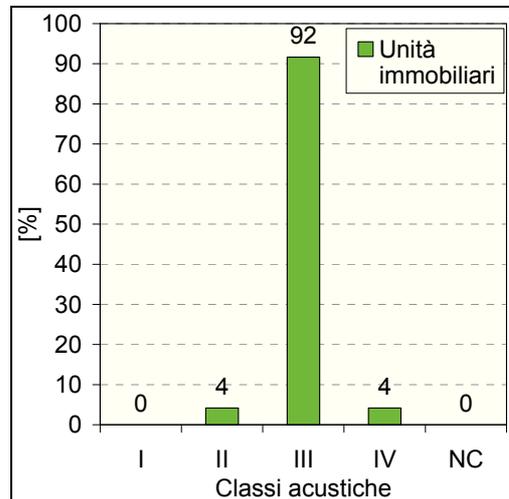


Figura 57: percentuale totale di unità immobiliari nelle diverse classi

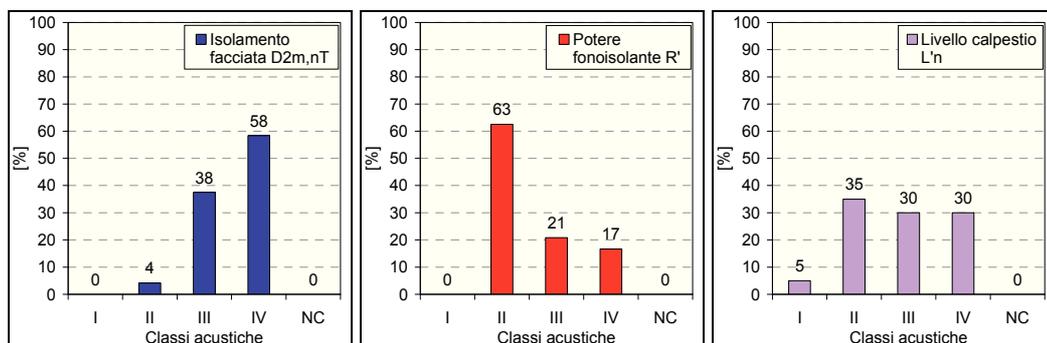


Figura 58: percentuale di unità immobiliari nelle diverse classi per i tre requisiti misurati

3.3 Classificazione edificio in esame mediante procedura di campionamento prevista per edifici con caratteristiche seriali

La procedura si basa sull'individuazione di gruppi omogenei, considerati tali se formati da elementi tecnici nominalmente uguali e se soddisfano una serie di condizioni, riportate nella normativa relativamente ad ogni requisito: la tipologia di elemento in prova, le condizioni di vincolo, la procedura di misura, la tecnica di posa e le dimensioni dell'elemento e degli ambienti di prova.

Riguardo quest'ultima condizione la normativa ammette tolleranze dimensionali, sulla superficie delle partizioni di prova e sul volume degli ambienti sorgente e ricevente, non superiori al 20%. All'interno di ogni gruppo omogeneo si deve poi

individuare un campione di elementi tecnici, su cui effettuare le misure, pari al 10% e con un minimo di 3 elementi.

Per il complesso edilizio in esame, nella tabella seguente sono riportati il numero di gruppi omogenei e di campioni individuati per ogni requisito.

Nel sistema edilizio in esame sono stati individuati 30 gruppi omogenei e 54 elementi singoli, per un totale di 144 campioni su cui eseguire altrettante misurazioni.

In questo caso il numero di prove da effettuare si è dimezzato, anche se rimane comunque elevato: la ragione principale è da ricercare proprio nel fatto che il complesso edilizio non è prettamente seriale, per cui presenta unità immobiliari che non si ripetono in maniera frequente. Tale configurazione crea un numero eccessivo di gruppi omogenei e di elementi singoli, il che comporta l'individuazione di più campioni e quindi di più prove. E' importante specificare che con il termine "elementi singoli" si intendono anche quei gruppi omogenei costituiti da due soli campioni, dato che il numero minimo di campioni per ogni gruppo omogeneo deve essere pari a tre.

Tabella 23: riepilogo numero di gruppi omogenei e di campioni per ogni requisito, campionamento con procedura prevista per edifici seriali

Requisiti	$D_{2m,nT}$	R'_{pareti}	R'_{solai}	L'_n	L_{id}	Totale
Num. elem. misurabili	76	16	68	56	68	284
Num. gruppi omogenei	6	2	6	6	10	30
Num. elem. singoli	4	2	20	8	20	54
Num. tot. campioni	22	8	38	26	50	144

All'interno di ogni gruppo omogeneo sono stati sempre individuati un minimo di tre e un massimo di sedici elementi tecnici, il che ha presupposto sempre la scelta di tre campioni per ogni gruppo.

Allo scopo di analizzare la variabilità legata alla scelta del campione, la procedura di selezione dei tre elementi tecnici da considerare non è stata eseguita in maniera casuale. Per ogni requisito e per ogni gruppo omogeneo sono state individuate quattro possibili configurazioni:

- la scelta dei tre campioni peggiori in termini di risultato ottenuto in opera (denominata in seguito "P-P-P");
- la scelta dei due campioni peggiori e del campione migliore ("P-P-M");
- la scelta dei due campioni migliori e del campione peggiore ("P-M-M");
- la scelta dei tre campioni migliori ("M-M-M").

Ovviamente si tratta di scelte limite, in quanto difficilmente si individueranno, in maniera casuale, sempre i campioni tutti peggiori o tutti migliori. Tuttavia l'interesse dello studio è proprio quello di analizzare, per un caso pratico, quale possa essere la maggiore variabilità ottenibile all'interno del margine di scelta lasciato all'operatore nella selezione degli elementi tecnici da misurare.

Sono stati poi considerati i tre livelli di fiducia proposti dalla normativa (pari al 70%, 75% e 80%). Anche in questo caso l'interesse consiste nell'indagare le differenze tra i risultati ottenuti in funzione del livello di fiducia scelto dall'operatore.

3.3.1 Risultati classificazione con procedura di campionamento UNI 11367

I risultati, riferiti alla distribuzione delle unità immobiliari nelle diverse classi acustiche, sono riportati nella Tabella 24. I valori sono in forma percentuale.

Si può notare innanzitutto che non ci sono differenze tra i valori ottenuti con un livello di fiducia del 70% e del 75%, per tutte le configurazioni di selezione dei campioni. Per il livello di fiducia dell'80% si nota invece che la distribuzione di unità immobiliari più negativa non è quella con i tre campioni peggiori ("P-P-P"), ma quella con i due campioni peggiori ed il campione migliore ("P-P-M"). Inoltre per la configurazione con il campione peggiore e i due campioni migliori ("P-M-M") è stato ottenuto lo stesso risultato della configurazione "P-P-P".

Questi risultati sono dovuti all'incertezza di campionamento, che è tanto maggiore quanto maggiore è l'escursione tra i campioni di uno stesso gruppo omogeneo. Questo è il motivo per cui i risultati peggiori, con livello di fiducia pari all'80%, non sono riferiti alla configurazione con tutti i campioni peggiori, bensì alle configurazioni intermedie con almeno un campione peggiore ed un campione migliore, in cui appunto l'escursione tra i risultati è più elevata.

Il risultato peggiore e il risultato migliore, indicati in tabella con delle celle colorate, caratterizzano i due risultati estremi che potrebbe ottenere il tecnico nella scelta dei campioni e del livello di fiducia. Si può notare che la differenza è piuttosto marcata, con il risultato migliore caratterizzato da una distribuzione di unità immobiliari in Classe II (33%) e soprattutto in Classe III (67%), scegliendo un livello di fiducia del 70% (o 75%) e selezionando tutti i campioni migliori. Il risultato peggiore è caratterizzato invece da unità immobiliari equamente divise nelle classi III, IV e NC, scegliendo un livello di fiducia dell'80% e in caso di selezione di due campioni con prestazione bassa ed uno con prestazione alta.

Tabella 24: distribuzione percentuale delle unità immobiliari nelle diverse classi in funzione della configurazione scelta, con indicati il risultato migliore (in verde) e peggiore (in arancione)

Livello di fiducia	70%					75%					80%				
	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC
U.I. in conf. P-P-P [%]	--	--	33	67	--	--	--	33	67	--	--	--	33	67	--
U.I. in conf. P-P-M [%]	--	--	33	67	--	--	--	33	67	--	--	--	33	33	33
U.I. in conf. P-M-M [%]	--	--	67	33	--	--	--	67	33	--	--	--	33	67	--
U.I. in conf. M-M-M [%]	--	33	67	--	--	--	33	67	--	--	--	33	67	--	--

Il confronto è stato eseguito anche per ogni singolo requisito (isolamento acustico di facciata, isolamento al rumore aereo e livello di rumore di calpestio).

Di seguito sono riportati i risultati, sia in forma tabellare che in forma di grafico.

Isolamento acustico di facciata

Anche in questo caso la configurazione peggiore risulta essere quella con i due campioni peggiori e il campione migliore, per il livello di fiducia dell'80%, con la maggior parte delle unità immobiliari NC.

Con i livelli di fiducia del 70% e 75%, le tre configurazioni con almeno un elemento peggiore ("P-P-P", "P-P-M", "P-M-M") hanno fornito lo stesso risultato, con tutte le unità immobiliari in Classe IV. La configurazione derivante dalla scelta dei tre campioni migliori ha comportato invece una distribuzione delle unità immobiliari prevalentemente in Classe III.

La differenza tra i due risultati estremi ottenibili è quindi anche in questo caso abbastanza elevata, con la maggioranza di unità immobiliari passate dalla Classe III a NC.

Tabella 25: distribuzione percentuale delle unità immobiliari nelle diverse classi, per il requisito di isolamento acustico di facciata, in funzione della configurazione scelta, con indicati il risultato migliore (in verde) e peggiore (in arancione)

ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA $D_{2m,nT}$															
Livello di fiducia	70%					75%					80%				
Classi	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC
U.I. in conf. P-P-P [%]	--	--	--	100	--	--	--	--	100	--	--	--	--	100	--
U.I. in conf. P-P-M [%]	--	--	--	100	--	--	--	--	100	--	--	--	--	33	67
U.I. in conf. P-M-M [%]	--	--	--	100	--	--	--	--	100	--	--	--	--	100	--
U.I. in conf. M-M-M [%]	--	--	67	33	--	--	--	67	33	--	--	--	67	33	--

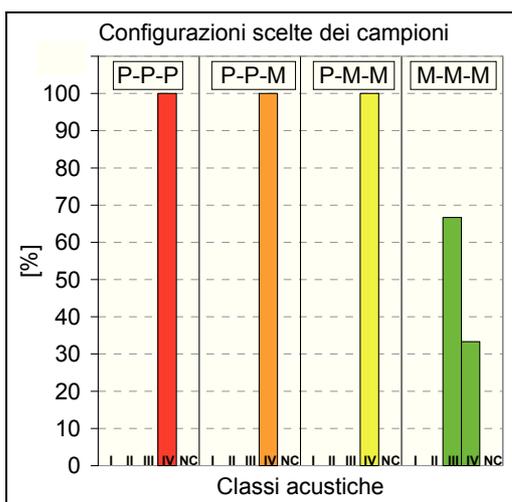


Figura 59: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per l'isolamento di facciata – livello di fiducia del 70% e 75%

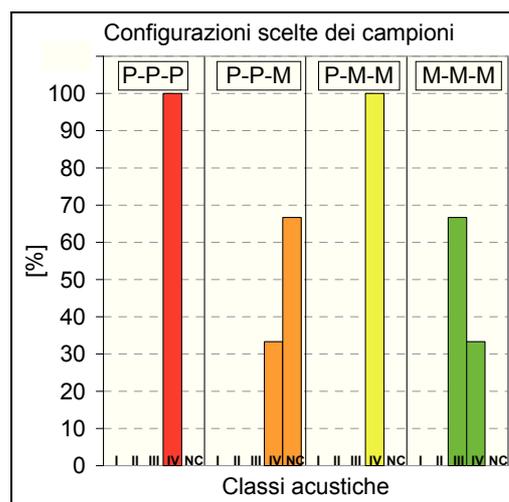


Figura 60: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per l'isolamento di facciata – livello di fiducia del 80%

Isolamento al rumore aereo

Analogamente al requisito di isolamento di facciata, per l'isolamento al rumore aereo il risultato peggiore è stato ottenuto nella configurazione "P-P-M" con il livello di fiducia dell'80% (unità immobiliari per due terzi in Classe IV e per un terzo in Classe II).

Il risultato migliore è stato ottenuto dalla configurazione con tutti i campioni migliori, con tutte le unità immobiliari in Classe II.

La differenza tra il risultato migliore e peggiore è quindi anche in questo caso molto evidente.

Tabella 26: distribuzione delle unità immobiliari nelle diverse classi, per il requisito di isolamento al rumore aereo, in funzione della configurazione scelta, con indicati il risultato migliore (in verde) e peggiore (in arancione)

ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO R'															
Livello di fiducia	K = 70%					K = 75%					K = 80%				
	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC
U.I. in conf. P-P-P [%]	--	33	33	33	--	--	33	33	33	--	--	33	33	33	--
U.I. in conf. P-P-M [%]	--	33	33	33	--	--	33	33	33	--	--	33	--	67	--
U.I. in conf. P-M-M [%]	--	33	67	--	--	--	33	67	--	--	--	33	33	33	--
U.I. in conf. M-M-M [%]	--	100	--	--	--	--	100	--	--	--	--	100	--	--	--

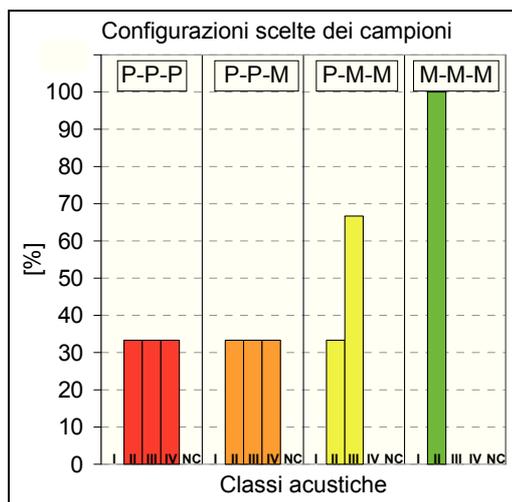


Figura 61: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per l'isolamento al rumore aereo – livello di fiducia del 70% e 75%

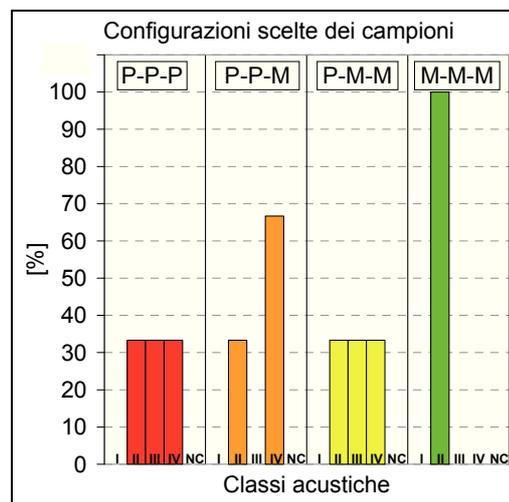


Figura 62: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per l'isolamento al rumore aereo – livello di fiducia del 80%

Livello di rumore di calpestio

I valori di livello di calpestio avevano fornito risultati molto variabili, come illustrato in precedenza. Tale variabilità si evidenzia anche nella distribuzione delle unità immobiliari nelle varie classi, con differenze più elevate rispetto agli altri due requisiti sia in funzione della configurazione scelta dei campioni sia in funzione del livello di fiducia.

In particolare si nota che la distribuzione delle unità immobiliari nella configurazione con i due campioni peggiori e il campione migliore (“P-P-M”) subisce un graduale spostamento verso le classi inferiori (classi IV e NC) considerando livelli di fiducia più elevati.

Nella configurazione con tutti i campioni migliori la metà delle unità immobiliari sono risultate in Classe II, e il resto in Classe III (30%) e in Classe IV (20%).

La differenza tra i due risultati estremi è quindi molto accentuata anche per il requisito del livello di calpestio.

Tabella 27: distribuzione percentuale delle unità immobiliari nelle diverse classi, per il requisito di livello di rumore di calpestio, in funzione della configurazione scelta, con indicati il risultato migliore (in verde) e peggiore (in arancione)

LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO $L'n$															
Livello di fiducia	70%					75%					80%				
Classi	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC
U.I. in conf. P-P-P [%]	--	10	50	40	--	--	10	50	40	--	--	10	50	20	20
U.I. in conf. P-P-M [%]	--	10	50	40	--	--	10	50	20	20	--	10	50	--	40
U.I. in conf. P-M-M [%]	--	50	10	40	--	--	10	50	40	--	--	10	50	40	--
U.I. in conf. M-M-M [%]	--	50	30	20	--	--	50	30	20	--	--	50	30	20	--

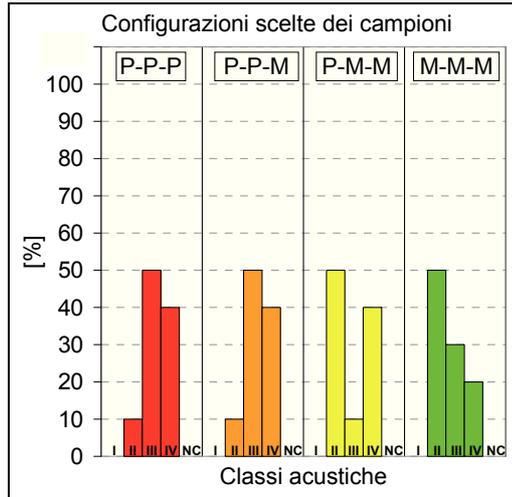


Figura 63: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per il livello di calpestio – livello di fiducia del 70%

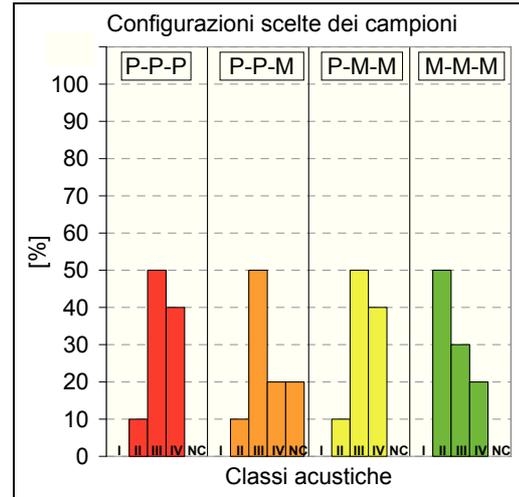


Figura 64: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per il livello di calpestio – livello di fiducia del 75%

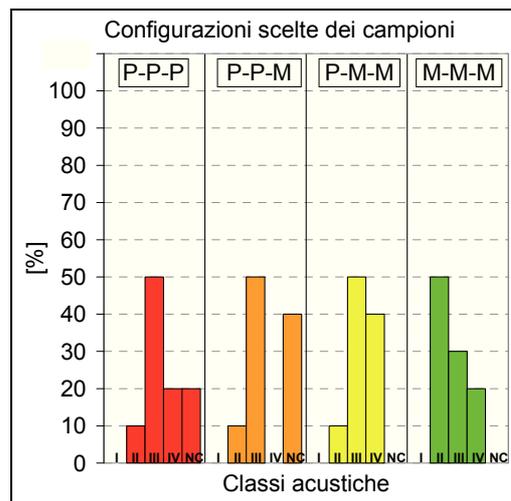


Figura 65: distribuzione delle classi acustiche in funzione delle configurazioni scelte dei campioni per il livello di calpestio – livello di fiducia del 80%

3.3.2 Confronto con i risultati ottenuti applicando il precedente Progetto di norma sulla classificazione acustica

La versione definitiva della UNI 11367 [4] è stata preceduta da un Progetto di norma, denominato U20001500, che già conteneva al suo interno molti degli aspetti e delle procedure diventate poi parti integranti della versione definitiva.

In merito al criterio di campionamento previsto per edifici seriali, il Progetto di norma presentava tre differenze fondamentali rispetto alla versione definitiva, riferite al limite di tolleranza dimensionale sulla dimensione delle partizioni e sul volume degli ambienti (per l'individuazione dei gruppi omogenei), al numero

minimo di campioni da selezionare all'interno di un gruppo omogeneo e ai livelli di fiducia da poter scegliere. Le differenze sono riportate in Tabella 28 seguente. Il passaggio dal 10% al 20% della tolleranza dimensionale ha avuto lo scopo principale di diminuire il numero di gruppi omogenei e di conseguenza il numero di prove. L'aumento del numero minimo di campioni da selezionare da due a tre e la diminuzione del numero di livelli di fiducia ha invece avuto lo scopo di attenuare l'effetto dell'incertezza di campionamento.

Tabella 28: differenze tra il criterio di campionamento proposto dal Progetto di norma rispetto a quello definitivo riportato nella UNI 11367

Differenze	Progetto di norma	Versione definitiva
Limite tolleranza dimensionale	10%	20%
Numero minimo di campioni da selezionare	10% con un minimo di 2	10% con un minimo di 3
Livelli di fiducia	Scelta tra 10 livelli di fiducia (50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%)	Scelta tra 3 livelli di fiducia (70%, 75%, 80%)

La procedura di classificazione descritta dal Progetto di norma era stata applicata allo stesso sistema edilizio con caratteristiche non seriali oggetto delle analisi del presente capitolo.

All'interno di ogni gruppo omogeneo erano stati individuati un minimo di due e un massimo di dodici elementi tecnici, il che aveva presupposto sempre la scelta di due campioni per ogni gruppo. La procedura di selezione dei due campioni, per ogni requisito, anche in questo caso non era stata effettuata in maniera casuale, ma allo scopo di considerare tre configurazioni possibili: la scelta dei due campioni peggiori (denominata di seguito "P-P"), la scelta del campione peggiore e del campione migliore ("P-M") e la scelta dei due campioni migliori ("M-M"). Tra i dieci livelli di fiducia disponibili, ne erano stati considerati tre (50%, 75% e 95%).

I risultati ottenuti, riferiti alla distribuzione delle U.I. nelle diverse classi acustiche, sono riportati in Tabella 29, con i valori sempre in forma percentuale. Si può notare innanzitutto che la distribuzione delle U.I. nelle diverse classi variava in maniera molto più consistente in funzione della configurazione di selezione del campione adottata e in funzione del livello di fiducia scelto. In particolare il risultato peggiore ottenuto (selezionando il campione peggiore e il campione migliore, con un livello di fiducia del 95%) ha comportato una distribuzione delle unità immobiliari tutte NC, un risultato molto più penalizzante rispetto a quello ottenuto nella versione definitiva della norma.

Tabella 29: distribuzione percentuale delle unità immobiliari nelle diverse classi in funzione della configurazione scelta (procedura di campionamento del Progetto di norma sulla classificazione acustica)

Livello di fiducia	50%					75%					95%				
	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC	I	II	III	IV	NC
U.I. in conf. P-P [%]	--	--	33	67	--	--	--	17	75	8	--	--	17	8	75
U.I. in conf. P-M [%]	--	--	67	33	--	--	--	17	33	50	--	--	--	--	100
U.I. in conf. M-M [%]	--	25	75	--	--	--	--	100	--	--	--	--	13	17	71

Tali risultati erano dovuti esclusivamente ad un'incertezza di campionamento troppo elevata. Tale incertezza U_{sh} si determina dal prodotto di due parametri: lo scarto tipo di campionamento S_{sh} e il fattore di copertura k .

Lo scarto tipo di campionamento dipende, tra le altre cose, soprattutto dall'escursione tra i campioni sottoposti a prova: il Progetto di norma prevedeva un minimo di due campioni da misurare, il che comportava una elevata escursione tra gli stessi e di conseguenza un aumento dello scarto tipo di campionamento. L'effetto in termini di risultati è stato una maggiore variabilità di distribuzione delle unità immobiliari nelle diverse classi in funzione della differenza di prestazione tra i due campioni scelti.

In merito al fattore di copertura, dipende dal numero di prove effettuato e dal livello di fiducia scelto (Tabella 30). Il Progetto di norma forniva la possibilità di scegliere tra dieci livelli di fiducia, il che, associato ad un numero minimo di prove pari a 2, comportava valori di k estremamente elevati per i livelli di fiducia del 90% e 95%. La diretta conseguenza era un notevole aumento dell'incertezza estesa di campionamento per alti livelli di fiducia e quindi una penalizzazione eccessiva dei risultati di classificazione, anche a fronte di ottime prestazioni misurate in opera.

Tabella 30: valore di k in funzione del numero di prove e del livello di fiducia (estratto della tabella presente sul Progetto di norma)

Num. prove	Livello di fiducia									
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
2	0.00	0.16	0.32	0.51	0.73	1.00	1.76	1.96	3.08	6.31
3	0.00	0.14	0.29	0.44	0.62	0.82	1.06	1.39	1.89	2.92
4	0.00	0.14	0.28	0.42	0.58	0.76	0.98	1.25	1.64	2.35
5	0.00	0.13	0.27	0.41	0.57	0.74	0.94	1.19	1.53	2.13

Queste problematiche nella versione definitiva sono state in gran parte attenuate con l'adozione di un minimo di tre campioni e con la possibilità di scelta tra tre livelli di fiducia (70%, 75%, 80%).

I risultati ottenuti, riportati nel paragrafo precedente, hanno infatti evidenziato una diminuzione della variabilità nella distribuzione delle classi in funzione della

scelta dei campioni e del livello di fiducia, rispetto ai risultati ottenuti applicando le indicazioni del Progetto di norma.

3.4 Classificazione edificio in esame mediante applicazione delle Linee Guida U20002150

Le scopo delle Linee Guida è di fornire un metodo di classificazione acustica alternativo alle due procedure descritte nella UNI 11367 (l'esecuzione di tutte le misure o l'utilizzo del criterio di campionamento), da applicare a sistemi edilizi con caratteristiche non seriali in modo tale da ridurre il numero di prove.

Il concetto principale alla base del metodo descritto dalle Linee Guida è che la riduzione del numero di prove sia comunque cautelativa per l'utente: viene infatti compensata dalla scelta di effettuare le misurazioni nelle unità immobiliari più critiche sotto il profilo delle prestazioni acustiche. Quindi l'eventuale decisione di un incremento del numero di prove comporterebbe un graduale miglioramento della classificazione acustica.

Il metodo specifica che si deve selezionare un numero di unità immobiliari non minore del 10% (approssimato all'intero in eccesso) del totale di unità immobiliari facenti parte del sistema edilizio e comunque non minore di due (per sistemi edilizi fino a quattro unità immobiliari) e non minore di tre (per sistemi edilizi fino a 30 unità immobiliari).

Per la selezione delle unità immobiliari maggiormente critiche devono essere prese in considerazione tutte le criticità degli elementi edilizi e degli impianti all'interno del sistema edilizio. Se alcune criticità si ripetono in diverse unità immobiliari, vengono classificate quelle con il maggior numero di criticità.

Le unità immobiliari da selezionare per la classificazione acustica sono quelle associabili a maggiore criticità acustica: dovranno cioè avere una maggiore ricorrenza di elementi tecnici critici, per i diversi parametri oggetto di misurazione. Ove possibile, le criticità dovranno essere considerate per tutti i parametri acustici oggetto di rilevazione.

Viene poi indicato, per ogni requisito acustico, un elenco di criticità, in alcuni casi ordinato dal più al meno critico in altri casi senza ordine di importanza.

Per quanto riguarda l'isolamento acustico di facciata l'elenco di criticità è basato principalmente sulla tipologia di serramento, sistema oscurante e sistema di ventilazione e secondariamente sui rapporti di forma e dimensioni della facciata e dell'ambiente ricevente. Per esempio sono più critiche le facciate con sistemi oscuranti con cassonetto rispetto a quelle con sistemi oscuranti esterni (persiane), oppure le facciate con un numero maggiore di ante, o ancora le facciate con un maggiore rapporto tra la superficie del serramento e la superficie della parte opaca.

Le criticità per l'isolamento al rumore aereo di partizioni interne verticali sono date da una maggiore trasmissione laterale strutturale, dalla presenza di percorsi di trasmissione laterale aerea (per esempio le pareti di due unità immobiliari confinanti con il vano scala comune) e dall'integrazione impiantistica (per esempio ambienti messi in comunicazione da cappe di aspirazione adiacenti, scatole di impianti elettrici etc.).

L'isolamento al rumore aereo di partizioni interne orizzontali ha le criticità maggiori in presenza di canalizzazioni impiantistiche o cavedi impiantistici che mettono in comunicazione i due ambienti di misura.

Per il livello di rumore di calpestio l'ordine di criticità è basato soprattutto sulla finitura superficiale (pavimentazioni o battiscopa in ceramica sono più critici di pavimentazioni o battiscopa in legno), sulla tipologia distributiva dell'ambiente (per esempio la presenza di portefinestre o nicchie e angoli potrebbe essere più soggetta ad errori di posa, creando ponti acustici tra i due ambienti di prova) e sull'entità delle trasmissioni laterali (presenza di cavedi passanti o adiacenza con vani scale e ascensori).

Le criticità in merito al rumore degli impianti a ciclo discontinuo sono date soprattutto dalla presenza di cavedi o attraversamenti impiantistici negli ambienti di misura e dalla presenza di ambienti adiacenti a servizi igienici con WC e cassetta collegati alla parete divisoria.

Infine, per il rumore degli impianti a ciclo continuo l'elenco di criticità prevede la presenza, in ambienti adiacenti, di componenti e terminali di sistemi di condizionamento e ventilazione a servizio di altre unità immobiliari e la presenza, in ambienti accessori adiacenti, di impianti o componenti a funzionamento continuo a servizio di altre unità immobiliari o dell'intero sistema edilizio.

E' importante specificare che nelle unità immobiliari scelte devono essere misurati tutti i parametri acustici per determinarne la classificazione acustica, con la procedura prevista dalla UNI 11367.

3.4.1 Risultati complessivi classificazione con applicazione delle Linee Guida

Il metodo delle Linee Guida è stato applicato al complesso edilizio in esame, caratterizzato da 24 unità immobiliari. Il numero minimo di unità immobiliari da scegliere è quindi pari a 3.

La selezione delle unità immobiliari più critiche è stata eseguita per ogni requisito acustico, iniziando con l'individuazione di tutti gli elementi tecnici misurabili dell'intero sistema edilizio e l'assegnazione, per ognuno di essi, di un valore di criticità progressivo (dal valore 1 - elemento più critico - in poi).

Nelle tabelle seguenti, per ogni requisito è riportato l'ordine di criticità con indicato il fattore di criticità e le unità immobiliari pertinenti.

Riguardo all'isolamento di facciata (Tabella 31), tutte le facciate presentavano portefinestre della stessa tipologia e con lo stesso sistema oscurante, per cui l'ordine di criticità si è basato soprattutto sul numero di ante. Gli elementi più critici (valore di criticità 1) sono risultati le facciate delle camere matrimoniali delle unità immobiliari 503 e 504, caratterizzate da serramenti a tre ante. Questa tipologia di serramento è presente anche nei soggiorni delle unità immobiliari 103, 106, 203 e 206, tuttavia a tali elementi è stato assegnato un valore di criticità 2 in quanto il fattore di forma dell'ambiente è meno penalizzante. Il resto delle facciate presentava soprattutto serramenti a due ante, per cui l'ordine di criticità si è basato prettamente sul fattore di forma dell'ambiente e della facciata.

Tabella 31: fattori di criticità ordinati dal più al meno critico e individuazione delle unità immobiliari pertinenti – isolamento acustico di facciata

Ordine di criticità	Fattori di criticità – isolamento acustico di facciata	Unità immobiliari pertinenti
1	Portafinestra a tre ante + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.44$	503, 504 (camere matrimoniali)
2	Portafinestra a tre ante + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.21$	103, 106, 203, 206 (soggiorni)
3	Num. due portefinestre a due ante	101, 102, 104, 105, 201, 202, 204, 205, 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 504 (soggiorni)
4	Portafinestra a due ante + rapporto $S_{serr}/S_{opaca} = 0.56$ + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.31$	501, 502, 503, 504 (cucine)
5	Portafinestra a due ante + rapporto $S_{serr}/S_{opaca} = 0.56$ + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.24$	303, 304, 403, 404 (camera singola)
6	Portafinestra a due ante + rapporto $S_{serr}/S_{opaca} = 0.56$ + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.19$ + superfici riflettenti sopra e sotto il serramento	103, 106, 203, 206, 301, 302, 303, 304, 401, 402 (camere matrimoniali)
7	Portafinestra a due ante + rapporto $S_{serr}/S_{opaca} = 0.56$ + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.19$	101, 102, 104, 105, 201, 202, 204, 205, 301, 302, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 504 (soggiorni)
8	Portafinestra a due ante + rapporto $S_{serr}/S_{opaca} = 0.24$ + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.19$	501, 502 (camere matrimoniali)
9	Portafinestra a un'anta + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.32$	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404 (cucine)
10	Portafinestra a un'anta + fattore di forma dell'ambiente $S_{facc}/V_{amb} = 0.25$	501, 502, 503, 504 (camere singole)

In merito all'isolamento al rumore aereo (Tabella 32), le pareti erano tutte uguali in termini di tipologia costruttiva, trasmissione laterale strutturale e trasmissione laterale aerea, per cui l'ordine di criticità è stato assegnato solamente considerando la presenza o meno di integrazioni impiantistiche. Sono stati individuati in questo modo due soli livelli di criticità. Discorso analogo relativamente all'isolamento al rumore aereo dei solai (Tabella 33), per cui sono stati individuati due soli livelli di criticità, dovuti alla presenza o meno di cavedi impiantistici tra l'ambiente sorgente e ricevente.

Tabella 32: fattori di criticità ordinati dal più al meno critico e individuazione delle unità immobiliari pertinenti – isolamento al rumore aereo di pareti

Ordine di criticità	Fattori di criticità – isolamento al rumore aereo di pareti	Unità immobiliari pertinenti
1	Parete parzialmente attraversata da elementi di impianto	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 504 (tra camere matrimoniali)
2	Parete senza nessuna delle criticità descritte nelle Linee Guida	101, 102, 104, 105, 201, 202, 204, 205, 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 504 (tra camere matrimoniali)

Tabella 33: fattori di criticità ordinati dal più al meno critico e individuazione delle unità immobiliari pertinenti – isolamento al rumore aereo di solai

Ordine di criticità	Fattori di criticità – isolamento al rumore aereo di pareti	Unità immobiliari Pertinenti (amb. riceventi)
1	Presenza di cavedio che mette in comunicazione i due ambienti di prova	101, 102, 104, 105, 201, 202, 204, 205, 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 504 (tra soggiorni)
2	Solai senza nessuna delle criticità descritte nelle Linee Guida	In tutte le unità immobiliari (camere e cucine)

Per il livello di calpestio (Tabella 34) gli elementi più critici sono risultati i solai delle cucine ai piani terzo e quarto, caratterizzati da rivestimenti in ceramica. I restanti elementi erano tutti solai con rivestimento in parquet, per cui l'assegnazione delle criticità si è basata soprattutto sulla tipologia costruttiva degli ambienti (numero di portefinestre e ambiente sorgente irregolare).

Tabella 34: fattori di criticità ordinati dal più al meno critico e individuazione delle unità immobiliari pertinenti – livello di rumore di calpestio

Ordine di criticità	Fattori di criticità – livello di rumore di calpestio	Unità immobiliari Pertinenti (amb. riceventi)
1	Rivestimento superficiale in ceramica	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404 (cucine e camere matrimoniali)
2	Rivestimento superficiale in parquet + num. due portefinestre + ambiente irregolare	201, 202, 204, 205, 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404 (soggiorni)
3	Rivestimento superficiale in parquet + num. due portefinestre + ambiente meno irregolare	101, 102, 104, 105 (soggiorni)
4	Rivestimento superficiale in parquet + portafinestra a tre ante	103, 106 (soggiorni)
5	Rivestimento superficiale in parquet + portafinestra a due ante + ambiente molto irregolare	101, 102 (camere matrimoniali)
6	Rivestimento superficiale in parquet + portafinestra a due ante + ambiente meno irregolare	103, 106, 203, 206, 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404 (camere matrimoniali)
7	Rivestimento superficiale in parquet + portafinestra a due ante + ambiente regolare	104, 105, 201, 202, 204, 205, 301, 302, 303, 304 (camere matrimoniali e singole)
8	Rivestimento superficiale in parquet + portafinestra a un'anta	401, 402, 403, 404 (cucine)

Infine in merito al rumore degli impianti a ciclo discontinuo (Tabella 35), sono stati individuati due soli livelli di criticità, relativi alla presenza di attraversamenti impiantistici in adiacenza ad ambienti o di WC addossati alla parete divisoria.

Tabella 35: fattori di criticità ordinati dal più al meno critico e individuazione delle unità immobiliari pertinenti – livello di rumore di calpestio

Ordine di criticità	Fattori di criticità – livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo	Unità immobiliari Pertinenti (amb. riceventi)
1	Presenza di attraversamenti impiantistici in adiacenza ad ambienti	103, 106, 203, 206, 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 504 (soggiorni e camere matrimoniali)
2	Presenza di ambienti adiacenti a servizi igienici con WC e cassetta collegati alla parete divisoria	503, 504 (camere matrimoniali)

Ogni valore è stato poi normalizzato per ottenere la stessa scala di riferimento da 1 a 10 per tutti i requisiti e successivamente la scala stessa è stata invertita, in modo tale da avere l'elemento più critico corrispondente al valore 10 e il meno critico corrispondente al valore 1.

Quest'ultima operazione è risultata necessaria per l'esecuzione del passo successivo: la somma di tutti i valori di criticità per ogni unità immobiliare e per ogni requisito. La scelta di eseguire la somma è dipesa dal fatto che le Linee Guida specificano che le unità immobiliari da selezionare dovranno avere una *maggiore ricorrenza* di elementi tecnici critici per i diversi parametri oggetto di misurazione.

Nelle tabelle seguenti (Tabella 36, Tabella 37, Tabella 39, Tabella 39) sono riportati alcuni esempi di valori ottenuti applicando la procedura di assegnazione delle criticità alle unità immobiliari, per tutti i requisiti.

Tabella 36: procedimento di assegnazione dei valori di criticità acustica alle unità immobiliari – Isolamento acustico di facciata

ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA					
U.I.	Stanza	Valore criticità (progressivo)	Normalizzazione (scala 1-10)	Inversione (scala 10-1)	Somma
101	Soggiorno	3	3	8	12
	Camera matrim.	7	7	4	
102	Soggiorno	3	3	8	12
	Camera matrim.	7	7	4	
103	Soggiorno	2	2	9	14
	Camera matrim.	6	6	5	
...
301	Soggiorno	3	3	8	19
	Cucina	9	9	2	
	Camera matrim. 1	6	6	5	
	Camera matrim. 2	7	7	4	
302	Soggiorno	3	3	8	19
	Cucina	9	9	2	
	Camera matrim. 1	6	6	5	
	Camera matrim. 2	7	7	4	
...
503	Soggiorno	3	3	8	31
	Cucina	4	4	7	
	Camera matrim. 1	6	6	5	
	Camera singola	10	10	1	
	Camera matrim. 2	1	1	10	
504	Soggiorno	3	3	8	31
	Cucina	4	4	7	
	Camera matrim. 1	6	6	5	
	Camera singola	10	10	1	
	Camera matrim. 2	1	1	10	

Tabella 37: procedimento di assegnazione dei valori di criticità acustica alle unità immobiliari – Isolamento al rumore aereo di pareti

ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO DI PARETI					
U.I.	Stanza	Valore criticità (progressivo)	Normalizzazione (scala 1-10)	Inversione (scala 10-1)	Somma
...
201	Soggiorno	0	0	0	5
	Camera matrim.	2	10	5	
202	Soggiorno	0	0	0	5
	Camera matrim.	2	10	5	
203	Soggiorno	0	0	0	0
	Camera matrim.	0	0	0	
...
401	Soggiorno	0	0	0	15
	Cucina	0	0	0	
	Camera matrim. 1	1	5	10	
	Camera matrim. 2	2	10	5	
402	Soggiorno	0	0	0	15
	Cucina	0	0	0	
	Camera matrim. 1	1	5	10	
	Camera matrim. 2	2	10	5	
	Cucina	0	0	0	
	Camera singola	1	5	10	
	Camera matrim.	2	10	5	
...
501	Soggiorno	0	0	0	15
	Cucina	2	10	10	
	Camera matrim. 1	1	5	5	
	Camera singola	0	0	0	
	Camera matrim. 2	0	0	0	
502	Soggiorno	0	0	0	15
	Cucina	2	10	10	
	Camera matrim. 1	1	5	5	
	Camera singola	0	0	0	
	Camera matrim. 2	0	0	0	
...

Tabella 38: procedimento di assegnazione dei valori di criticità acustica alle unità immobiliari – Isolamento al rumore aereo di solai (qualche esempio)

ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO DI SOLAI					
U.I.	Stanza	Valore criticità (progress.)	Normalizz. (scala 1-10)	Inversione (scala 10-1)	Somma
101	Sogg. solaio inf.	2	10	5	25
	Sogg. solaio sup.	1	5	10	
	Cam. matr. solaio inf.	2	10	5	
	Cam. matr. solaio sup.	2	10	5	
102	Sogg. solaio inf.	2	10	5	25
	Sogg. solaio sup.	1	5	10	
	Cam. matr. solaio inf.	2	10	5	
	Cam. matr. solaio sup.	2	10	5	
	Cam. matr.2 solaio sup.	0	0	0	
...
503	Sogg. solaio inf.	1	5	10	30
	Sogg. solaio sup.	0	0	0	
	Cucina solaio inf.	2	10	5	
	Cucina solaio sup.	0	0	0	
	Cam. matr.1 solaio inf.	2	10	5	
	Cam. matr.1 solaio sup.	0	0	0	
	Cam. sing. solaio inf.	2	10	5	
	Cam. sing. solaio sup.	0	0	0	
	Cam. matr.2 solaio inf.	2	10	5	
	Cam. matr.2 solaio sup.	0	0	0	
504	Sogg. solaio inf.	1	5	10	30
	Sogg. solaio sup.	0	0	0	
	Cucina solaio inf.	2	10	5	
	Cucina solaio sup.	0	0	0	
	Cam. matr.1 solaio inf.	2	10	5	
	Cam. matr.1 solaio sup.	0	0	0	
	Cam. sing. solaio inf.	2	10	5	
	Cam. sing. solaio sup.	0	0	0	
	Cam. matr.2 solaio inf.	2	10	5	
	Cam. matr.2 solaio sup.	0	0	0	

Tabella 39: procedimento di assegnazione dei valori di criticità acustica alle unità immobiliari – Livello di rumore di calpestio

LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO					
U.I.	Stanza (ambiente ricevente)	Valore criticità (progressivo)	Normalizzazione (scala 1-10)	Inversione (scala 10-1)	Somma
101	Soggiorno	3	3.8	7.3	12.0
	Camera matrim.	5	6.3	4.8	
102	Soggiorno	3	3.8	7.3	12.0
	Camera matrim.	5	6.3	4.8	
103	Soggiorno	4	5.0	6.0	9.5
	Camera matrim.	6	7.5	3.5	
...
204	Soggiorno	2	2.5	8.5	10.8
	Camera matrim.	7	8.8	2.3	
205	Soggiorno	2	2.5	8.5	10.8
	Camera matrim.	7	8.8	2.3	
206	Soggiorno	6	7.5	3.5	7.0
	Camera matrim.	6	7.5	3.5	
301	Soggiorno	2	2.5	8.5	24.0
	Cucina	1	1.3	9.8	
	Camera matrim. 1	6	7.5	3.5	
	Camera matrim. 2	7	8.8	2.3	
...
401	Soggiorno	2	2.5	8.5	22.7
	Cucina	8	10.0	1.0	
	Camera matrim. 1	6	7.5	3.5	
	Camera matrim. 2	1	1.3	9.8	
...
501	Soggiorno	0	0.0	0.0	0.0
	Cucina	0	0.0	0.0	
	Camera matrim. 1	0	0.0	0.0	
	Camera singola	0	0.0	0.0	
	Camera matrim. 2	0	0.0	0.0	
...

Tabella 40: procedimento di assegnazione dei valori di criticità acustica alle unità immobiliari – Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo (qualche esempio)

LIVELLO DI RUMORE DEGLI IMPIANTI A CICLO DISCONTINUO					
U.I.	Stanza ricevente	Valore criticità (progressivo)	Normalizzazione (scala 1-10)	Inversione (scala 10-1)	Somma
103	Soggiorno	1+1	5+5	10+10	30
	Camera matrim.	1	5	10	
106	Soggiorno	1+1	5+5	10+10	30
	Camera matrim.	1	5	10	
...
203	Soggiorno	1+1	5+5	10+10	30
	Camera matrim.	1	5	10	
206	Soggiorno	1+1	5+5	10+10	30
	Camera matrim.	1	5	10	
301	Soggiorno	0	0	0	20
	Cucina	1	5	10	
	Camera matrim. 1	1	5	10	
	Camera matrim. 2	0	0	0	
...
401	Soggiorno	0	0	0	20
	Cucina	1	5	10	
	Camera matrim. 1	1	5	10	
	Camera matrim. 2	0	0	0	
...
504	Soggiorno	0	0	0	15
	Cucina	0	0	0	
	Camera matrim. 1	1	5	10	
	Camera singola	0	0	0	
	Camera matrim. 2	2	10	5	

E' stata quindi eseguita la somma dei valori di criticità per ogni requisito di ogni unità immobiliare, per individuare le unità immobiliari complessivamente più critiche.

In Tabella 41 sono riportati i risultati, con le unità immobiliari ordinate dalla più alla meno critica. Sono state eseguite le somme esclusivamente per i requisiti di isolamento acustico di facciata, di isolamento al rumore aereo di pareti e solai e di livello di rumore di calpestio. Il requisito di livello di rumore degli impianti non è stato considerato perché non sono state eseguite misurazioni in opera.

Le tre unità immobiliari complessivamente più critiche e quindi da classificare sono risultate quindi la 403, la 404 e una a scelta tra la 401 e la 402.

Dai valori tabulati si può notare inoltre una differenza sostanziale di criticità tra le unità immobiliari del piano terzo e quarto e quelle degli altri piani, dovuta soprattutto alla quantità totale di elementi tecnici presenti più che alla criticità potenziale di ognuno di essi.

Tabella 41: riepilogo ordine di criticità delle unità immobiliari

U.I.	Valori di criticità				Somma totale
	$D_{2m,nT}$	R'_{pareti}	R'_{solai}	L'_n	
403	21.0	15.0	50.0	22.8	108.8
404	21.0	15.0	50.0	22.8	108.8
402	19.0	15.0	50.0	22.8	106.8
401	19.0	15.0	50.0	21.5	106.8
303	21.0	15.0	45.0	24.0	105.0
304	21.0	15.0	45.0	24.0	105.0
301	19.0	15.0	45.0	24.0	103.0
302	19.0	15.0	45.0	24.0	103.0
503	31.0	15.0	30.0	0.0	76.0
504	31.0	15.0	30.0	0.0	76.0
501	24.0	15.0	30.0	0.0	69.0
502	24.0	15.0	30.0	0.0	69.0
201	12.0	5.0	30.0	10.8	57.8
202	12.0	5.0	30.0	10.8	57.8
204	12.0	5.0	30.0	10.8	57.8
205	12.0	5.0	30.0	10.8	57.8
101	12.0	5.0	25.0	12.0	54.0
102	12.0	5.0	25.0	12.0	54.0
104	12.0	5.0	25.0	9.5	51.5
105	12.0	5.0	25.0	9.5	51.5
103	14.0	0.0	20.0	9.5	43.5
106	14.0	0.0	20.0	9.5	43.5
203	14.0	0.0	20.0	7.0	41.0
206	14.0	0.0	20.0	7.0	41.0

Il numero di misurazioni da eseguire per classificare le tre unità immobiliari è riportato nella Tabella 42 seguente: devono essere eseguite 22 misurazioni per ogni unità immobiliare, per un totale di 66 misurazioni.

In Tabella 43 è riportata la classificazione acustica associata alle unità immobiliari selezionate: in termini di Classe complessiva tutte quante risultano in Classe III, in termini di singoli requisiti le uniche piccole differenze riguardano l'isolamento di facciata, con due unità immobiliari in Classe IV e due in Classe III.

Tabella 42: riepilogo numero di misurazioni da eseguire per ogni requisito e complessivamente

Unità immobiliari da classificare	Numero misure da eseguire					Totale
	$D_{2m,nT}$	R'_{pareti}	R'_{solai}	L'_n	L_{id}	
403	4	2	8	4	4	22
404	4	2	8	4	4	22
402, 401	4	2	8	4	4	22
Totale misurazioni	12	6	24	12	12	66

Tabella 43: classificazione acustica delle unità immobiliari scelte

Unità immobiliari	Classi acustiche			
	$D_{2m,nT}$	R'	L'_n	Totale
403	IV	II	IV	III
404	III	II	IV	III
401	IV	II	IV	III
402	III	II	IV	III

Le Linee Guida si basano sull'ipotesi cautelativa di considerare prima le unità immobiliari più critiche poi, eventualmente, di considerare le unità immobiliari progressivamente meno critiche: all'aumentare delle unità immobiliari selezionate dovrebbe quindi corrispondere un miglioramento delle classi acustiche.

Lo scopo dell'analisi riportata di seguito è di verificare tale ipotesi, ponendo a confronto, sia in termini complessivi che per ogni requisito, l'andamento dei valori di criticità delle unità immobiliari ottenuto dall'applicazione delle Linee Guida e il relativo andamento delle classi acustiche ottenute dalle misurazioni in opera.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati di tale confronto, relativamente al totale dei requisiti e per i singoli requisiti di isolamento acustico di facciata, isolamento al rumore aereo di pareti e livello di rumore di calpestio.

Si può notare innanzitutto che il confronto relativo al totale dei requisiti (Figura 66) non fornisce indicazioni esaustive in quanto praticamente tutte le unità immobiliari hanno la stessa Classe acustica complessiva (III), per cui la scelta di unità immobiliari progressivamente meno critiche non comporta né miglioramenti né peggioramenti.

In termini di singoli requisiti si possono invece notare differenze anche sostanziali.

Per l'isolamento acustico di facciata (Figura 67) e di livello di calpestio (Figura 69), nonostante i valori delle classi siano piuttosto variabili per ogni unità immobiliare, l'andamento tendenziale è di graduale miglioramento del valore di Classe per la scelta di unità immobiliari ipotizzate progressivamente meno critiche.

Riguardo al requisito di isolamento al rumore aereo di pareti (Figura 68) la diminuzione progressiva della criticità delle unità immobiliari non comporta invece un miglioramento delle classi acustiche bensì un tendenziale peggioramento. Il motivo è da ricercare nella difficoltà di individuare a priori le pareti potenzialmente più critiche, soprattutto nei casi in cui i fattori di trasmissione laterale strutturale e di trasmissione laterale aerea siano identici per tutte le pareti e ci si debba quindi basare esclusivamente sulla presenza o meno di integrazioni impiantistiche. L'incidenza di quest'ultimo fattore sulla determinazione della criticità di una parete è estremamente variabile in quanto dipende da diversi altri fattori (tipo di impianto, entità dello scasso, riempimento o meno dello scasso etc.), per cui suddividere le criticità solo sulla base di questo fattore potrebbe comportare risultati non in linea rispetto alle attese.

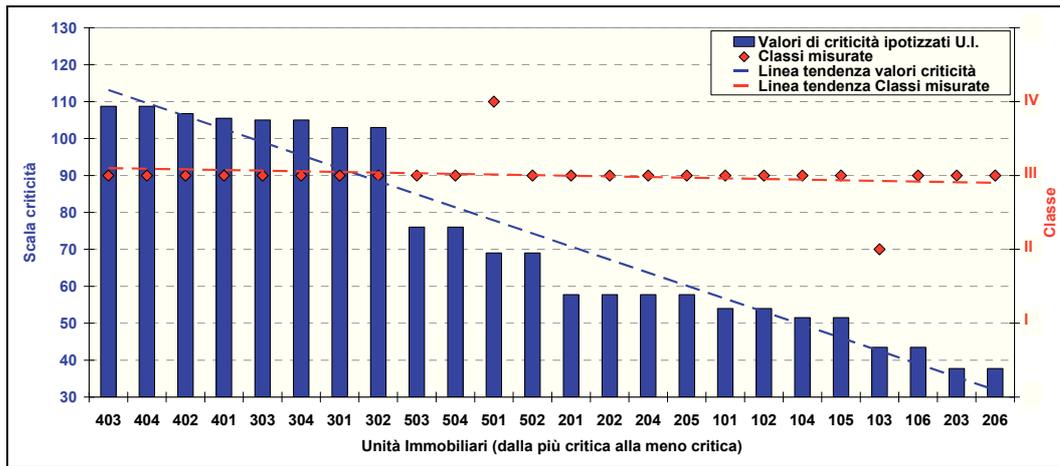


Figura 66: confronto tra l'ordine di criticità complessivo ipotizzato per le unità immobiliari e il relativo andamento delle classi acustiche misurate

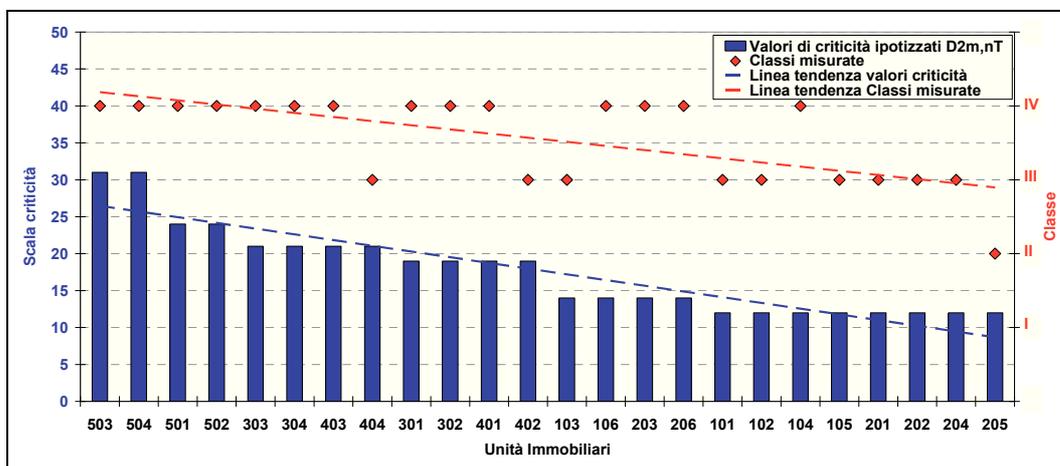


Figura 67: isolamento acustico di facciata – confronto tra l'ordine di criticità ipotizzato per le unità immobiliari e il relativo andamento delle classi acustiche misurate

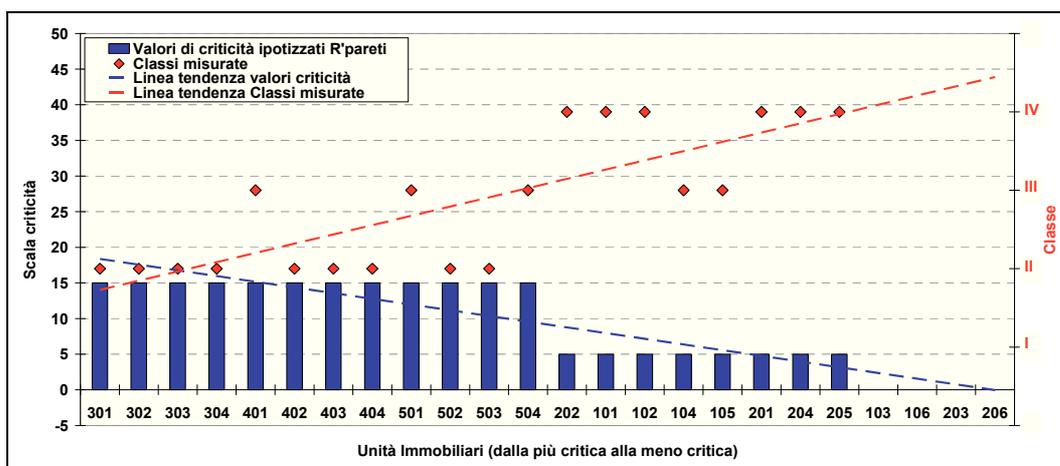


Figura 68: isolamento al rumore aereo di pareti – confronto tra l'ordine di criticità ipotizzato per le unità immobiliari e il relativo andamento delle classi acustiche misurate

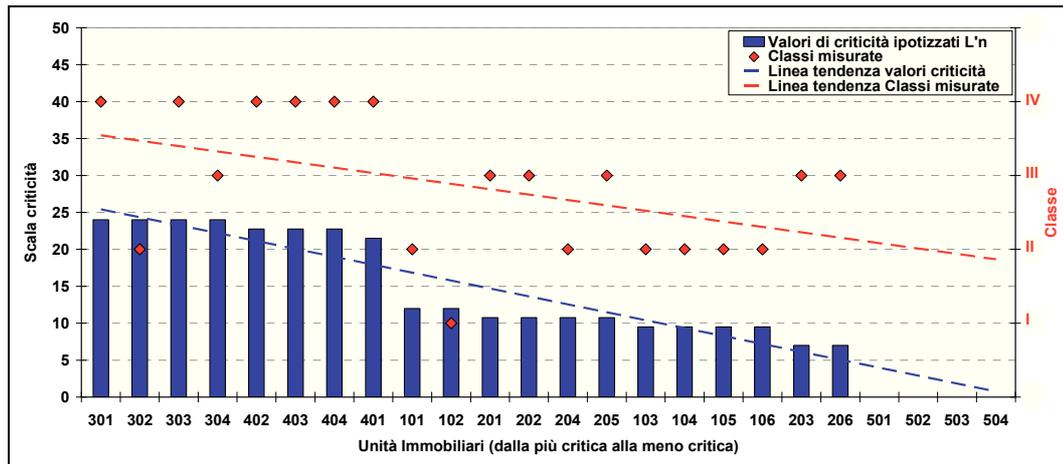


Figura 69: livello di rumore di calpestio – confronto tra l'ordine di criticità ipotizzato per le unità immobiliari e il relativo andamento delle classi acustiche misurate

3.5 Confronto tra i risultati e considerazioni

Il confronto tra le tre procedure di classificazione previste dalla norma UNI 11367 (l'esecuzione di tutte le misure e il criterio di campionamento) e dalle Linee Guida (l'esecuzione di tutte le misure solamente nelle unità immobiliari più critiche), applicate al caso di un edificio con caratteristiche non seriali, è stato eseguito sia in termini di numero di misurazioni in opera che in termini di risultati finali.

In Tabella 44 seguente è riportato il confronto riguardante il numero di misurazioni totali e per ogni requisito.

Si nota che la procedura di campionamento ha praticamente dimezzato il numero totale di prove, che tuttavia rimane ancora particolarmente elevato (144). Come spiegato in precedenza ciò è dovuto alla non serialità dell'edificio, che presuppone un numero maggiore di gruppi omogenei e di elementi singoli, e di conseguenza un numero più elevato di campioni. Questa problematica si è evidenziata soprattutto per il requisito di livello di rumore degli impianti e per l'isolamento al rumore aereo di solai, con una diminuzione in entrambi i casi piuttosto risicata.

L'applicazione delle Linee Guida ha comportato invece un ridimensionamento più drastico delle prove totali (66), dovuto ovviamente al numero più limitato di unità immobiliari su cui eseguirle (il 10% del totale delle unità immobiliari del sistema edilizio, nel caso in esame pari a tre). La diminuzione ha interessato tutti i requisiti, in particolare il requisito di rumore degli impianti, passato da 50 misure previste per il campionamento a 12.

Tabella 44: riepilogo numero di misurazioni da eseguire per ogni requisito e complessivamente

Procedura di classificazione	Numero misure da eseguire					
	$D_{2m,nT}$	R'_{pareti}	R'_{solai}	L'_n	L_{id}	Totale
Tutte le misure (UNI 11367)	76	16	68	56	68	284
Campionamento (UNI 11367)	22	8	38	26	50	144
Metodo Linee Guida (U20002150)	12	6	24	12	12	66

Il confronto in termini di risultati finali, intesi come distribuzione percentuale delle unità immobiliari nelle varie classi, considerando sia la Classe complessiva che le classi associate ad ogni requisito misurato, è riportato nei grafici delle figure seguenti. Per la procedura di campionamento sono stati riportati solamente i due risultati più estremi: il peggiore (ottenuto selezionando, per ogni gruppo omogeneo, i due campioni peggiori e il campione migliore e utilizzando un livello di fiducia dell'80%) e il migliore (ottenuto considerando i tre campioni migliori con un livello di fiducia del 70% o 75%).

La distribuzione delle unità immobiliari nelle classi acustiche complessive (Figura 70) ha fornito come risultato reale (ottenuto cioè dall'esecuzione di tutte le misure in tutte le unità immobiliari) la quasi totalità di unità immobiliari in Classe III (92%).

La procedura di campionamento ha invece fornito un range di risultati piuttosto ampio tra il risultato peggiore e il risultato migliore, comunque più sbilanciato verso il risultato peggiore. Infatti nel primo caso si è ottenuto un peggioramento notevole rispetto alla classificazione reale, con le unità immobiliari equamente divise tra le classi III, IV e NC, nel secondo caso si è ottenuto un miglioramento non particolarmente importante, con qualche unità immobiliare in più in Classe II. Come illustrato in precedenza, tali risultati sono dovuti soprattutto allo scarto tipo di campionamento, che tende a penalizzare in maniera eccessiva i gruppi omogenei con campioni caratterizzati da un'escursione elevata di risultati, indipendentemente dalla bontà o meno dei risultati stessi.

Questa problematica ovviamente non compare per i risultati ottenuti applicando le Linee Guida, in quanto il metodo prevede di individuare alcune unità immobiliari in cui eseguire tutte le misure, senza quindi applicare nessuna incertezza di campionamento. Con la procedura delle Linee Guida la distribuzione delle unità immobiliari è risultata praticamente identica alla distribuzione ottenuta eseguendo tutte le misure. Dal punto di vista teorico sarebbe stato lecito attendersi una distribuzione delle classi peggiore rispetto alla distribuzione reale, avendo selezionato esclusivamente le unità immobiliari più critiche, in ottemperanza al concetto di base delle Linee Guida. Tuttavia per il caso in esame, essendo praticamente tutte le unità immobiliari all'interno della Classe III (22 unità immobiliari su 24), è logico che questa sia, con ogni probabilità, anche la Classe delle tre unità immobiliari considerate.

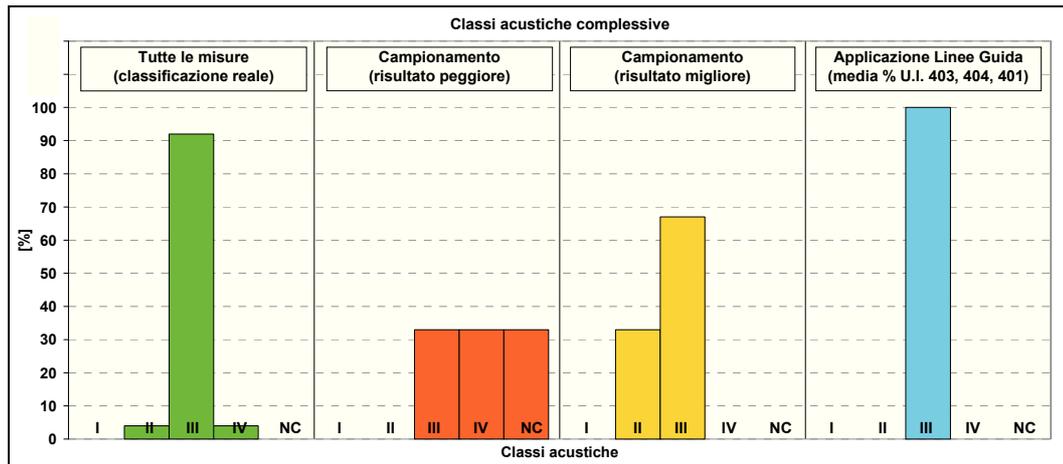


Figura 70: distribuzione delle unità immobiliari nelle classi acustiche complessive per le tre procedure di classificazione

In merito al requisito di isolamento acustico di facciata (Figura 71), la distribuzione delle unità immobiliari nelle classi acustiche complessive ha fornito come risultato reale la maggioranza di unità immobiliari in Classe IV (circa 60%) e in Classe III (poco meno del 40%).

La distribuzione ottenuta dal criterio di campionamento anche in questo caso è fortemente sbilanciata verso il risultato relativo alla configurazione peggiore: se da un lato, selezionando la configurazione peggiore, il peggioramento rispetto alla classificazione reale è molto evidente (unità immobiliari passate soprattutto a NC), dall'altro lato, selezionando tutti i campioni migliori, il miglioramento è molto più contenuto (solo qualche unità immobiliare passata dalla Classe IV alla Classe III).

Applicando la procedura delle Linee Guida, si nota che la distribuzione delle tre unità immobiliari selezionate come le più critiche è effettivamente peggiore rispetto alla distribuzione delle unità immobiliari classificate eseguendo tutte le misure, in linea con l'ipotesi di base delle Linee Guida stesse.

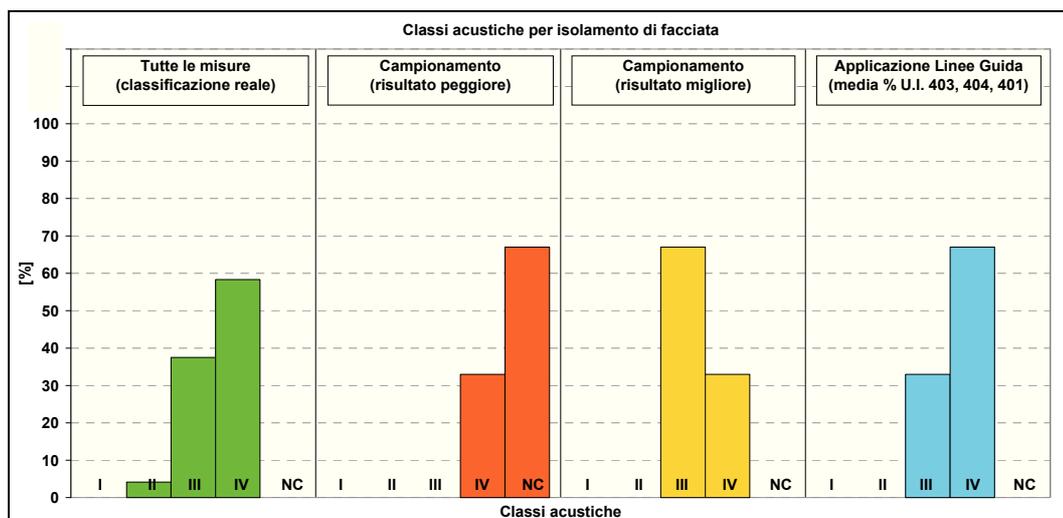


Figura 71: distribuzione delle unità immobiliari nelle classi acustiche relativamente all'isolamento acustico di facciata, per le tre procedure di classificazione

Riguardo al requisito di isolamento al rumore aereo (Figura 72), si nota che poco più del 60% delle unità immobiliari sono risultate in Classe II, mentre le restanti si dividono quasi equamente tra la Classe III e la Classe IV.

Utilizzando la procedura di campionamento, nel caso peggiore la distribuzione delle unità immobiliari si sposta in maniera importante verso una maggioranza in Classe IV, anche se rimangono comunque alcune unità immobiliari in classe II. Considerando il risultato migliore si hanno tutte le unità immobiliari in Classe II, in questo caso con un miglioramento notevole rispetto alla distribuzione relativa alla classificazione reale.

L'applicazione delle Linee Guida ha invece comportato un risultato contrario alle attese, con un miglioramento nella distribuzione delle classi rispetto alla procedura con tutte le misure, nonostante siano state selezionate le tre unità immobiliari sulla carta più critiche. Il motivo di tale risultato dipende esclusivamente dai risultati ottenuti per le pareti: nell'edificio in esame sono stati infatti individuati due soli livelli di criticità, riferiti esclusivamente alla presenza o meno di integrazioni impiantistiche nelle pareti. Tra i due livelli di criticità la differenza in termini di maggiore o minore prestazione in opera è solitamente molto limitata e dipende soprattutto da altri fattori piuttosto casuali, come la posa in opera.

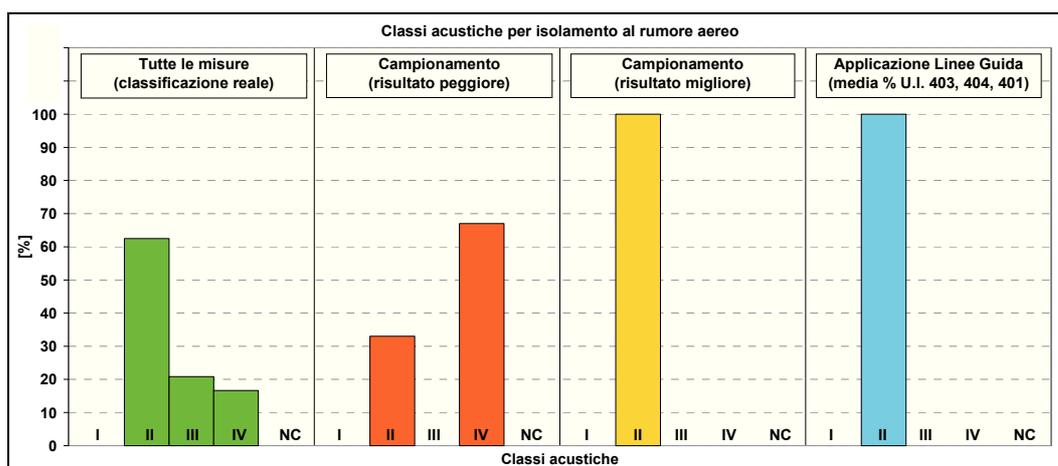


Figura 72: distribuzione delle unità immobiliari nelle classi acustiche relativamente all'isolamento al rumore aereo, per le tre procedure di classificazione

I risultati ottenuti per il livello di rumore di calpestio sono riportati in Figura 73 seguente. Con l'esecuzione di tutte le misure le unità immobiliari sono risultate quasi equamente distribuite tra le classi II, III e IV.

In seguito all'applicazione della procedura di campionamento, analogamente ai requisiti precedenti, è presente un forte sbilanciamento verso i risultati peggiori, con molte unità immobiliari passate a NC, a fronte di un miglioramento abbastanza contenuto considerando i campioni migliori, con qualche unità immobiliare passata in Classe II.

Al contrario del requisito di isolamento al rumore aereo, il metodo delle Linee Guida ha fornito invece i risultati attesi, con le tre unità immobiliari selezionate tutte in classe IV, per cui effettivamente più critiche rispetto alle altre. Ciò è dovuto al fatto che vi è una notevole e facilmente prevedibile differenza di

prestazione tra il livello di criticità 1 caratterizzato da solai con pavimentazione in ceramica (presenti appunto nelle unità immobiliari selezionate) e i restanti livelli di criticità, tutti caratterizzati comunque da pavimentazione in parquet.

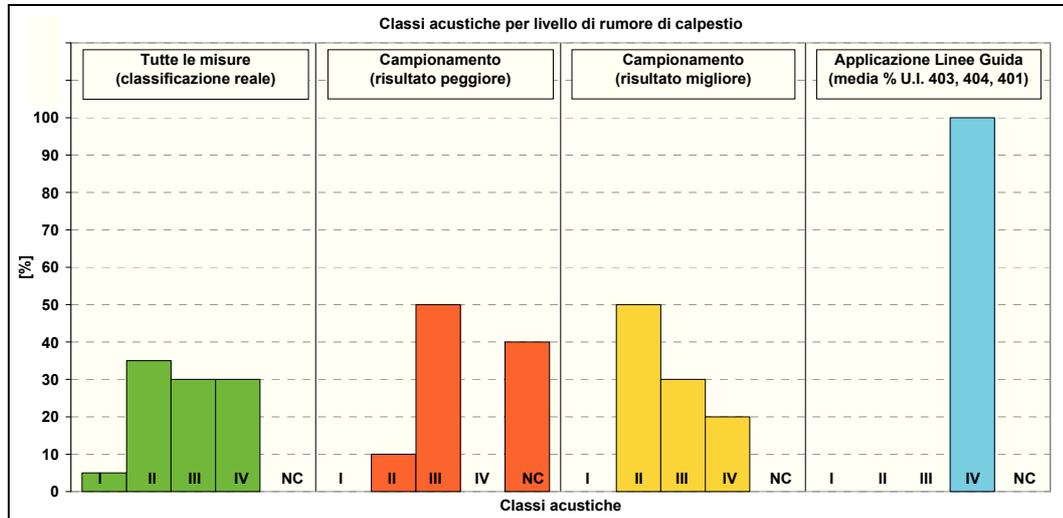


Figura 73: distribuzione delle unità immobiliari nelle classi acustiche relativamente al livello di rumore di calpestio, per le tre procedure di classificazione

CONCLUSIONI

Le analisi riportate nel presente lavoro sono nate dalla necessità di disporre di strumenti idonei per la valutazione dei singoli fattori di variabilità in un processo costruttivo.

Si è focalizzata l'attenzione soprattutto sulla variabilità dovuta agli effetti della posa in opera e al metodo di misura, ritenuti i fattori più influenti.

In ultima analisi sono stati affrontati anche i fattori di variabilità e le problematiche inerenti alla normativa UNI 11367 [4] sulla classificazione acustica degli edifici.

Tutte le valutazioni e considerazioni sono basate su estese campagne di misurazioni effettuate in opera.

In merito alla variabilità dovuta alla **posa in opera**, è stato studiato e testato in opera un esperimento statistico mutuato dalla normativa UNI ISO 5725-3 [12], relativa alla determinazione dell'incertezza nelle misure intermedie di precisione. L'aspetto peculiare di tale esperimento consiste nella possibilità di isolare e quantificare il contributo di variabilità dovuto alla *sola* posa in opera, rendendo il più possibile trascurabili tutti gli altri fattori di variabilità.

Ovviamente la validità dell'esperimento è subordinata a determinate condizioni, per esempio il fatto di avere coppie di ambienti di prova esattamente identici in termini di dimensioni, forma e campo acustico interno, oppure la necessità di eseguire le misurazioni in intervalli di tempo brevi, nelle stesse condizioni termigrometriche, con lo stesso operatore che utilizza la stessa tecnica di misura e la stessa strumentazione.

Questo metodo potrebbe fornire indicazioni sulla "robustezza" di diverse soluzioni costruttive, intesa come la capacità di un elemento tecnico di essere potenzialmente meno influenzato dalla posa in opera. Inoltre potrebbe essere adottato qualora si voglia verificare a posteriori se la posa in opera in un complesso edilizio è stata eseguita in maniera corretta.

L'applicabilità è stata poi verificata in situazioni reali in opera, su solai con pavimento galleggiante e rivestimento in parquet e su pareti doppie con intercapedine parzialmente riempita con lana minerale, appartenenti allo stesso complesso residenziale. I risultati ottenuti sono chiaramente riferiti ai casi in esame, cioè per una precisa tipologia di appartamenti e di partizioni, realizzati da una specifica impresa di costruzioni. Inoltre la manodopera in questo caso è stata adeguatamente formata e controllata durante la realizzazione.

In merito alle misure di calpestio la variabilità totale, nell'ordine dei 2 dB, è dovuta esclusivamente alle condizioni di realizzazione: gli accorgimenti da considerare nella posa in opera di un pavimento galleggiante sono infatti numerosi, e di conseguenza la potenziale presenza di errori aumenta.

I risultati relativi alle misure di isolamento al rumore aereo sulle pareti hanno evidenziato che, a fronte di una variabilità totale pari a circa 3 dB, la sola posa in opera influisce in questo caso per circa la metà. Questi risultati sono stati confrontati anche con i valori ottenuti su pareti monostrato dello stesso tipo, attraverso una campagna di misura condotta nel corso di circa 10 anni. Il confronto ha mostrato che la variabilità totale dei risultati per le misurazioni sulle pareti monostrato è risultata largamente inferiore rispetto alla variabilità totale ottenuta sulle pareti doppie, nonostante le condizioni riferite alle pareti

monostrato fossero molto più volubili (diversi contesti, diverse imprese di costruzione, operatori diversi, diverse condizioni climatiche).

La logica conclusione è che le pareti monostrato si sono dimostrate più “robuste”, cioè meno soggette ad eventuali errori di posa in opera.

A questo riguardo una possibile strategia per ridurre gli effetti della posa potrebbe essere quindi quella di privilegiare la scelta di elementi tecnici “robusti”, caratterizzati dal minor impiego di materiali e con la minore richiesta di mezzi d’opera. Questo criterio è tuttavia estremamente limitante, sia dal punto di vista progettuale che dal punto di vista della prestazione degli elementi. Per fare l’esempio della parete, se da un lato la parete monostrato è più affidabile in termini di posa in opera, dall’altro lato la parete doppia, se correttamente progettata e posata, può portare a prestazioni nettamente superiori.

Fermo restando che talune soluzioni costruttive restano comunque più robuste di altre, è però necessario considerare la “robustezza” di un elemento tecnico non solamente come un parametro intrinseco alla tipologia di elemento, ma come l’insieme di quegli strumenti che permettono ad *ogni* tipologia di elemento di ottenere la prestazione prevista in fase progettuale.

In quest’ottica è stata studiata una raccolta il più possibile esaustiva degli errori di posa e di progetto più frequenti per ogni requisito acustico passivo, relativamente alle soluzioni costruttive più comuni nel panorama edilizio italiano. Per ogni tipologia di errore è stata riportata una descrizione dettagliata, corredata in alcuni casi da disegni, fotografie e dati ottenuti da misurazioni eseguite prevalentemente in opera. I risultati delle misurazioni ovviamente non hanno valore statistico, tuttavia possono essere di aiuto agli addetti ai lavori per avere un’idea sulle possibili conseguenze di un dato errore.

L’utilizzo di una sorta di compendio di buona e cattiva pratica non risulta però sufficiente se non è accompagnato da adeguati strumenti per il controllo della fase progettuale e, soprattutto, realizzativa.

Sono state quindi predisposti esempi di checklist, cioè documenti di facile e immediata lettura da compilare prima e durante la realizzazione di un elemento tecnico. A titolo di esempio sono state realizzate due tipologie di checklist, di progetto e di posa, per i requisiti di isolamento al rumore aereo e di facciata, livello di rumore di calpestio e degli impianti a ciclo discontinuo.

Le checklist relative alla progettazione non hanno solo l’intento di indicare al progettista gli errori da evitare, ma anche di fornire raccomandazioni per la scelta di soluzioni più “robuste”.

Le checklist riferite alla posa in opera sono suddivise in due parti, la prima da compilare prima della realizzazione dell’elemento tecnico e la seconda da compilare durante la realizzazione dello stesso. In questo caso ogni scheda è riferita ad un elemento tecnico, da definire a discrezione del direttore dei lavori e in funzione del requisito. Per esempio, in merito all’isolamento al rumore aereo di pareti, un elemento tecnico potrebbe consistere in una singola parete divisoria. Riguardo invece all’isolamento da calpestio, un elemento potrebbe essere il pavimento galleggiante di una intera unità abitativa. Ancora, per l’isolamento acustico di facciata, si potrebbe compilare una checklist su un campione più o meno ampio di facciate. Infine, per gli impianti a ciclo discontinuo, una scheda di

verifica potrebbe corrispondere all'intero tragitto di una colonna di scarico e delle sue diramazioni.

La quantità di checklist da compilare è a discrezione del committente o del direttore dei lavori, tuttavia è lecito aspettarsi che tale quantità sia direttamente proporzionale alla probabilità di ottenere i risultati attesi al termine dei lavori.

A questo scopo assume una notevole importanza anche la **variabilità legata alle procedure di misurazione in opera**. L'argomento è attualmente al centro di numerose ricerche scientifiche ed è oggetto di una profonda revisione a livello normativo e legislativo, sia a livello nazionale che internazionale.

Nel presente lavoro si è voluto fornire un contributo per la valutazione dell'influenza dei *singoli* fattori di variabilità ritenuti più critici nei metodi di misurazioni in opera: la scelta della tecnica di misura e della posizione/tipologia della sorgente.

In merito alla tecnica di misura, diversi Round Robin Test hanno mostrato che i metodi di movimentazione manuale del microfono sono più affidabili rispetto al metodo con postazioni microfoniche fisse, in quanto garantiscono scarti tipo di riproducibilità inferiori.

Le sperimentazioni eseguite per confrontare le diverse tecniche di misura descritte nelle normative hanno ottenuto risultati in linea con diversi lavori, evidenziando che i metodi di movimentazione manuale del microfono differiscono, in termini di indice di valutazione, di circa 0.5 - 1 dB rispetto al metodo a postazioni microfoniche fisse.

In questa sede è stato proposto un ulteriore metodo di movimentazione manuale, basato sul fissaggio del microfono su un'asta di lunghezza variabile e sull'oscillazione della stessa secondo traiettorie su piani verticali rappresentativi delle diverse zone dell'ambiente. A fronte di valori risultati in linea con gli altri metodi di movimentazione manuale, si ritiene che il metodo proposto abbia due particolari vantaggi: permette di coprire una porzione maggiore di ambiente (anche in zone particolarmente alte non raggiungibili con l'analizzatore in mano), e riduce il rumore provocato dal movimento del microfono rispetto agli altri due metodi, caratterizzati dal mantenere l'analizzatore in mano. Quest'ultima differenza diventa importante nei casi di partizioni caratterizzate da un'elevata prestazione acustica, in cui il livello di rumore misurato nell'ambiente ricevente è particolarmente basso.

La valutazione della variabilità legata alla posizione della sorgente di rumore è stata eseguita per l'isolamento al rumore aereo e per l'isolamento acustico di facciata.

In entrambi i casi le normative lasciano infatti margini di tolleranza piuttosto ampi, soprattutto per quanto riguarda la posizione dell'altoparlante nelle misure di facciata: è stato infatti evidenziato che nel caso di misurazioni eseguite sulla stessa facciata, dallo stesso operatore e in intervalli di tempo brevi, variando esclusivamente la posizione dell'altoparlante in modo da avere sempre una incidenza di 45° come indicato nella normativa, sono state ottenute differenze fino a 1.5 - 2 dB. Nel caso di facciate d'angolo al piano terra, con una parete finestrata e una opaca, la scelta del posizionamento dell'altoparlante a 45° sul lato destro o sinistro verso la parete opaca ha comportato, come prevedibile, una variazione di

risultato in certi casi piuttosto elevata, al contrario della scelta del posizionamento della sorgente sul lato destro o sinistro verso la parete finestrata, che non subisce variazioni. Ovviamente, anche se la normativa non lo specifica chiaramente (per cui tutte le posizioni scelte sono comunque legittime), le posizioni di sorgente più corrette in questo caso sono quelle che mirano a verificare la prestazione di una parete senza che siano influenzate dalla prestazione dell'altra parete.

L'influenza della posizione dell'altoparlante per le misure di isolamento al rumore aereo è stata valutata ricorrendo all'esperimento statistico utilizzato anche per la valutazione della variabilità della posa in opera. I risultati, a differenza della facciata, hanno mostrato differenze trascurabili tra la collocazione della sorgente nelle due posizioni d'angolo piuttosto che in due posizioni centrali. Per questo requisito è stata valutata anche la differenza tra l'utilizzo di un altoparlante dodecaedrico e un altoparlante direttivo, dal momento che la normativa non esclude nessuna delle due ipotesi. I risultati, anche in questo caso, hanno mostrato differenze prevalentemente trascurabili, solo in un paio di casi pari a 1 dB (ambienti piccoli e arredati).

Tali risultati sono ovviamente da considerare indicativi e riferiti esclusivamente alle misurazioni eseguite. In particolare è lecito attendersi differenze più evidenti dovute al posizionamento dell'altoparlante nelle misure di isolamento al rumore aereo, nei casi di ambienti emittenti arredati e con campi acustici molto disomogenei.

Nell'ultimo capitolo sono stati studiati i fattori di variabilità e le problematiche inerenti alla normativa **UNI 11367 sulla classificazione acustica degli edifici**.

Attraverso una campagna di misure in opera eseguite presso un sistema edilizio con caratteristiche non seriali, sono stati evidenziati i punti critici relativi all'utilizzo della procedura di campionamento (solitamente prevista per edifici seriali) e della bozza di Linee Guida U20002150 (riferita proprio all'applicazione della classificazione acustica per edifici non seriali).

In merito alla procedura di campionamento è stato innanzitutto evidenziato che, se applicata ad edifici non seriali, comporta una riduzione comunque limitata del numero di prove, a causa del numero eccessivo di gruppi omogenei e di elementi singoli, il che comporta un numero maggiore di campioni e quindi di misurazioni. Dal momento che nel complesso residenziale in oggetto erano state eseguite quasi tutte le misurazioni su quasi tutti i requisiti, è stato possibile valutare quali fossero i risultati "limite" (in termini di distribuzione percentuale di unità immobiliari nelle varie classi acustiche) che potrebbe ottenere un tecnico nella scelta casuale dei campioni da sottoporre a prova. Tale differenza tra il risultato peggiore e quello migliore ottenibile è risultata piuttosto marcata, con il risultato migliore caratterizzato da una distribuzione di unità immobiliari in Classe II e in Classe III, e il risultato peggiore caratterizzato invece da unità immobiliari equamente divise nelle classi III, IV e NC.

I risultati hanno inoltre anche mostrato che la distribuzione peggiore non dipendeva dalla scelta dei campioni peggiori, bensì dall'escursione tra i valori dei campioni stessi. Ciò è dovuto all'incertezza di campionamento, che è tanto maggiore quanto più è elevata la differenza tra i campioni di uno stesso gruppo omogeneo. Quest'ultima problematica assumeva criticità molto più evidenti nel Progetto di Norma sulla classificazione acustica: il numero di prove minimo (pari a due) e la possibilità di scelta di un livello di fiducia fino al 95% poteva

comportare un'incertezza di campionamento molto più elevata e di conseguenza valori finali molto più penalizzati. L'introduzione, nella versione ultima della normativa, di un numero minimo di prove pari a tre e della possibilità di scelta tra tre livelli di fiducia al 70%, 75% e 80% ha ridotto l'incertezza di campionamento e di conseguenza limitato fortemente tale problematica.

Allo stesso complesso residenziale è stata quindi applicata la procedura alternativa di classificazione descritta nelle Linee Guida U20002150 [9].

Il concetto principale alla base di tale documento è che la riduzione del numero di prove prevista dalla sua applicazione deve essere compensata dalla scelta di effettuare le misurazioni nelle unità immobiliari *più critiche* sotto il profilo delle prestazioni acustiche, con chiaro intento cautelativo nei confronti dell'utente finale. Il progetto di norma fornisce quindi un ordine di criticità, per ogni requisito acustico, sulla base del quale identificare le unità immobiliari progressivamente più critiche. Per cui all'aumentare delle unità immobiliari scelte, dovrebbe corrispondere un graduale miglioramento delle classi acustiche.

In termini di numero di prove l'utilizzo delle Linee guida ha ovviamente comportato una sostanziale riduzione, tuttavia sono state rilevate problematiche relative all'ipotesi di concordanza tra l'ordine di criticità ipotizzato e i risultati progressivamente ottenuti in opera.

Questa problematica potrebbe sorgere quando, per un certo requisito, si ha la combinazione di:

- ridotto numero di livelli di criticità (per esempio due o tre);
- criticità di bassa entità.

Per riportare un esempio riferito al livello di rumore di calpestio, vi è una differenza di prestazione probabilmente maggiore tra un livello di criticità 1 caratterizzato da solaio con pavimentazione in ceramica e un livello di criticità 2 con pavimentazione in parquet, rispetto alla probabilità di avere prestazioni differenti tra due livelli di criticità la cui sola differenza sia basata sulla presenza o meno di ambienti con cavedi passanti. Oppure, per l'isolamento al rumore aereo di pareti, se la differenza tra il primo e il secondo livello di criticità dipendesse dalla presenza o meno della trave rompitratta sopra le pareti, la probabilità di ottenere effettivamente una differenza di prestazione in opera sarebbe sicuramente maggiore rispetto a due livelli di criticità la cui sola differenza è la presenza o meno di integrazione impiantistica nella parete.

Una possibile soluzione potrebbe essere di considerare di pari criticità gli elementi tecnici appartenenti ad un requisito, nel caso in cui si abbiano criticità di numero ridotto (due o tre) e di bassa entità (appartenenti cioè agli ultimi punti dell'elenco delle criticità).

ALLEGATO

**Raccolta degli errori di progetto e di posa più
comuni per ogni requisito**

ALLEGATO - Sommario

1. ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO	A-1
1.1 Raccolta errori di progetto – Isolamento al rumore aereo	A-1
1.2 Raccolta errori di posa – Isolamento al rumore aereo.....	A-5
2. ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA	A-15
2.1 Raccolta errori di progetto – Isolamento acustico di facciata	A-15
2.2 Raccolta errori di posa – Isolamento acustico di facciata	A-18
3. LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO	A-29
3.1 Raccolta errori di progetto – Livello di rumore di calpestio.....	A-29
3.2 Raccolta errori di posa – Livello di rumore di calpestio.....	A-33
4. LIVELLO DI RUMORE IMPIANTI A CICLO DISCONTINUO.....	A-47
4.1 Raccolta errori di progetto – Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo	A-47
4.2 Raccolta errori di posa – Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo	A-53

1. ISOLAMENTO AL RUMORE AEREO

1.1 Raccolta errori di progetto – Isolamento al rumore aereo

1.1.1 Errore di progetto parete pesante: assenza della trave rompitratta nel giunto parete – solaio

Le due immagini di Figura 1 e Figura 2 mostrano il giunto tra parete e solaio in laterocemento. Nella prima figura è riportato il tipico errore progettuale caratterizzato dall'assenza di una barriera al passaggio del rumore aereo attraverso i fori delle pignatte del solaio in laterocemento. La seconda figura mostra invece la corretta progettazione di questo giunto, con la presenza di una trave rompitratta che ha lo scopo di interrompere la continuità del solaio sopra la parete divisoria.

Ovviamente quando la parete divisoria è prevista in corrispondenza della trave strutturale non esiste possibilità di errore.

Quando invece la parete non corrisponde alla trave strutturale questo problema è facilmente riscontrabile, ed è quindi necessario prevedere la posa della trave rompitratta.



Figura 1: esempio di errata progettazione del giunto parete divisoria – solaio (senza trave rompitratta) [43]



Figura 2: esempio di corretta progettazione del giunto parete divisoria – solaio (con trave rompitratta) [43]

In Figura 3 seguente è riportato un confronto tra l'isolamento al rumore aereo di due pareti divisorie appartenenti allo stesso edificio, identiche in termini di stratigrafia, con dimensioni simili e realizzate dalla stessa impresa. Entrambe le pareti non presentavano la trave rompitratta in corrispondenza del giunto tra la parete e il solaio, per cui il solaio in laterocemento era continuo sopra le pareti stesse. Il solo fattore di variabilità era l'orditura dei solai nei confronti delle pareti: uno parallelo e l'altro perpendicolare alla parete divisoria.

Il peggiore risultato ottenuto per il secondo caso è dovuto al rumore trasmesso attraverso i fori delle pignatte, continue tra i due ambienti di prova. L'orditura parallela del solaio ha comportato un miglioramento di circa 2 dB (in termini di indice di valutazione), anche se in opera era comunque sempre percepibile una certa percentuale di rumore proveniente dal giunto parete-solaio. Con ogni probabilità l'utilizzo di una trave rompitratta avrebbe migliorato ulteriormente la prestazione della parete.

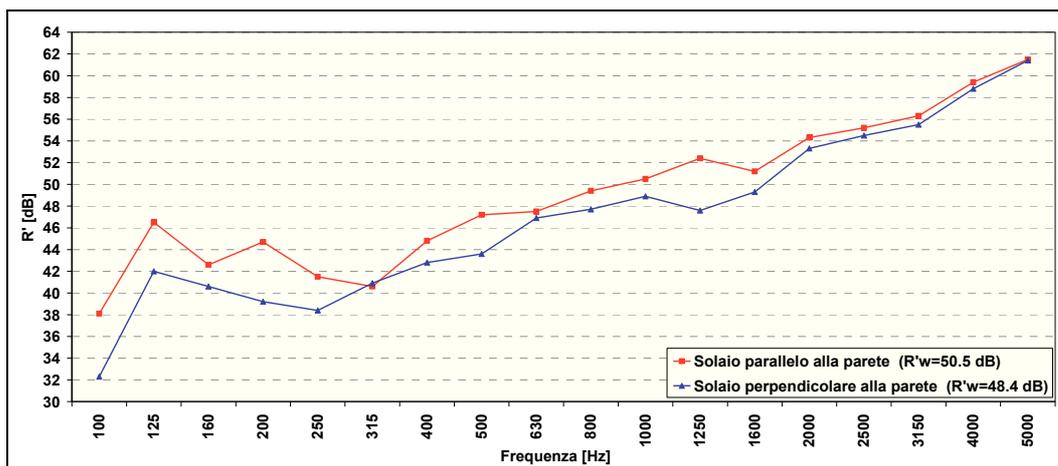


Figura 3: confronto andamento in frequenza isolamento al rumore aereo tra la parete con il solaio superiore parallelo e perpendicolare alla parete stessa

1.1.2 Errore di progetto parete pesante: strato interno della facciata non interrotto in corrispondenza del giunto con la parete divisoria

In alcuni casi la parete esterna, in particolare lo strato più interno, non viene interrotto in corrispondenza del giunto con la parete divisoria (Figura 4 e Figura 5, [43]).

Questa continuità tra i due ambienti di misura crea una forte trasmissione laterale tra i due locali, con conseguente riduzione della prestazione della parete divisoria. L'entità della riduzione dipende soprattutto dalla tipologia di parete esterna, in particolare dal tipo di muratura, dallo spessore dell'intercapedine e dal tipo di materiale isolante.

Nel caso di strato interno della parete di facciata realizzato con blocchi forati orizzontali, la prestazione del divisorio può ridursi anche di 8-10 dB [44].

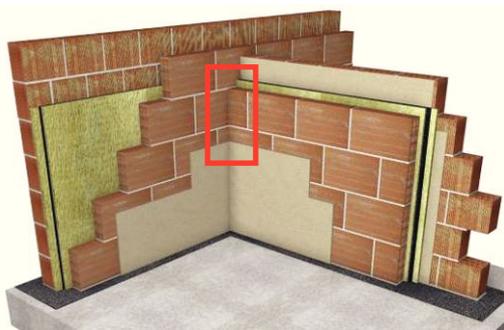


Figura 4: esempio di errata progettazione – parete esterna non interrotta in corrispondenza del giunto con la parete divisoria [43]



Figura 5: esempio di corretta progettazione – parete esterna interrotta in corrispondenza del giunto con la parete divisoria [43]

1.1.3 Errore di progetto parete: tracce impiantistiche realizzate in maniera simmetrica su ambo i lati della parete

Questa tipologia di errore è molto comune, soprattutto nei casi di appartamenti disposti in maniera simmetrica con una parete in comune. La tendenza è infatti quella di prevedere la sistemazione degli impianti in maniera simmetrica, in particolare le scatole di derivazione (Figura 6) e, nel caso di cucine, i tubi di ventilazione.

Questo comporta la creazione di una via preferenziale di trasmissione del rumore, che può penalizzare l'isolamento acustico soprattutto nei casi di pareti leggere e pareti pesanti doppie. In queste tipologie di pareti infatti le tracce impiantistiche, se troppo profonde, potrebbero affidare l'isolamento tra i due locali esclusivamente al materiale fonoassorbente.

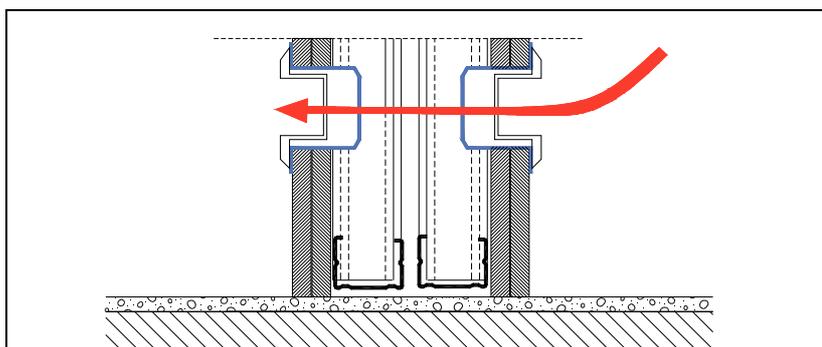


Figura 6: esempio di scatole di derivazione disposte in maniera simmetrica nel caso di una parete leggera

1.1.4 Errore di progetto parete leggera: controsoffitto continuo in corrispondenza con la parete divisoria

Le pareti divisorie leggere sono utilizzate in maniera molto limitata nel contesto costruttivo italiano, tuttavia in alcuni casi sono riscontrabili nell'edilizia ricettiva o commerciale (soprattutto uffici).

Un errore che potrebbe compromettere seriamente l'isolamento acustico previsto per la parete è la continuità del controsoffitto in corrispondenza della parete (Figura 7), con il conseguente percorso di trasmissione del rumore per via aerea nell'intercapedine tra controsoffitto stesso e solaio.

Una possibile soluzione consiste nel realizzare la parete fino in cima al solaio, in modo tale da interrompere il controsoffitto (Figura 8).

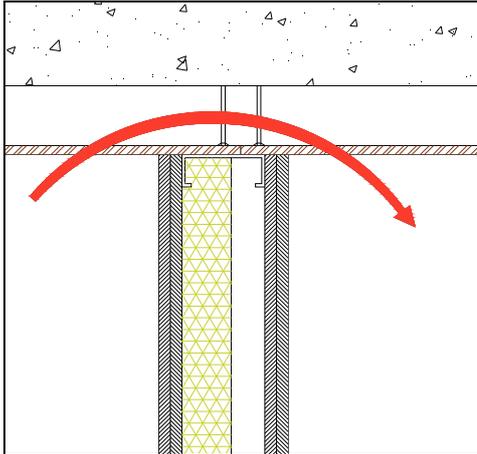


Figura 7: esempio di errata progettazione - controsoffitto continuo in corrispondenza di una parete leggera, con indicazione del percorso di trasmissione del rumore

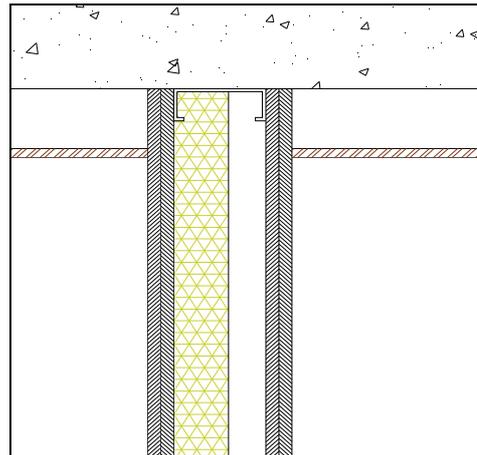


Figura 8: esempio di corretta progettazione - controsoffitto interrotto dalla parete leggera

1.2 Raccolta errori di posa – Isolamento al rumore aereo

1.2.1 Errore di posa parete pesante: assenza o quantità limitata di malta cementizia nei giunti verticali (per le pareti che la richiedono)

Le figure seguenti riportano esempi di diverse tipologie di pareti in cui la malta cementizia non è stata posata oppure è stata posata in quantità molto limitata.

I motivi più frequenti dell'insorgenza di questo errore di posa sono solitamente riconducibili al fatto che l'unione strutturale tra i blocchi della parete è garantita dalla malta applicata sui giunti orizzontali, per cui la manodopera, non adeguatamente istruita, non ritiene necessaria la posa della malta sui giunti verticali. Questa tipologia di errore potrebbe comportare una diminuzione dell'isolamento della parete, soprattutto nei casi di pareti monostrato. In particolare, per questa tipologia di pareti, l'assenza di malta nei giunti verticali è solitamente la ragione principale delle differenze tra i valori ottenuti in opera e i valori misurati in laboratorio. Nelle prove di laboratorio si ha infatti una cura maggiore nella realizzazione della parete, soprattutto per la posa della malta cementizia anche nei giunti verticali.



Figura 9: esempio di assenza totale della malta nei giunti verticali per un parete monostrato



Figura 10: esempio di assenza della malta in qualche giunto verticale e nel giunto tra due pareti



Figura 11: esempio di assenza della malta nei giunti verticali per una parete di mattoni pieni



Figura 12: esempio di posa corretta della malta anche nei giunti verticali

1.2.2 Errore di posa parete pesante: materiale fonoassorbente non continuo all'interno dell'intercapedine

Questa tipologia di errore potrebbe presentarsi sia in caso di pareti pesanti doppie sia in caso di pareti doppie leggere in cartongesso con intercapedine.

In entrambi i casi potrebbe portare a decrementi anche notevoli di prestazione dell'intera parete. Dal momento che si tratta di un errore difficilmente rilevabile in opera a parete finita, diventa quindi molto importante il controllo durante la realizzazione.

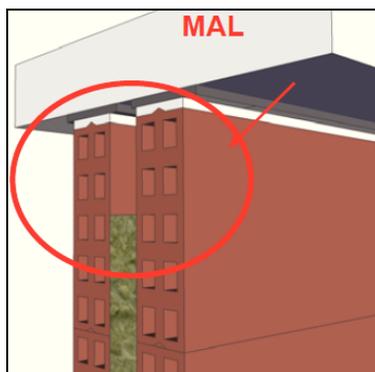


Figura 13: esempio di materiale fonoassorbente non continuo all'interno dell'intercapedine (figura estralata dalle linee guida spagnole, [16])

1.2.3 Errore di posa parete pesante: tracce impiantistiche troppo profonde e non adeguatamente riempite con malta cementizia

Gli scassi nelle pareti, necessari per l'installazione di impianti idraulici o elettrici, comportano una variazione, più o meno importante, della prestazione acustica.

Uno degli errori più frequenti si verifica quando le tracce impiantistiche non vengono adeguatamente riempite con malta cementizia (Figura 14 e Figura 15), e viene quindi a crearsi un punto debole nella parete che potrebbe provocare una diminuzione di isolamento acustico. La presenza massiccia di malta è infatti indispensabile per ripristinare la massa della parete eliminata con lo scasso.

Un altro errore piuttosto abituale è la lacerazione del materiale fonoassorbente interno all'intercapedine delle pareti doppie in seguito alla realizzazione di tracce troppo profonde (Figura 16 e Figura 17): il conseguente riempimento delle tracce con malta potrebbe connettere rigidamente i due strati di laterizio delle pareti doppie e creare un ponte acustico.

Occorre quindi prestare molta attenzione nell'esecuzione dello scasso, in modo tale da lasciare intatta almeno l'ultima tavella del mattone ed evitare lacerazioni nel materiale fonoassorbente.

L'entità di una eventuale riduzione dell'isolamento di una parete dovuta a queste tipologie di errori è difficilmente prevedibile, dipende infatti da una molteplicità di fattori (dimensioni e numero degli scassi, quantità di malta inserita, tipo di impianto inserito etc.).



Figura 14: esempio di uno scasso per scatole di derivazione non adeguatamente riempito con malta



Figura 15: esempio di uno scasso per un sanitario correttamente riempito con malta



Figura 16: esempio di uno scasso troppo profondo in una parete doppia per l'installazione di un impianto tecnico



Figura 17: particolare della lacerazione parziale del materiale fonoassorbente interno all'intercapedine della parete doppia

1.2.4 Errore di posa parete pesante: spessore troppo esiguo o assenza del terzo intonaco su un lato dell'intercapedine delle pareti doppie (se prescritto in sede progettuale)

Il terzo intonaco all'interno di una parete doppia ha la duplice funzione di aumentare la massa di una parete (contribuendo quindi ad incrementarne l'isolamento acustico) e di correzione di eventuali ponti acustici dovuti alla mancanza di malta in qualche giunto verticale.

L'errore in questo caso potrebbe essere la totale assenza del terzo intonaco (Figura 18) oppure l'applicazione di un rinzaffo di pochi millimetri: in entrambi i casi si potrebbe ridurre l'isolamento della parete e quindi la probabilità di ottenere in opera la prestazione prevista in fase progettuale.

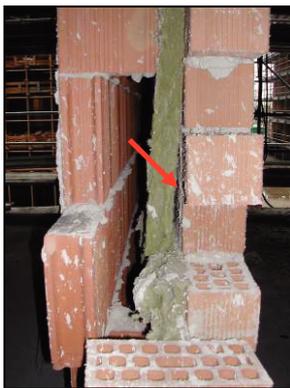


Figura 18: esempio di assenza del terzo intonaco sul lato interno del mattone semipieno da 12 cm

1.2.5 Errore di posa parete pesante: fascia tagliamuro, utilizzata per desolidarizzare le pareti dal solaio, posta alla base di pareti pesanti e/o posata senza lasciare almeno 2 cm di bordo libero dalla parete soprastante

La fascia taglia muro è solitamente impiegata per desolidarizzare le pareti dal solaio e quindi impedire uno dei percorsi di trasmissione del rumore per via strutturale da un ambiente all'altro.

L'errore in questo caso consiste nel posare la fascia tagliamuro con caratteristiche non adeguate per il carico previsto alla base di pareti pesanti. In questo caso possono insorgere dei cedimenti con conseguente abbassamento dell'intera parete e formazione di fessurazioni, principalmente sul giunto orizzontale superiore in corrispondenza del collegamento con il solaio ma anche sul giunto verticale in corrispondenza del collegamento con le pareti laterali (Figura 19 e Figura 20).

Tali fessurazioni possono determinare un ponte acustico ed una conseguente riduzione del potere fonoisolante.



Figura 19: esempio di fessurazione in prossimità del giunto parete – soffitto



Figura 20: esempio di fessurazione in prossimità del giunto parete – parete

Nel corso di una estesa campagna di misurazioni su pareti monostrato di spessore pari a 28 cm, questo errore di posa è stato rilevato in un paio di occasioni.

Su questa tipologia di parete sono state realizzate quasi 50 misurazioni nel corso di dieci anni, ed è stato ottenuto un valore di potere fonoisolante medio pari a 51.7 dB. Lo scarto era risultato particolarmente ridotto (pari a 1.2 dB), indice della “robustezza” di tale soluzione costruttiva in termini di posa in opera.

Nella Figura 21 seguente è riportato il confronto tra l’andamento in frequenza medio sulle 47 misure eseguite sulla tipologia di parete sopraccitata, in cui era assente la fascia tagliamuro, e l’andamento in frequenza di cinque pareti (appartenenti a due diversi edifici) in cui era stata posata una fascia tagliamuro inadeguata.

Si può notare che le fessurazioni dovute all’errore di posa hanno comportato un abbassamento dei livelli soprattutto alle medie frequenze (tra 400 e 2000 Hz circa), con conseguente decremento dell’indice di valutazione di circa 2-3 dB.

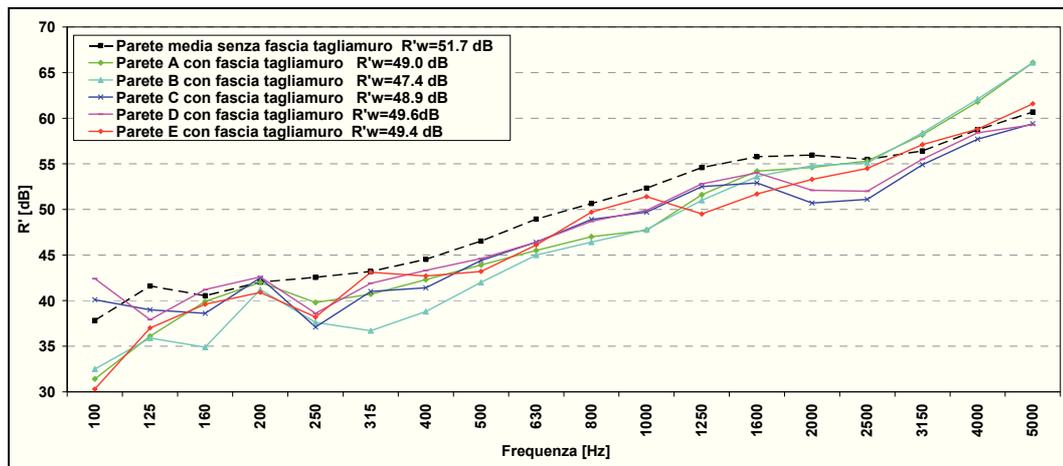


Figura 21: confronto andamento in frequenza tra le pareti con la fascia taglia muro e la parete tipo senza fascia taglia muro

Nel caso in cui la fascia tagliamuro si correttamente dimensionata in base al carico della parete soprastante, occorre prestare attenzione a lasciare almeno 2 cm di bordo libero ai due lati della parete, per evitare che l’intonaco, una volta posato, vada in contatto rigido con i solaio, generando un ponte acustico (Figura 22).

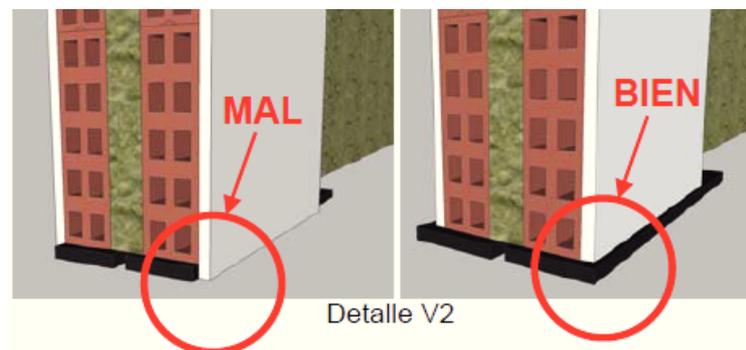


Figura 22: esempio di fascia tagliamuro posata in maniera sbagliata e in maniera corretta, lasciando cioè un bordo libero di almeno 2 cm ai bordi (figure estrapolate dalle linee guida spagnole, [16])

Quindi, in linea generale, l'impiego della fascia tagliamuro può dare qualche beneficio, se dimensionata e utilizzata in maniera corretta. In caso contrario può addirittura essere controproducente, portando a serie penalizzazioni dell'isolamento della parete.

1.2.6 Errore di posa parete pesante: blocchi ad incastro non perfettamente uniti tra loro

I blocchi ad incastro, per definizione, non prevedono la sistemazione della malta nei giunti verticali, ma solo in quelli orizzontali.

L'unione non perfetta di questi blocchi tra loro (Figura 23) può avere lo stesso effetto della mancanza di malta nei giunti verticali, creare cioè un ponte acustico che potrebbe ridurre la prestazione della parete.

Questo difetto è dovuto soprattutto ai residui di malta lasciati nella posa dello strato precedente (Figura 24), che fungono da ostacolo per l'aderenza dei blocchi.



Figura 23: esempio di unione non ottimale dei blocchi ad incastro



Figura 24: esempio di residui di malta che ostacolano la sistemazione corretta dei blocchi ad incastro

1.2.7 Errore di posa controparete con telaio metallico: connessione rigida del telaio alla parete divisoria

La controparete è il sistema più usato per incrementare l'isolamento acustico di una parete esistente.

Nel caso di utilizzo di una controparete in cartongesso o legno montata su telaio metallico e con intercapedine riempita con materiale fonoassorbente, l'errore più comune consiste nel connettere rigidamente il telaio alla parete divisoria.

Questo fissaggio, per effetto di una maggiore trasmissione laterale, potrebbe comportare un incremento di prestazione inferiore rispetto ad una controparete con telaio connesso esclusivamente al soffitto e alla pavimentazione.

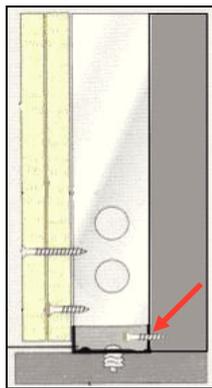


Figura 25: esempio di posa errata del telaio metallico, fissato anche alla parete divisoria

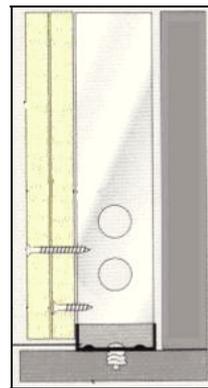


Figura 26: esempio di posa corretta del telaio metallico, fissato alla pavimentazione e desolidarizzato dalla parete

1.2.8 Errore di posa giunto parete divisoria – tetto inclinato: presenza di aperture o fessure tra la parete e il tetto

Una problematica tipica degli ambienti sottotetto è rappresentata dal giunto di collegamento tra il tetto e la parete divisoria.

Nel caso di tetti inclinati in legno a vista, l'errore potenzialmente più critico è la mancata interruzione dell'intradosso del tetto in corrispondenza del giunto con la parete divisoria. Questo potrebbe creare aperture e quindi la trasmissione del rumore per via aerea tra i due ambienti di prova. In caso di tetti ventilati, il rumore tende a incanalarsi anche attraverso l'intercapedine di ventilazione, determinando un ulteriore peggioramento della prestazione della parete.

Di seguito sono riportati alcune foto e i risultati di misura su una parete divisoria tra due ambienti sottotetto, in cui era stata riscontrata una forte componente di rumore passante dal giunto tra la parete divisoria e la copertura (tetto ventilato con orditura in legno e tavole di cotto), dovuta ad una non perfetta sigillatura nell'incastro tra i due elementi tecnici. Questo ponte acustico era presente su tutto il giunto orizzontale di un ambiente, tra i diversi travetti di legno del tetto (Figura 27).

A titolo di sperimentazione, è stato eseguito un intervento provvisorio inserendo a pressione del materiale fonoassorbente nelle aperture tra i travetti dell'intradosso del tetto (Figura 28). Questo intervento ha comportato un miglioramento di prestazione di circa 6 dB dell'isolamento tra i due ambienti, passando da 42.5 dB a 48 dB.

Per raggiungere poi la conformità al limite del DPCM 5/12/97 è stato eseguito l'intervento definitivo, caratterizzato dalla realizzazione di una controparete in cartongesso e intercapedine riempita con lana di roccia, fino al tetto in modo da occludere le aperture tra i travetti dell'intradosso. Questo intervento ha comportato un incremento di isolamento di ulteriori 6 dB circa, arrivando ad un indice di valutazione di 53.9 dB.



Figura 27: particolare del giunto tra parete e tetto con indicazione del ponte acustico (prima dell'intervento)



Figura 28: particolare dell'inserimento del materiale fonoassorbente nel ponte acustico (intervento provvisorio)



Figura 29: particolare della controparete in cartongesso (intervento definitivo)

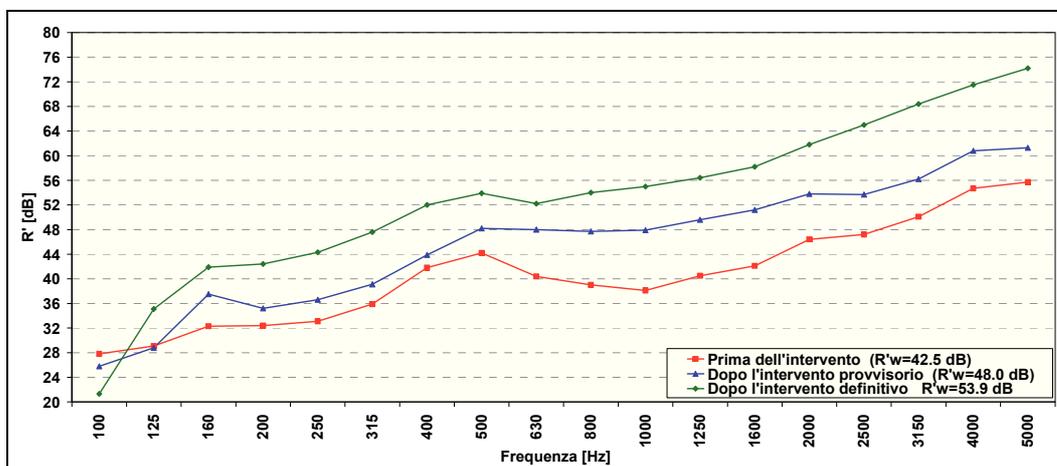


Figura 30: confronto andamento in frequenza isolamento al rumore aereo per la parete divisoria, prima dell'intervento, dopo l'intervento provvisorio e dopo l'intervento definitivo

Per i tetti inclinati in laterocemento la problematica di trasmissione del rumore attraverso la copertura è molto più limitata, data la massa superiore rispetto al solaio in legno. Tuttavia possono nascere problemi nell'applicazione della malta tra la parete in muratura e la trave di colmo: se la posa non è accurata e abbondante, la malta a lungo termine tende a ritirarsi, il che potrebbe creare fessurazioni e quindi percorsi privilegiati di trasmissione del rumore.

1.2.9 Errore di posa porta di ingresso: presenza di intercapedini o fessure non adeguatamente riempite o sigillate – regolazione non adeguata della porta

Gli errori più comuni nella posa in opera di una porta di ingresso sono riferiti al mancato o parziale riempimento delle intercapedini presenti tra telaio fisso e controtelaio o all'interno del telaio fisso (in Figura 31 e Figura 32 sono riportati due esempi di *corretta* posa in opera). La mancanza di un adeguato isolamento

all'interno della porta non rientra tra gli errori di posa, ma è spesso dovuto ad una scelta non adeguata della tipologia di porta.

Un altro errore che potrebbe pregiudicare l'isolamento acustico atteso della porta di ingresso è la presenza di fessure tra il telaio fisso e la muratura, che dovrebbero essere ridotte il più possibile e quindi opportunamente sigillate (Figura 33 e Figura 34).



Figura 31: esempio di corretta posa di materiale a riempimento dell'intercapedine tra telaio fisso e architrave, con sigillatura tra le fessure



Figura 32: esempio di corretto riempimento della cavità interna del telaio fisso mediante lana di roccia in pressione



Figura 33: esempio di ponte acustico tra telaio fisso e muratura



Figura 34: esempio di correzione del ponte acustico mediante sigillatura della fessura

Assume poi un ruolo importante la corretta regolazione della porta, per fare in modo che tutte le guarnizioni della porta siano tenute saldamente e uniformemente in pressione lungo il perimetro dei montanti, della traversa e della base (nel caso sia presente una soglia fissa).

In caso di soglia mobile (o "soglia paraspifferi") si dovrebbero privilegiare le soglie più performanti dal punto di vista acustico, cioè che premano fortemente contro il pavimento che vadano bene in battuta con il bordo inferiore della porta e con le sue tenute laterali.

Misure di laboratorio hanno comunque evidenziato differenze di potere fonoisolante R_w tra le due tipologie di soglie comprese tra 2 e 6 dB [45], in funzione della tipologia di soglia mobile, per cui è comunque preferibile la scelta di soglie fisse.

2. ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

2.1 Raccolta errori di progetto – Isolamento acustico di facciata

2.1.1 Errore di progetto cassonetto: assenza di un adeguato rivestimento fonoassorbente all'interno

Il cassonetto è una delle zone potenzialmente più critiche dell'intero serramento. Oltre a rappresentare infatti l'unico collegamento diretto tra l'esterno e l'interno, è anche costituito da numerosi componenti, per cui è necessaria una cura particolare nella posa.

Dal punto di vista progettuale l'errore più comune è quello di considerare la coibentazione termica prevista all'interno del cassonetto come efficace anche dal punto di vista acustico. In realtà questa coibentazione è spesso caratterizzata da pannelli di qualche millimetro di spessore, incollati sulle pareti interne del cassonetto, che non hanno nessuna funzione di isolamento acustico.

Un cassonetto progettato in maniera acusticamente corretta dovrebbe prevedere un rivestimento di materiale fonoassorbente, meglio se di densità elevata ($>50 \text{ kg/m}^3$), con spessore non inferiore ai 2 cm e disposto su tutte le facce interne.

In questo modo il rumore che entra all'interno della fessura tra avvolgibile e parete viene in gran parte assorbito dal rivestimento, evitando di propagarsi nell'ambiente ricevente. La presenza del rivestimento è tanto più importante quanto meno è massiva la struttura del cassonetto.

Per verificare l'influenza della posa in opera corretta di un rivestimento fonoassorbente all'interno di un cassonetto sono state condotte due sperimentazioni in opera, su facciate con serramenti e cassonetto in PVC.

Nella prima sperimentazione sono state eseguite misurazioni su tre facciate, prima e dopo l'applicazione all'interno dei cassonetti delle finestre di un rivestimento in fibre di poliestere.

La seconda sperimentazione è stata caratterizzata dalla stessa procedura, su dieci facciate in cui però è stato applicato un rivestimento interno in agglomerato di poliuretano.

I risultati di entrambe le sperimentazioni hanno evidenziato che l'applicazione di un adeguato rivestimento interno può portare a incrementi dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata compresi mediamente tra 2 e 4 dB, con le differenze più evidenti alle medio – alte frequenze.

2.1.2 Errore di progetto cassonetto: struttura del cassonetto poco massiva

La scelta di cassonetti di struttura troppo leggera non è propriamente un errore progettuale, un adeguato rivestimento fonoassorbente interno può infatti permettere di migliorare la prestazione del serramento.

Tuttavia l'utilizzo, quando possibile, di cassonetti di struttura più massiva (per esempio di legno) è da preferire in quanto tende ad attenuare maggiormente il rumore passante attraverso di esso.

2.1.3 Errore di progetto foro di ventilazione cucina: utilizzo di un sistema non silenziato

Il problema riguarda soprattutto gli ambienti cucina, dove è obbligatorio realizzare prese di ventilazione con superficie minima non ostruita di 100 cm^2 .

Per limitare la perdita di isolamento acustico, è necessario che tali fori di ventilazione siano dotati di dispositivi di attenuazione del rumore.

L'assenza di questi dispositivi può portare a penalizzazioni anche importanti dell'isolamento acustico di facciata.

Un caso studio presentato dall'Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia [45] ha evidenziato la variazione di isolamento di facciata in caso di foro di ventilazione aperto e foro di ventilazione sigillato completamente con materiale isolante. L'indice di valutazione nei due casi ha presentato una differenza di 10 dB ($D_{2m,nT,w} = 30 \text{ dB}$ con il foro aperto, $D_{2m,nT,w} = 40 \text{ dB}$ con il foro sigillato).

Ovviamente questo risultato indica esclusivamente l'influenza di un tipico foro di ventilazione non silenziato rispetto ad una facciata senza foro.

Per valutare l'influenza di un foro di ventilazione silenziato e correttamente posato in opera rispetto ad una parete senza foro, è stata eseguita la stessa tipologia di prova comparativa appena descritta. Sulla stessa facciata sono state eseguite due prove: la prima con il foro di ventilazione silenziato correttamente funzionante e la seconda dopo aver occluso il foro silenziato con materiale isolante.

Il risultato è riportato nella Figura 35.

Si può notare che in questo caso la presenza del foro di ventilazione ha influenzato la prestazione della facciata di soli 2 dB, grazie alla presenza della parte silenziata.

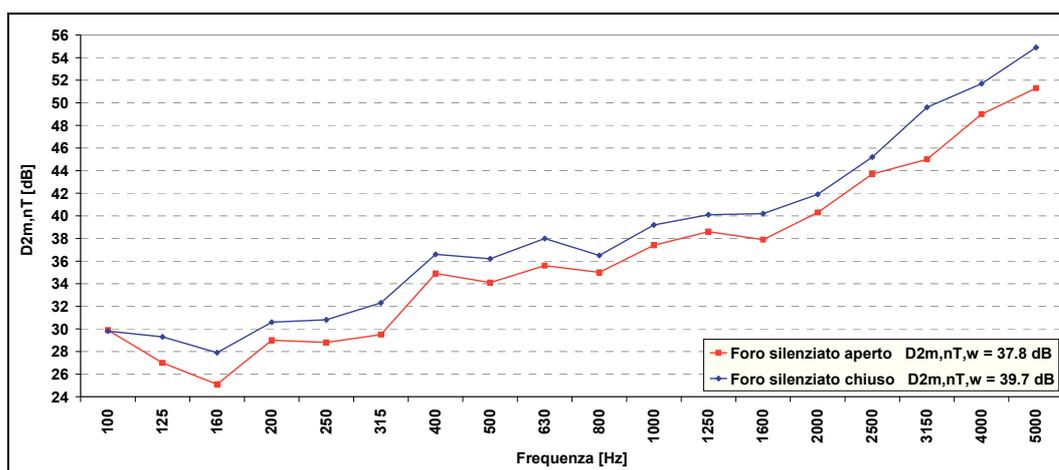


Figura 35: confronto in frequenza tra i valori di isolamento acustico di facciata ottenuti con il foro silenziato aperto e con il foro silenziato occluso

2.1.4 Errore di progetto aeratori per finestre: scelta di aeratori senza abbattimento acustico

Gli aeratori per finestre sono sempre più utilizzati in quanto permettono il ricambio di aria controllato all'interno degli ambienti assicurando nel contempo il risparmio energetico. Dal punto di vista acustico rappresentano invece potenziali punti deboli, essendo un collegamento diretto tra l'esterno e l'interno.

La scelta tra l'impiego di aeratori sul corpo dei serramenti oppure sullo sportellino di ispezione del cassonetto è pressoché indifferente, l'importante è l'utilizzo di aeratori con abbattimento acustico certificato e una corretta posa in opera degli stessi.

2.1.5 Errore di progetto cappotto per parete esterna: utilizzo di materiali con rigidità dinamica troppo elevata (possibile riduzione di isolamento acustico della parete)

Le pareti esterne hanno un potere fonoisolante molto più elevato rispetto agli altri componenti di facciata. E' bene tuttavia non prescindere dall'analizzare quali siano i possibili errori nella scelta di determinati materiali, anche se potrebbero comunque avere un'influenza trascurabile nell'isolamento complessivo.

Uno studio dell'Università di Stoccarda [46] ha valutato il comportamento dei materiali utilizzati per il cappotto, in termini di rigidità dinamica, frequenza di risonanza ed eventuale miglioramento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante ΔR_w della facciata. I risultati, riportati in Tabella 1, sono stati ottenuti da calcoli previsionali. Si può notare che i materiali con rigidità dinamica superiore a 10 MN/m^3 inducono un peggioramento complessivo dell'isolamento acustico di facciata quando si considera anche il termine di adattamento spettrale per il rumore da traffico, per cui andrebbero evitati. Al contrario materiali con bassa rigidità dinamica (tipo lana di roccia, polistirene espanso e fibre di legno), contribuiscono in senso positivo all'isolamento di facciata.

E' importante specificare che questi risultati non sono frutto di misurazioni in opera, ma di stime basate su formulazioni matematiche, per cui sono da considerare come puramente indicativi.

Tabella 1: miglioramento (stimato) dell'indice di valutazione R_w per alcune tipologie di isolamento a cappotto

Materiale	Spessore [cm]	Rigidità dinamica [MN/m^3]	Frequenza di risonanza f_r [Hz]	ΔR_w [dB]	$\Delta R_w + C_{tr}$ [dB]
Pannelli vuoti tra EPS	7	22	150	1.7	-2.1
Schiuma rigida resol	18	115	343	-2.4	-3.5
Schiuma poliuretanic PU	22	18	136	2.4	-1.7
Polistirene espanso EPS	24	3.75	62	10.2	5.0
Lana di roccia	28	2	47	11.0	7.5
Lana di roccia lamellare	32	100	320	-9.8	-8.5
Fibra di legno	34	5	72	6.6	3.0

2.2 Raccolta errori di posa – Isolamento acustico di facciata

2.2.1 Errore di posa serramento: regolazione non eseguita oppure eseguita in maniera errata

La regolazione dei serramenti è l'operazione di aggiustamento delle ante e del telaio, che viene eseguita dopo aver montato tutti i serramenti.

Dal punto di vista acustico una buona regolazione consiste nel mettere bene in tenuta le ante contro il telaio, in modo da comprimere in maniera il più possibile uniforme le guarnizioni sul perimetro ed evitare quindi la comparsa di aperture (spifferi). Per far lavorare correttamente le guarnizioni, la chiusura del serramento dovrebbe comportare l'applicazione di una certa pressione.

Una regolazione del serramento eseguita in maniera approssimativa può comportare un abbassamento anche importante della prestazione acustica del serramento stesso e di conseguenza una riduzione dell'isolamento di facciata.

Per quantificare al meglio l'entità di tale riduzione, sono riportati di seguito i risultati relativi a due sperimentazioni condotte in due diversi edifici, in cui sono state eseguite misurazioni di isolamento acustico di facciata prima e dopo la regolazione dei serramenti.

Dai risultati si evince che la differenza, in termini di indice di valutazione del potere fonoisolante, tra un serramento non regolato (o regolato male) rispetto ad un serramento regolato con cura potrebbe essere compresa tra 1 e 7 dB.

Tali risultati, in linea con quelli ottenuti da altre misurazioni eseguite da altri tecnici ([47] e [48]) e in altre sperimentazioni [45], evidenziano l'importanza fondamentale di una regolazione eseguita in maniera scrupolosa.

Prima sperimentazione

La prima sperimentazione è stata condotta presso un complesso plurifamiliare caratterizzato da facciate costituite dallo stesso pacchetto di parete esterna e dalla stessa tipologia di serramento in legno a due ante con vetrocamera, del tipo a portafinestra. Tutte le misurazioni sono state eseguite dallo stesso operatore, con la stessa strumentazione di misura, nell'arco di una settimana e con le medesime condizioni termo-igrometriche.

In tutto sono state considerate 12 facciate, per ognuna delle quali sono state eseguite due misurazioni, prima e dopo la regolazione del serramento, effettuata da un montatore specializzato senza la presenza del tecnico.

I fattori di variabilità presenti in ogni sessione di prova erano riconducibili quasi esclusivamente alla regolazione dei serramenti. L'errore casuale associato all'operatore nell'applicazione della procedura di misura è stato considerato trascurabile.

In Figura 36 sono riportati i valori dell'indice di valutazione di tutte le facciate, prima e dopo la registrazione delle portefinestre.

In Figura 37 sono riportati i valori in frequenza dello spettro medio di tutte le facciate per entrambe le configurazioni.

Dai grafici si evince che in seguito alla registrazione delle portefinestre si è ottenuto un miglioramento medio dell'isolamento acustico di facciata pari a 2.5 dB, con un range di differenze compreso tra 1 e 7 dB circa.

La maggior parte delle portefinestre presentavano diversi difetti (Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41), molto evidenti prima della regolazione e meno evidenti, ma sempre presenti, in seguito alla regolazione.

Tali difetti erano relativi soprattutto a problemi di tenuta delle ante contro la battuta, presenza di fessure e spiragli tra le ante e la battuta stessa e problemi relativi al passaggio di rumore attraverso i meccanismi di chiusura centrali. In seguito alla registrazione la tenuta dei serramenti è migliorata, invece i problemi relativi alle fessure e ai meccanismi di chiusura non sono stati risolti del tutto. Ciò può essere imputabile a due fattori: una registrazione non effettuata a regola d'arte oppure una posa dell'intero serramento effettuata in maniera errata, a causa della quale una registrazione corretta non può far altro che limitare i danni.

I difetti del serramento appaiono evidenti anche nel confronto tra i valori medi in frequenza (Figura 37): prima della registrazione dei serramenti è presente un consistente calo di isolamento alle frequenze tra 1000 e 1600 Hz, dovuto probabilmente alla presenza di fessure e spiragli e ad una tenuta delle ante in battuta generalmente scarsa; in seguito alla registrazione si nota un notevole miglioramento in questo range di frequenze, a cui però non corrisponde un altrettanto notevole miglioramento alle medie e alte frequenze.

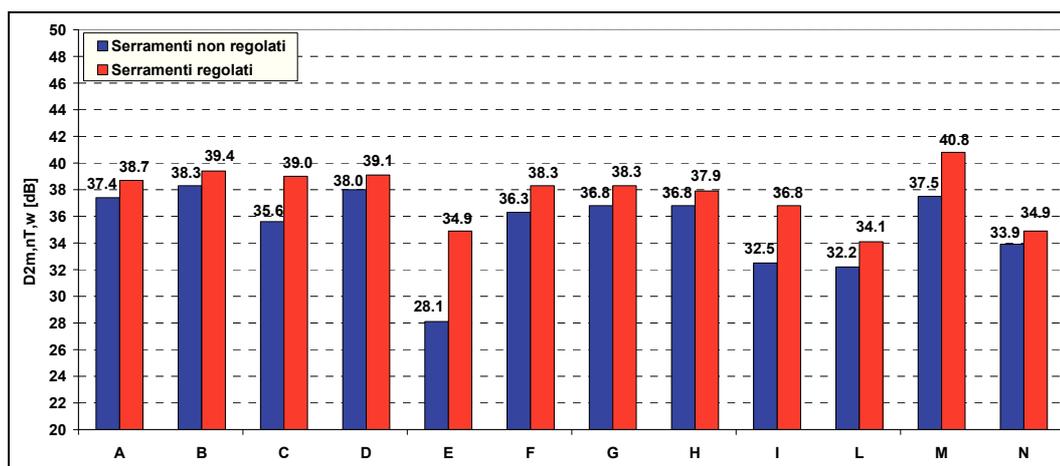


Figura 36: confronto tra i valori dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata ottenuti per le facciate testate prima e dopo la regolazione delle portefinestre

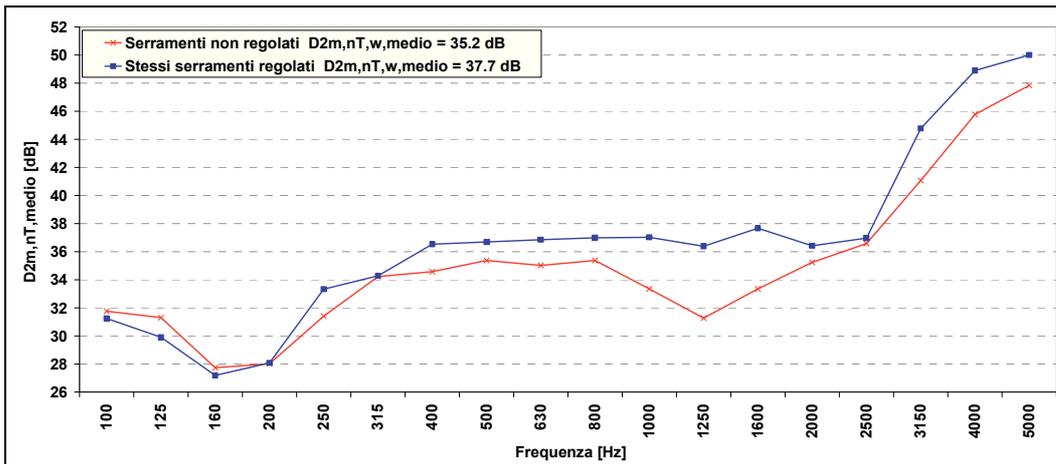


Figura 37: confronto in frequenza tra i valori di isolamento acustico medio di facciata ottenuti per le facciate prima e dopo la regolazione delle portefinestre, con visualizzazione dei valori medi di isolamento di altre due facciate regolate con maggiore cura



Figura 38: particolare della fessura presente tra le ante e la battuta nella parte superiore della portafinestra



Figura 39: particolare della fessura presente in corrispondenza del meccanismo di chiusura alto centrale



Figura 40: particolare del meccanismo di chiusura centrale, ad ante aperte



Figura 41: particolare della fessura presente in corrispondenza meccanismo di chiusura centrale ad ante chiuse

Seconda sperimentazione

La seconda sperimentazione è stata condotta su una sola facciata, caratterizzata da una finestra in legno a due ante, con vetro stratificato, senza cassonetto.

In questo caso il serramento era già stato regolato una prima volta dal montatore, ed era stato ottenuto un valore di 38.1 dB, inferiore alle attese.

Il problema principale riguardava la tenuta delle ante sul telaio fisso e in particolare la presenza di uno spiffero tra il lato di un'anta e il telaio fisso. Prima della seconda misurazione è stata quindi eseguita una regolazione, in presenza del tecnico, caratterizzata da riallineamento delle ante e da un aumento della pressione delle stesse sul telaio fisso. Questo intervento ha comportato un aumento dell'isolamento di circa 1.5 dB, con gli effetti più importanti alle medie frequenze (Figura 42).

Infine è stata eseguita una terza regolazione, basata esclusivamente su un ulteriore aumento della pressione della ante sul telaio fisso, che ha incrementato l'isolamento di 0.5 dB, raggiungendo il valore limite di 40 dB previsto dal DPCM 5/12/97.

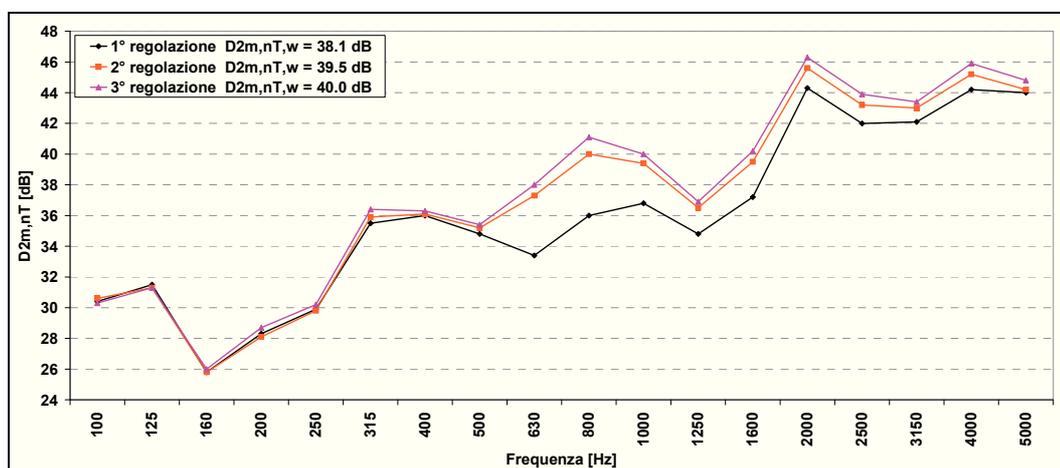


Figura 42: confronto in frequenza tra i valori di isolamento acustico di facciata ottenuti per la stessa facciata con il serramento regolato male (regolazione esistente) poi regolato in maniera corretta

2.2.2 Errore di posa serramento: assenza di adeguati riempimenti e sigillature nei giunti della parte fissa del serramento (giunto parete – controtelaio – telaio fisso)

Il giunto parete – controtelaio – telaio fisso, oltre ad impedire infiltrazioni di acqua e passaggio di calore, ha anche lo scopo di impedire il passaggio del rumore. Il montaggio di questo giunto rappresenta una fase piuttosto delicata: eventuali errori sono difficilmente riscontrabili a posteriori (perché spesso coperti da coprifili) e potrebbero influire anche molto negativamente sull'isolamento acustico.

Prima della realizzazione del giunto è però importante la conformazione del vano: la scelta di un giunto in battuta sulla parete (Figura 43) è solitamente una soluzione più robusta rispetto ad un giunto in luce (Figura 44). Nel secondo caso

infatti in presenza di un giunto mal realizzato, l'onda sonora si può propagare più facilmente verso l'ambiente interno. Inoltre la presenza della battuta consente di realizzare delle soluzioni di collegamento tecnicamente più valide in quanto rappresenta un elemento di protezione dei giunti e consente una vantaggiosa disposizione dei cordoli di sigillatura e di eventuali materiali di coibentazione.

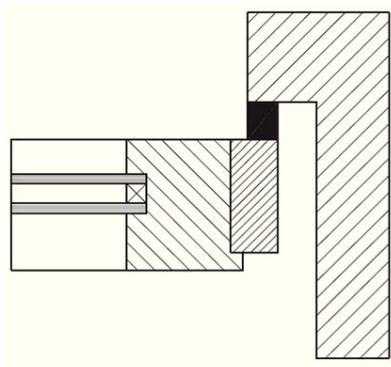


Figura 43: esempio schematico di un giunto in battuta [23]

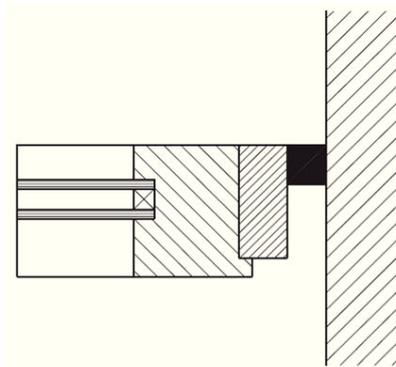


Figura 44: esempio schematico di un giunto in luce, potenzialmente più critico [23]

Il serramento può essere montato con o senza il controtelaio. Nel primo caso il telaio fisso si ancora direttamente alla muratura tramite l'utilizzo di zanche metalliche o tasselli ad espansione. Nel secondo caso il telaio fisso viene montato sul controtelaio, solitamente avvitato al muro: questa procedura è la più frequente in quanto permette di procedere con l'intonacatura della parete prima del montaggio del serramento.

In merito ai controtelai, normalmente vengono realizzati con materiali e tipologie molto diverse poiché devono adattarsi alle differenti necessità e conformazioni del vano murario e alle tipologie di serramenti impiegati. La posa non corretta del controtelaio rispetto alla muratura può comportare difetti assai gravi che possono essere la causa di ponti acustici.

I principali difetti riscontrabili riguardano il mancato o parziale riempimento sia dello spazio tra controtelaio e parete mediante malta cementizia (Figura 45 e Figura 46) che della cavità interna del profilo metallico (in caso di controtelaio in metallo), mediante lana minerale inserita a pressione o schiuma poliuretanic.



Figura 45: particolare del riempimento parziale dell'intercapedine tra un controtelaio metallico e la parete esterna



Figura 46: particolare di un'altra zona in cui la malta è assente

In merito al giunto tra la muratura e il telaio fisso del serramento (in assenza quindi di controtelaio), gli errori più comuni riguardano:

- l'assenza di un adeguato riempimento dell'intercapedine tra muratura e telaio tramite sigillante espandente (schiuma poliuretanic);
- l'assenza del fondo giunto (in neoprene, polietilene espanso, etc.) nella fuga tra telaio e muratura, necessario per la corretta posa del sigillante;
- la chiusura non ottimale e incompleta del giunto tramite sigillatura della parte interna e della parte esterna.

In Figura 47 sono indicate queste possibili zone soggette ad errori, nel caso di un giunto in luce senza controtelaio.

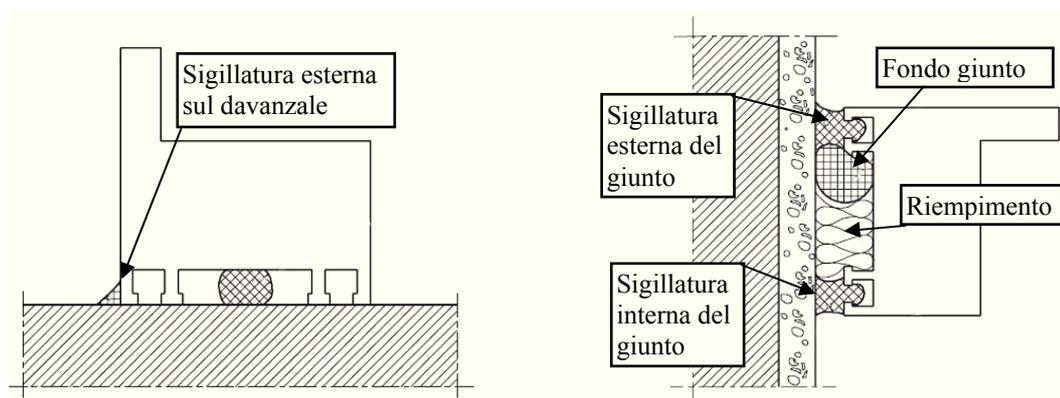


Figura 47: esempio di sezione verticale (sinistra) e orizzontale (destra) di un tipico telaio in luce (senza controtelaio) realizzato in maniera corretta, con indicate le zone maggiormente soggette ad errori di posa [23]

In merito al giunto tra telaio fisso e controtelaio, gli errori più frequenti riguardano:

- l'assenza di un adeguato riempimento dell'intercapedine tra il controtelaio e telaio tramite sigillante espandente (schiuma poliuretanic);
- il mancato riempimento della cavità del controtelaio, nel caso di controtelaio con profilo metallico cavo (influyente per giunti in luce, non necessario per giunti in battuta);
- la chiusura non ottimale e completa del giunto tramite sigillatura della parte interna e della parte esterna. In merito a questa tipologia di errore, un sperimentazione in opera su un serramento in legno ha evidenziato che l'assenza del silicone sul giunto tra il telaio fisso e la muratura esterna ha comportato una riduzione dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata di 4 dB [48].

Nelle Figura 48 sono indicate queste possibili zone soggette ad errori, nei casi di giunto in battuta normale (con controtelaio metallico cavo all'interno). Nelle figure successive (Figura 49, Figura 50, Figura 51 e Figura 52) sono riportati esempi di corretta posa dei riempimenti e delle sigillature, sempre per il giunto in battuta [49].

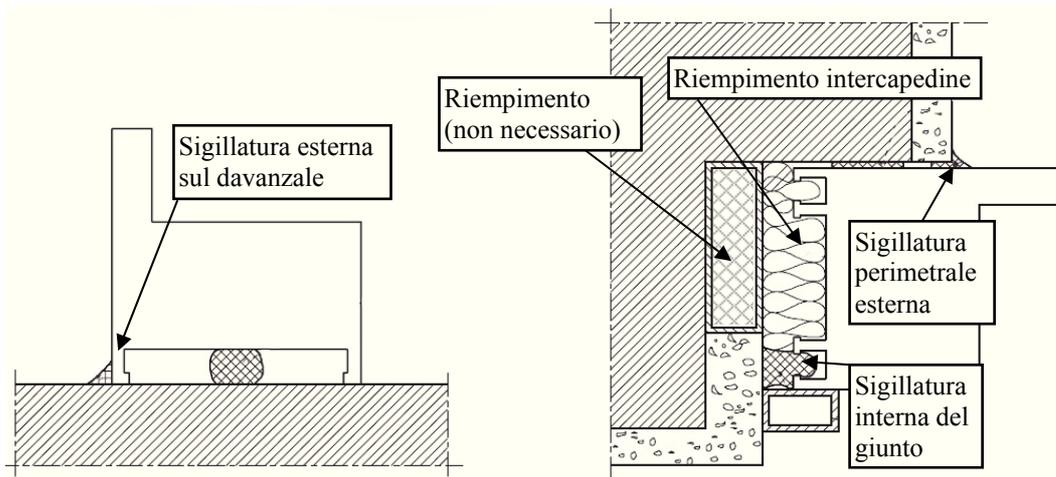


Figura 48: esempio di sezione verticale (sinistra) e orizzontale (destra) di un tipico telaio in battuta (con controltelaio metallico cavo all'interno) realizzato in maniera corretta, con indicate le zone maggiormente soggette ad errori di posa [23]

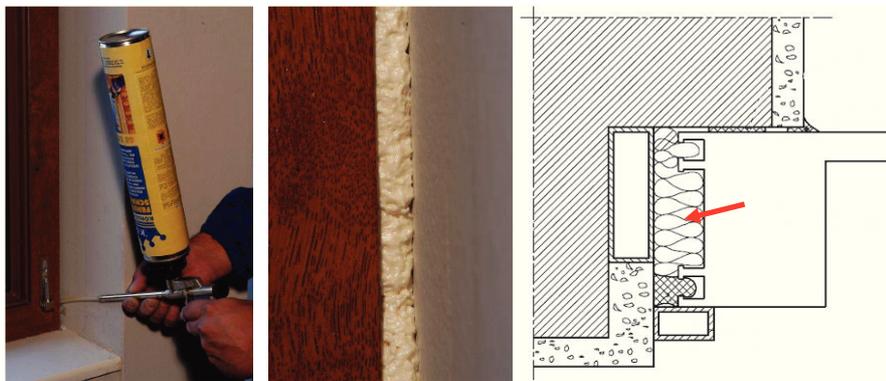


Figura 49: esempio di corretta operazione di riempimento dell'intercapedine tra controltelaio e telaio fisso tramite schiuma poliuretanaica [49]



Figura 50: esempio di corretta applicazione del sigillante sulla parte interna del giunto [49]

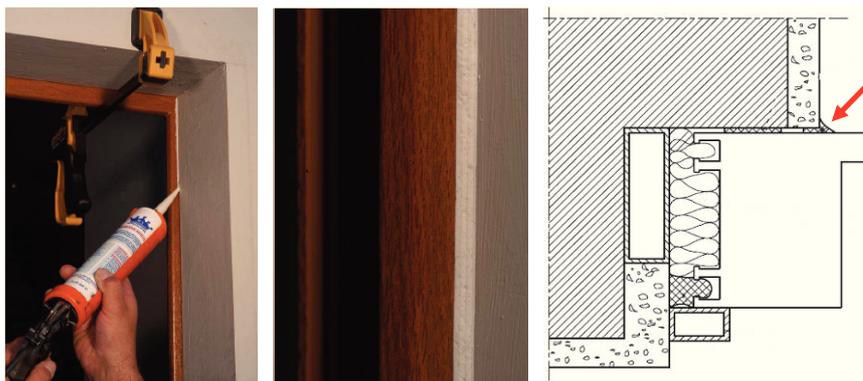


Figura 51: esempio di corretta applicazione del sigillante sul perimetro esterno del giunto tra telaio fisso e muratura [49]

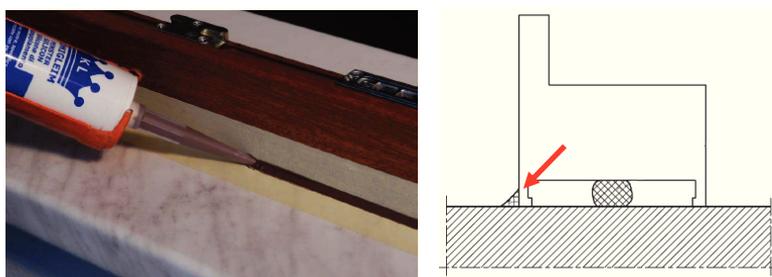


Figura 52: esempio di corretta siliconatura del giunto sul davanzale [49]

2.2.3 Errore di posa serramento: posizionamento errato dei tasselli di portata nel giunto vetro – telaio

Un altro elemento su cui è necessario porre l'attenzione è l'interfaccia telaio – vetro che, se mal eseguita, può compromettere il buon funzionamento complessivo del serramento.

A tale riguardo, occorre che lo spessore del telaio sia dimensionato in modo tale che il peso delle lastre di vetro non interferisca con la manovrabilità e il funzionamento delle ante mobili e che sia assicurata la tenuta aria-acqua tra il telaio e la stessa lastra di vetro. Inoltre, è molto importante che il vetro sia sempre tenuto isolato dal telaio e quindi che la larghezza della cava di alloggiamento del vetro (scanalatura) sia tale da comprendere, oltre allo spessore del vetro, le sue tolleranze e i giochi o spazi laterali per i sistemi di isolamento e tenuta.

Il rischio legato ad una errata esecuzione dell'interfaccia serramento-vetro è causato dalle eventuali deformazioni del telaio, dovute, ad esempio, all'eccessivo peso delle lastre di vetro, che può ridurre la tenuta all'aria del serramento e quindi condizionare la prestazione di isolamento acustico.

A tale riguardo, è importante un corretto dimensionamento e posizionamento dei tasselli, che servono a scaricare il peso delle lastre di vetro in opportuni punti del telaio. Nelle due figure seguenti è riportato un esempio di posizionamento corretto e non corretto dei tasselli.

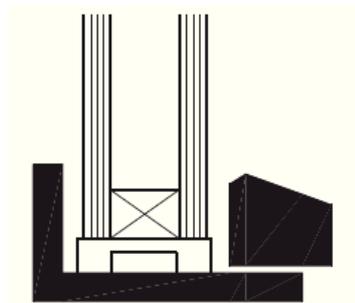


Figura 53: esempio di posizionamento corretto dei tasselli di portata [23]

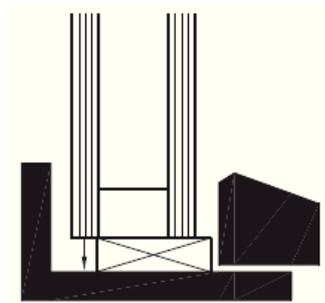


Figura 54: esempio di posizionamento non corretto dei tasselli di portata [23]

2.2.4 Errore di posa cassonetto: fissaggio parziale del cassonetto alla parete, assenza di sigillatura in alcune zone del giunto parete – cassonetto, presenza di fessure sul perimetro dello sportello di ispezione, posa parziale del materiale fonoassorbente all'interno

Gli errori più comuni nella posa in opera di un cassonetto riguardano il fissaggio della struttura del cassonetto stesso alla parete. La presenza di zone in cui il cassonetto non è fissato (solitamente la parte centrale dei pannelli orizzontali superiore e inferiore) o la mancanza di sigillatura in alcuni punti del perimetro del giunto tra il cassonetto e la parete, potrebbero provocare la comparsa di ponti acustici, anche importanti. Questo errore è più frequente in caso di cassonetti prefabbricati: la soluzione consiste nel riempire accuratamente con idonei sigillanti lo spazio tra il muro e il blocco prefabbricato sulle spalle, lateralmente e superiormente rispetto al cassonetto.

In merito allo sportello di ispezione, deve garantire un'adeguata sigillatura sul perimetro, per cui sono da preferire sportelli fissati a vite piuttosto che ispezioni a baionetta.

Infine, il materiale fonoassorbente interno al cassonetto dovrebbe essere fissato in maniera salda e durevole, evitando cioè il distacco a breve e lungo termine ed evitando contatti con l'avvolgibile. A tal proposito si devono impiegare i sistemi di incollaggio giusti in funzione della tipologia di materiale fonoassorbente e del tipo di superficie di incollaggio sul cassonetto. Ovviamente il materiale dovrebbe essere sistemato, per quanto possibile, su tutte le facce del cassonetto, senza lasciare zone scoperte.

2.2.5 Errore di posa cassonetto: apertura tra l'avvolgibile (o il cassonetto) e la parete esterna, assenza dello spazzolino

Un errore comune nella posa di un cassonetto consiste nel lasciare un'apertura (più o meno ampia) tra l'avvolgibile e la parete oppure tra la parete e il cassonetto. In entrambi i casi l'errore potrebbe essere dovuto alla mancanza del listello di chiusura superiore oppure alla mancanza di sigillatura tra la parete e il cassonetto. Anche in caso di corretta sigillatura di queste aperture, un ulteriore errore è l'assenza dello spazzolino tra l'avvolgibile e la parte interna e/o esterna del

cassonetto. Uno studio [50] con misurazioni eseguite in opera ha evidenziato che la presenza dello spazzolino solo sul lato interno contribuisce ad un incremento di 1 dB dell'indice di valutazione, e l'applicazione anche sul lato esterno migliora di 1 ulteriore dB (Tabella 2).

Tabella 2: valutazione dell'influenza dello spazzolino nell'isolamento acustico di facciata

Misurazione	Spazzolino	Isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,W}$ [dB]
A	Assente	36
B	Presente solo sul lato interno	37
D	Presente sul lato interno ed esterno	38

2.2.6 Errore di posa facciata continua: profilati non adeguatamente riempiti e/o assenza di sigillatura nei giunti tra pannelli opachi e profilati

Per le facciate continue, in merito all'interfaccia serramento – parete valgono molti degli accorgimenti riportati alla lettera 2.2.2.

Un ulteriore punto debole potrebbe essere rappresentato dal passaggio di rumore attraverso i montanti e traversi del reticolo di facciata, nel caso in cui i profilati fossero cavi all'interno, non riempiti con materiale espandente ad alta densità e la componente vetrata non fosse continua. In queste condizioni, anche a fronte di buone prestazioni della componente vetrata, si potrebbe compromettere del tutto il rendimento della facciata.

Un altro tipo di errore potrebbe riguardare l'assenza di sigillatura nei giunti tra pannelli opachi della facciata continua e i profilati, oppure nei giunti tra pareti/pavimento e i profilati.

Queste ultime tipologie di errore sono state riscontrate in una sperimentazione in opera, attraverso misurazioni di isolamento acustico di facciata eseguite prima e dopo l'applicazione del silicone nel giunto tra traversi e montanti del reticolo e i pannelli ciechi. La correzione del ponte acustico ha comportato un incremento di isolamento della facciata di circa 1 dB, ravvisabile soprattutto alle medio – alte frequenze.

In caso di facciate continue caratterizzate da un presenza più numerosa di ponti acustici del tipo sopra riportato, è possibile ottenere miglioramenti anche dell'ordine dei 5-6 dB.

2.2.7 Errore di posa foro di ventilazione: traccia realizzata per foro di ventilazione non completamente riempita con malta

Analogamente agli scassi eseguiti sulle pareti divisorie interne, la traccia per la sistemazione del dispositivo di ventilazione deve essere adeguatamente e completamente riempita con malta cementizia, evitando di lasciare fessure di ogni tipo. Un esempio di corretta posa è riportato nella Figura 55 seguente.



Figura 55: esempio di corretta posa in opera di un silenziatore per foro di ventilazione

3. LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO

3.1 Raccolta errori di progetto – Livello di rumore di calpestio

3.1.1 Errore di progetto pavimento galleggiante: rigidità dinamica troppo elevata del materiale anticalpestio, spessore troppo esiguo del massetto galleggiante

Il pavimento galleggiante rappresenta la soluzione tecnologica più utilizzata per limitare il rumore di calpestio di solai.

La prestazione di isolamento al calpestio è legata all'efficacia del sistema massa – molla (massetto galleggiante più materiale resiliente), che dipende soprattutto da due fattori: la massa superficiale del massetto e la capacità di smorzare le vibrazioni del materiale resiliente.

Il massetto deve essere opportunamente dimensionato in base ai carichi previsti, e comunque la sua massa deve essere tale da garantire un efficiente effetto massa-molla: ciò si verifica per masse non inferiori a 100 kg/m^2 che corrispondono a spessori tipici non inferiori ai 5 cm per i materiali normalmente utilizzati in cantiere.

In caso di riscaldamento a pavimento le tubazioni sono annegate nel massetto, per cui si deve garantire uno spessore minimo più elevato, soprattutto al di sopra delle tubazioni (almeno 45 mm di massetto sopra le tubazioni).

L'efficacia del materiale resiliente è legata alla sua rigidità dinamica s' , che rappresenta la misura dell'elasticità del materiale. Perché il materiale resiliente possa essere tale, la sua rigidità dinamica deve essere almeno $s' < 50 \text{ MN/m}^3$.

La rigidità dinamica è legata allo spessore del materiale resiliente; generalmente diminuisce all'aumentare dello spessore, per cui lo stesso materiale avrà una prestazione migliore per spessori maggiori.

La rigidità dinamica dipende anche alla natura dei materiali: se il materiale è fibroso, la rigidità dinamica è correlata a un'altra proprietà del materiale, cioè la sua resistenza al flusso d'aria r . Il valore consigliato per un materiale fibroso è $r > 5 \text{ kNs/m}^4$.

La rigidità dinamica dichiarata di un materiale dipende fortemente dalla qualità del prodotto, in quanto può variare anche sensibilmente da un lotto all'altro della produzione.

Il mantenimento delle prestazioni del materiale resiliente dipende inoltre dalla sua resistenza allo schiacciamento da parte dei sovraccarichi previsti. E' importante verificarne il livello di comprimibilità, che dovrebbe essere dichiarato tra le specifiche dei materiali resilienti.

3.1.2 Errore di progetto pavimento galleggiante: materiale resiliente collocato tra il solaio grezzo e il massetto di livellamento

Il materiale resiliente può essere posato sul massetto di livellamento (opzione progettuale più comune) oppure direttamente sul solaio grezzo.

La scelta di posare il materiale resiliente sul solaio grezzo non rappresenta di per sé un errore, tuttavia è una scelta che non permette di ottenere risultati particolarmente elevati e, soprattutto, molto più soggetta ad errori di posa.

Le potenziali criticità sono due (Figura 56):

- la concreta possibilità che, durante le operazioni di posa degli impianti, il materiale resiliente a pavimento venga danneggiato;
- la foratura della fascia resiliente perimetrale, per permettere il passaggio degli impianti.

Entrambi gli aspetti comportano alterazioni del materiale resiliente che potrebbe portare a discontinuità e di conseguenza peggiorare la prestazione del pavimento galleggiante.

Nel caso si decida comunque di adottare questa soluzione tecnologica si evidenzia la necessità di prestare particolare attenzione a non danneggiare il materiale resiliente durante le operazioni di posa successive e di curare con attenzione il ripristino del risvolto verticale in corrispondenza dei passaggi impiantistici.

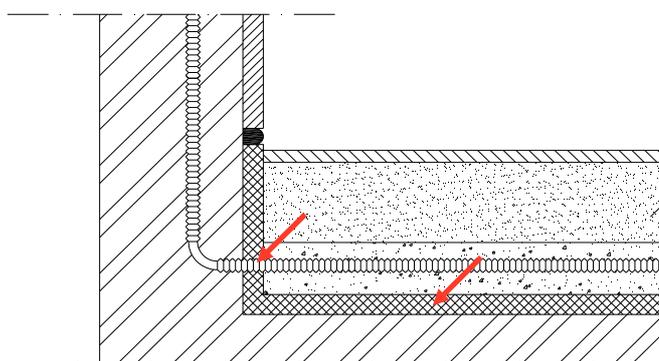


Figura 56: esempio di materiale resiliente posato direttamente sopra il solaio grezzo, con indicazione delle potenziali criticità (foratura della fascia resiliente perimetrale e possibile lacerazione del materiale resiliente a pavimento, dovuti alla posa degli impianti)

3.1.3 Errore di progetto pavimento galleggiante con riscaldamento a pannelli radianti: assenza del materiale resiliente a pavimento e utilizzo di un materiale per l'isolamento termico senza caratteristiche anticalpestio

In caso di riscaldamento a pavimento, un errore piuttosto comune consiste nella mancata applicazione del materiale resiliente al di sotto di pannelli isolanti termici che non hanno caratteristiche di attenuazione del rumore di calpestio.

Si tende infatti spesso a considerare tutte le tipologie di pannelli isolanti termici situati sotto il massetto radiante come idonei anche per limitare il rumore di

calpestio. In realtà la maggior parte di questi pannelli svolgono solamente funzione di isolamento termico, senza avere nessuna caratteristica anticalpestio.

3.1.4 Errore di progetto vano scala: vano scala connesso rigidamente alla parete divisoria

La verifica del rumore di calpestio proveniente dai vani scala non è considerata in maniera esplicita né nel DPCM 5/12/97 [1] né nella normativa UNI 11367 [4] sulla classificazione acustica degli edifici. La sola normativa che descrive la procedura di misurazione in opera di isolamento al rumore da calpestio tra vani scala e alloggi è la UNI EN ISO 140-14 [22].

Per questi motivi si tende a sottovalutare tale problematica, e quindi a vincolare rigidamente i gradini e i pianerottoli del vano scala alle pareti adiacenti delle unità immobiliari (Figura 57).

Questo errore genera un percorso di trasmissione per via strutturale tra la scala e le stanze adiacenti, che potrebbe diventare particolarmente critico in caso di pareti divisorie monostrato. In caso di pareti doppie realizzate a regola d'arte la trasmissione tende ovviamente a ridursi, anche se potrebbe comunque essere fonte di disturbo.

La posa corretta presuppone che tutta la struttura del vano scala sia completamente svincolata dalle pareti adiacenti alla unità immobiliari (Figura 58). La fessura rimasta, se di dimensioni ridotte, dovrebbe essere riempita tramite sigillante elastico, evitando l'utilizzo di malta o di altro materiale rigido. In caso di inserimento di materiale per l'isolamento termico, al momento della posa si deve evitare di connettere rigidamente le pareti con la scala (occorre eliminare eventuali residui di malta cementizia). Anche in fase di posa del rivestimento della scala e dei battiscopa si deve avere cura di non generare contatti diretti tra parete e piano di calpestio.



Figura 57: esempio di errore progettuale – scala connessa rigidamente alla parete divisoria



Figura 58: esempio di progetto corretto – scala disconnessa dalla parete divisoria

Per meglio evidenziare le conseguenze di questa tipologia di errore, si riportano di seguito i risultati ottenuti in tre prove di calpestio in orizzontale tra vani scala e ambienti di unità immobiliari adiacenti. In tutti e tre i casi sia la struttura del vano

scala che il rivestimento superficiale in marmo (compreso il battiscopa) erano connessi rigidamente alla parete divisoria monostrato (Figura 59 e Figura 60). I risultati, riportati in Figura 61, mostrano valori dell'indice di valutazione del livello di calpestio molto elevati (circa 74 dB), dovuti proprio alla trasmissione del rumore per via strutturale.



Figura 59: vista del vano scala della misura A con indicazione della parete divisoria, connessa rigidamente al vano scala stesso



Figura 60: vista del vano scala della misura B con indicazione della parete divisoria, connessa rigidamente al vano scala stesso

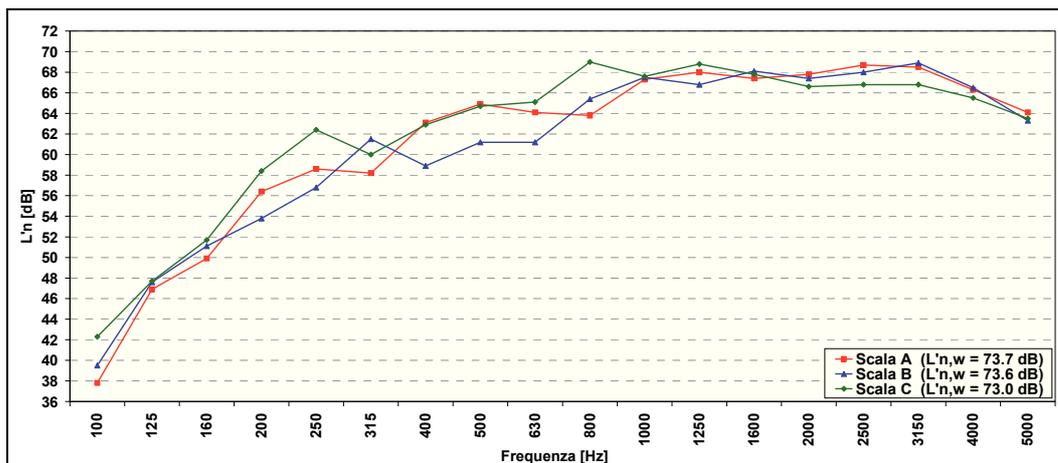


Figura 61: confronto in frequenza tra i valori di calpestio proveniente da vani scala, relativamente a tre coppie di appartamenti adiacenti in senso orizzontale. Il vano scala in tutti e tre i casi era collegato rigidamente alle pareti divisorie

3.2 Raccolta errori di posa – Livello di rumore di calpestio

3.2.1 Errore di posa massetto di livellamento: presenza di tubazioni non completamente annegate nel massetto e/o superficie non adeguatamente ripulita dal materiale di risulta

Il massetto di livellamento dove posare il materiale resiliente deve essere piano e privo di qualsiasi asperità.

Prima della posa del materiale resiliente la superficie del massetto di livellamento deve essere adeguatamente ripulita da elementi di risulta delle lavorazioni (chiodi, residui di cantiere, etc.), che potrebbero danneggiare il materiale stesso.

Nel caso il livellamento dello strato di supporto venga realizzato utilizzando massetti alleggeriti è necessario che gli stessi non presentino discontinuità e distribuzioni non uniformi di materiale per alleggerimento che possono determinare crepe, spaccature o cedimenti del rivestimento di pavimentazione, e alterare le prestazioni di isolamento al calpestio.

Eventuali tubazioni impiantistiche devono essere totalmente annegate nel massetto (Figura 62).



Figura 62: esempio di tubazione non completamente annegata nel massetto di livellamento

3.2.2 Errore di posa materiale resiliente a pavimento: presenza di discontinuità in alcune zone, presenza di lacerazioni, sistemazione del materiale con il verso di posa errato

Il materiale resiliente a pavimento posato sul massetto di livellamento non deve presentare discontinuità, in modo tale da per evitare che durante il getto del massetto eventuali infiltrazioni entrino in contatto con lo strato sottostante e generino connessioni rigide.

In commercio esistono diverse tipologie di materiali resilienti, le più comuni sono quelle in rotoli e quelli a pannelli.

In caso di utilizzo di materiale resiliente in rotoli, i vari elementi dovranno essere opportunamente accostati e collegati tra loro (Figura 63), utilizzando ad esempio

nastro adesivo o eventuale battentatura adesiva del prodotto stesso. Il nastro adesivo ha anche lo scopo di mantenere il contatto tra le strisce di materiale durante il getto del massetto. Se i rotoli vengono sormontati tra loro si deve verificare che il successivo getto del massetto soprastante abbia gli spessori minimi indicati a progetto.

Per i materiali a pannelli, i singoli elementi dovranno essere accuratamente accostati tra loro, ponendo attenzione a non lasciare fessure o aperture tra loro.

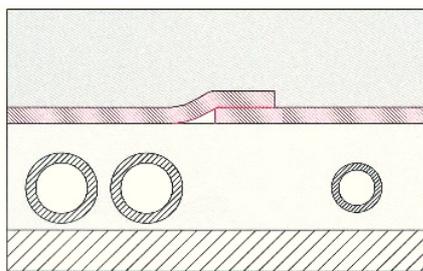


Figura 63: esempio di corretta sovrapposizione di due pannelli/rotoli di materiale resiliente a pavimento

Alcune tipologie di materiali devono essere ricoperti con uno strato di materiale separatore impermeabile, ad esempio fogli di polietilene. Tale strato ha lo scopo di evitare che il getto del massetto possa infiltrarsi tra i pannelli, pertanto i fogli dovranno essere opportunamente sormontati tra loro. Inoltre, nel caso si stiano utilizzando materiali fibrosi o porosi a celle aperte, lo strato impermeabile evita che il getto possa impregnare il materiale diminuendone l'efficacia.

L'impiego di massetti fluidi potrebbe comportare infiltrazioni delle parti più fini dell'impasto attraverso le sovrapposizioni del materiale resiliente, per cui in questo caso è meglio posare comunque un foglio di polietilene.

Alcuni materiali hanno un verso di posa. In cantiere è obbligatorio mantenere il verso prescritto dal produttore del materiale stesso, per evitare che i materiali vengano posati al contrario e che il massetto imbeva gli strati fibrosi/porosi, che si irrigidirebbero perdendo la loro efficacia acustica.

3.2.3 Errore di posa fascia resiliente perimetrale: presenza di discontinuità, incollaggio parziale o assente alle pareti, altezza troppo bassa e/o rifilatura eseguita prima della posa della pavimentazione

Una delle fasi più delicate nella realizzazione di un pavimento galleggiante, è la posa della fascia perimetrale resiliente.

Le precauzioni e gli accorgimenti da considerare sono diversi, tutti basati nell'evitare contatti rigidi tra il massetto galleggiante o la pavimentazione e le pareti.

È necessario innanzitutto curare il collegamento tra la fascia perimetrale e il materiale resiliente a pavimento, per evitare che il getto del massetto possa

infiltrarsi tra i due elementi. La soluzione più efficace consiste nel nastrare il punto di giunzione (Figura 64).

Lungo il perimetro del locale deve essere posata la fascia resiliente, che dovrà essere più alta dello spessore di massetto e pavimentazione (Figura 65 e Figura 66) e dovrà essere rifilata solo dopo la posa della pavimentazione (Figura 67).

Tale fascia deve aderire perfettamente a parete e pavimento. Non devono essere presenti spazi vuoti retrostanti (Figura 68), specialmente in corrispondenza degli spigoli i quali potrebbero comportare, durante il getto, rotture del materiale e anche del massetto.

Prima del getto del massetto è necessario verificare che la striscia verticale non presenti rotture o discontinuità (Figura 69). In particolare nei bagni un errore frequente è l'assenza della fascia resiliente lungo il perimetro del piatto doccia (Figura 70) o della vasca, oppure intorno alle tubazioni in affioramento dal solaio (Figura 71).

In alcuni casi è possibile realizzare la disconnessione tra massetto e pareti risvoltando in verticale il materiale a pavimento. Questa tecnica però generalmente è sconsigliata quando si utilizzano materiali multistrato o di spessore superiore a 5 mm, difficili da risvoltare. Inoltre è facile che si creino sacche d'aria tra materiale risvoltato e strutture e conseguenti rotture nell'isolante e nel massetto.

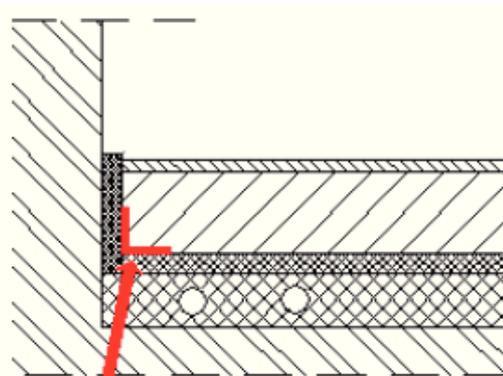


Figura 64: esempio di posa corretta del nastro resiliante di giunzione tra materiale a pavimento e fascia perimetrale

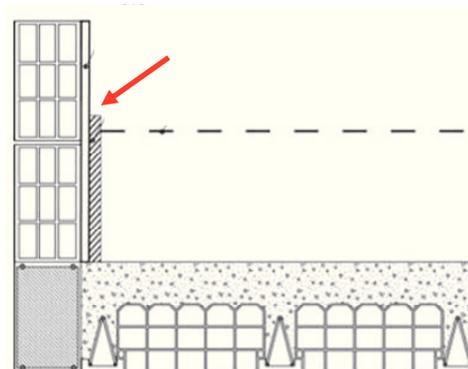


Figura 65: esempio di altezza corretta della fascia perimetrale, oltre l'altezza prevista del solaio finito

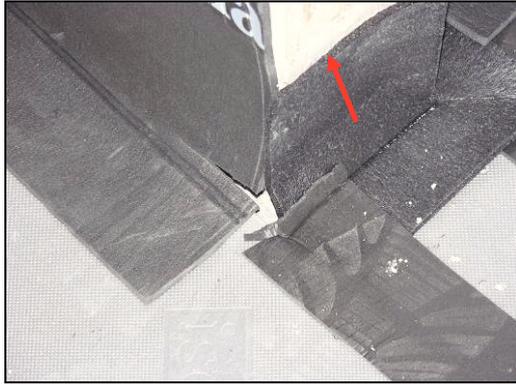


Figura 66 esempio di altezza non corretta di una porzione di fascia perimetrale (e presenza di una fessura nell'angolo)



Figura 67: esempio di fascia perimetrale rifilata prima della posa del pavimento



Figura 68: esempio di fascia perimetrale non aderente alla parete



Figura 69: esempio di fascia perimetrale non continua in prossimità di un angolo e del conseguente collegamento rigido tra il massetto e la parete



Figura 70: esempio di assenza della fascia perimetrale sul perimetro del piatto doccia

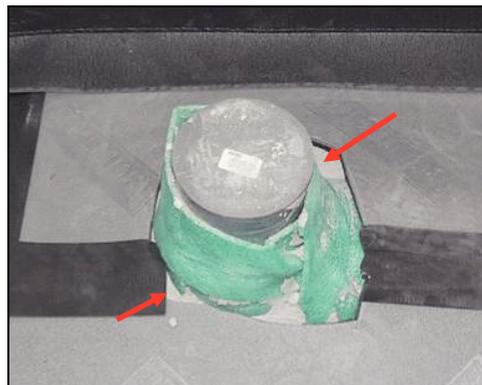


Figura 71: esempio di applicazione errata della fascia perimetrale attorno allo scarico del WC (presenza di fessure)

3.2.4 Errore di posa massetto galleggiante: spessore gettato in opera diverso dallo spessore di progetto, assenza della rete elettrosaldata (se prevista)

Il massetto sul quale andrà posata la pavimentazione dovrà avere la densità, lo spessore e la massa per unità di area prescritti in fase progettuale.

In corrispondenza di punti critici, come le sovrapposizioni tra i teli di materiale resiliente, deve essere verificato lo spessore minimo.

L'assenza dell'armatura con rete elettrosaldata o delle fibre sintetiche (se previste) rappresenta un errore che potrebbe portare a successive fessurazioni e rotture.

Durante il getto del massetto bisognerà prestare particolare cura a non forare, spaccare o spostare il materiale resiliente a pavimento e le fasce perimetrali.

In caso di massetto in sabbia e cemento si raccomanda prestare particolare attenzione a costipare in modo adeguato il massetto negli angoli.

3.2.5 Errore di posa massetto galleggiante + pavimentazione: assenza di separazione strutturale tra i massetti e la pavimentazione delle varie stanze

L'assenza di separazione strutturale tramite giunto elastico tra i massetti e la pavimentazione delle varie stanze potrebbe comportare la formazione di crepe nel massetto e, di conseguenza, nella pavimentazione. Analogamente un altro errore consiste nel separare correttamente i massetti, senza però inserire il giunto di separazione (Figura 72). Anche il corretto inserimento del giunto di separazione tra i massetti, ma con la pavimentazione non interrotta, costituisce un errore.

La corretta posa in opera prevede innanzitutto la separazione strutturale del massetto, meglio se eseguita a priori tramite la collocazione di una tavoletta di contenimento del massetto in corrispondenza della soglia di una porta, il successivo getto del massetto di una stanza, la sostituzione della tavoletta con una fascia elastica e il getto finale del massetto dell'altra stanza. La separazione può anche essere eseguita a posteriori attraverso il taglio del massetto, che però può comportare diverse criticità, per esempio la lacerazione del materiale resiliente situato sotto il massetto oppure la presenza di residui di malta all'interno della fessura.

Il passo successivo consiste nell'applicazione di un profilato per giunto, per mantenere correttamente separate le pavimentazioni (Figura 73).



Figura 72: esempio di errore di posa, separazione strutturale eseguita ma senza la posa del giunto di separazione

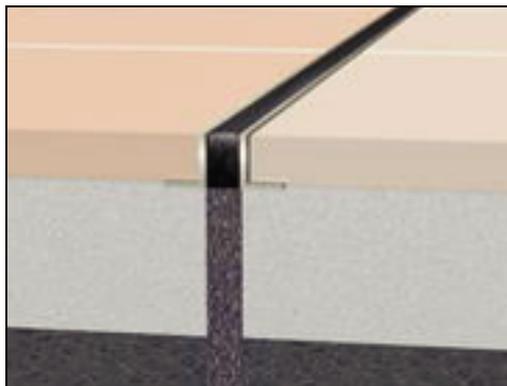


Figura 73: esempio di corretta esecuzione della separazione e di corretta posa del profilato per giunto

In caso di riscaldamento a pannelli radianti, nel giunto deve essere utilizzata una fascia elastica opportunamente sagomata per permettere il passaggio delle tubazioni, che in quel punto dovrebbero essere opportunamente protette con isolante (Figura 74).

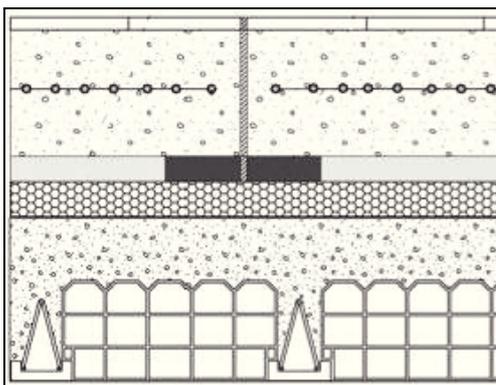
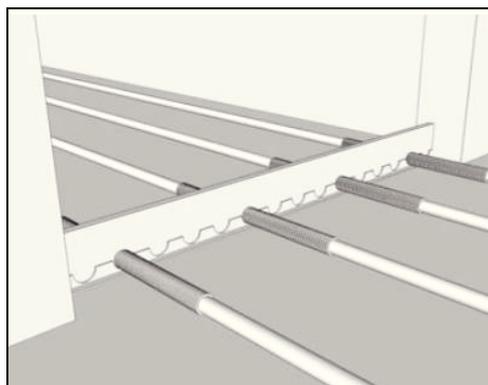


Figura 74: esempio di corretta coibentazione della tubazione di riscaldamento in corrispondenza del giunto [51]



Per edifici caratterizzati da pareti divisorie leggere (tipo lastre di cartongesso con intercapedine riempita con materiale fonoassorbente), si tende spesso a posare la parete leggera direttamente sul massetto galleggiante. La continuità del massetto tra i vari ambienti genera un percorso preferenziale di trasmissione di rumore tra i due ambienti (Figura 75).

Anche in questo caso la corretta posa prevede la separazione del massetto in corrispondenza della parete e l'inserimento di una fascia elastica (Figura 75).

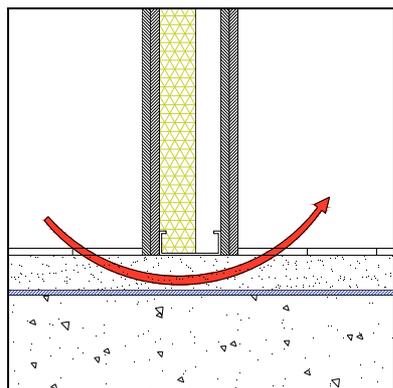


Figura 75: esempio di trasmissione strutturale dovuta alla continuità del massetto alla base della parete divisoria (assenza del giunto di separazione)

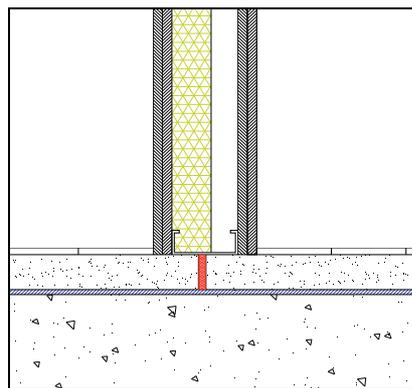


Figura 76: esempio di corretta posa del giunto di separazione alla base della parete divisoria

3.2.6 Errore di posa giunto portafinestra – solaio: contatto rigido della pavimentazione in ceramica e/o del massetto con la soglia della portafinestra

Il giunto tra la soglia della portafinestra (o della porta di ingresso) e la pavimentazione è uno dei punti più critici, in quanto più soggetti ad errori di posa. La problematica principale consiste nel mancato risvolto del materiale resiliente fino in cima alla soglia (o nell'assenza della fascia perimetrale resiliente), con conseguente contatto rigido del massetto o della pavimentazione con la soglia stessa (Figura 77).

La corretta metodologia di posa prevede il riempimento della zona sottostante la sporgenza della soglia tramite malta cementizia oppure isolante termico rigido. E' importante che sia utilizzato comunque un materiale rigido per poter applicare in perfetta aderenza il risvolto del materiale resiliente (o la fascia perimetrale resiliente), che deve essere necessariamente arrivare fino alla cima della soglia (Figura 78).



Figura 77: esempio posa errata del giunto portafinestra – solaio, con il contatto rigido tra massetto, pavimentazione e soglia

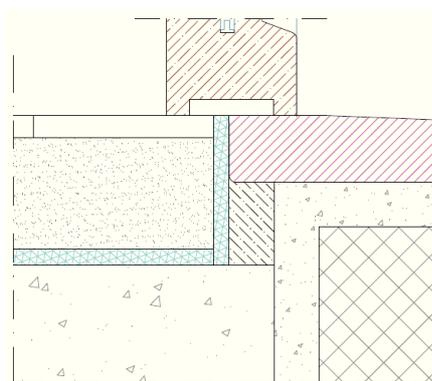


Figura 78: esempio posa corretta del giunto portafinestra – solaio, con il materiale resiliente risvoltato fino in cima alla soglia (e riempimento sotto la soglia tramite malta o isolante termico rigido)



Figura 79: esempio di risvolto corretto del materiale resiliente in corrispondenza della soglia di una portafinestra

Un errore di questo tipo può compromettere del tutto la performance di un pavimento galleggiante.

L'entità della penalizzazione è stata misurata in opera, nel caso di una camera da letto singola in cui era stato realizzato un pavimento galleggiante senza particolari difetti se non nella zona della portafinestra, in cui il materiale resiliente non era stato risvoltato fino in cima alla soglia, generando un ponte acustico su una lunghezza di circa 1.4 m (Figura 80 e Figura 81).

Nel grafico di Figura 82 sono riportati i risultati, relativi alle misurazioni eseguite prima e dopo l'intervento correttivo. Si può notare che il ponte acustico sopracitato ha ridotto la prestazione dell'intero pavimento galleggiante di circa 10 dB, con le differenze più marcate alle alte frequenze.

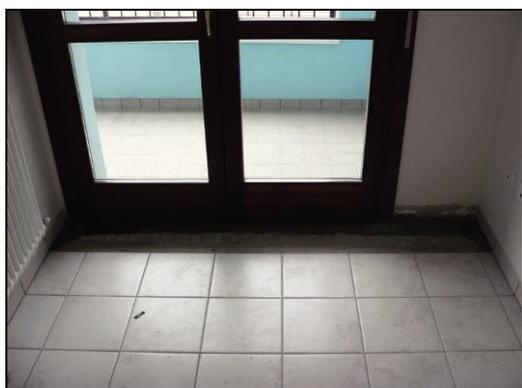


Figura 80: zona della portafinestra in cui è stato individuato il ponte acustico



Figura 81: particolare della soglia della portafinestra con indicazione del materiale troppo corto e quindi non correttamente risvoltato

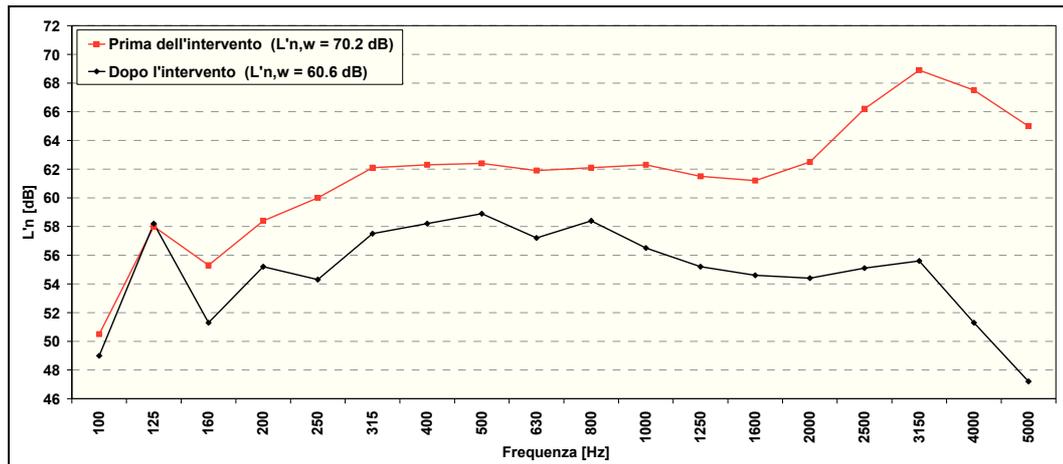


Figura 82: confronto in frequenza tra i valori di calpestio misurati prima e dopo l'intervento di desolidarizzazione del massetto e della pavimentazione dalla soglia della portafinestra

3.2.7 Errore di posa pavimentazione: pavimentazione in contatto rigido con le pareti

La rifilatura della fascia perimetrale resiliente prima della posa della pavimentazione può aumentare la probabilità di un contatto diretto tra la pavimentazione stessa e la parete (Figura 83). Questa tipologia di errore è presente soprattutto in caso di pavimentazione rigida tipo ceramica, mentre risulta praticamente assente per la posa di pavimentazione in parquet. In questo caso è infatti garantito il disaccoppiamento fra pareti laterali e pavimento galleggiante per evitare rischi di rigonfiamento causati dalla dilatazione del parquet.

Nell'eventualità che venga correttamente lasciata una fessura tra pavimentazione e pareti, un ulteriore errore consiste nel sigillare tale fessura con sigillante rigido, tipo malta di cemento (Figura 84), invece di utilizzare un sigillante elastico tipo silicone.

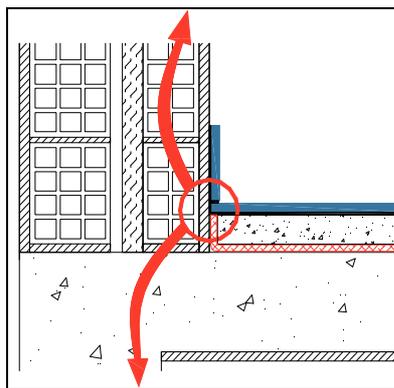


Figura 83: esempio di posa errata della pavimentazione a diretto contatto con la parete



Figura 84: particolare giunto tra mattonelle in ceramica e parete riempito con sigillante rigido (errore di posa)

Uno studio dell'Università di Bologna [52] ha analizzato in laboratorio un solaio in laterocemento completato con massetto galleggiante e pavimentazione in gres porcellanato, quest'ultima differentemente connessa alle pareti perimetrali, allo scopo di quantificare l'incidenza della lunghezza della connessione strutturale sul livello di calpestio normalizzato.

I risultati, riportati nella Tabella 3, hanno evidenziato che la presenza di un piccolo collegamento rigido del pavimento (di lunghezza 30 cm) ha causato un incremento di 8 dB del valore di $L_{n,w}$, mentre per lunghezze maggiori di connessione sono stati misurati degli incrementi superiori a 20 dB (nel caso di due lati rigidamente connessi).

Tabella 3: indici di valutazione del livello di calpestio, misurati in laboratorio, in funzione di diverse lunghezze di collegamento rigido tra pavimentazione e pareti laterali

Configurazione di prova	$L_{n,w}$ [dB]
Solaio grezzo	87
Solaio con massetto galleggiante: pavimentazione collegata rigidamente alle pareti laterali su due lati	71
Solaio con massetto galleggiante: pavimentazione collegata rigidamente alle pareti laterali su un lato	68
Solaio con massetto galleggiante: pavimentazione collegata rigidamente alle pareti laterali su un lato per un tratto di 260 cm	65
Solaio con massetto galleggiante: pavimentazione collegata rigidamente alle pareti laterali su un lato per un tratto di 90 cm	60
Solaio con massetto galleggiante: pavimentazione collegata rigidamente alle pareti laterali su un lato per un tratto di 30 cm	56
Solaio con massetto galleggiante: pavimentazione completamente scollegata dalle pareti	48

In un'altra prova [53], questa volta eseguita in opera da un altro tecnico, su un solaio con pavimento galleggiante in cui era stato corretto un ponte acustico di circa 40 cm (una singola mattonella in ceramica connessa alla parete), ha sostanzialmente confermato i risultati precedenti, evidenziando una penalizzazione di circa 7 dB.

3.2.8 Errore di posa rivestimenti a parete: contatto rigido tra il rivestimento a parete e la pavimentazione

Un tipico errore commesso nelle zone dell'angolo cottura e nei bagni è la connessione rigida del rivestimento a parete (solitamente in mattonelle) con la pavimentazione (Figura 85)

L'entità della penalizzazione dovuta a questo errore ovviamente aumenta all'aumentare della lunghezza del ponte acustico, e potrebbe anche superare i 10 – 12 dB.

La posa corretta presuppone che le piastrelle di rivestimento delle pareti verticali debbano essere posate distaccate di qualche millimetro dal pavimento, in modo da evitare la formazione di collegamenti rigidi tra pavimentazione e pareti laterali.

La separazione può essere realizzata utilizzando nastri separatori da rifilare successivamente o utilizzando elementi distanziatori (Figura 86).

Nel caso si debba sigillare la fessura tra pavimento e rivestimento a parete si deve utilizzare del materiale elastico, ad esempio silicone (Figura 87).



Figura 85: esempio di posa errata del rivestimento a parete a contatto diretto con la pavimentazione



Figura 86: esempio di posa corretta del rivestimento a parete mediante inserzione di distanziatori [51]



Figura 87: esempio di corretta sigillatura con silicone del giunto tra rivestimento a parete e pavimentazione [51]

3.2.9 Errore di posa battiscopa: battiscopa posato direttamente sulla pavimentazione

La posa del battiscopa a diretto contatto con la pavimentazione (Figura 88) può ridurre la prestazione del pavimento galleggiante.

La desolidarizzazione può essere eseguita prevalentemente in due modi. Il fissaggio del battiscopa alla parete mantenendolo rialzato dalla pavimentazione mediante l'utilizzo di distanziatori e il riempimento della fessura tramite sigillante elastico tipo silicone. La seconda possibilità è l'utilizzo di battiscopa che presentano già una guarnizione resiliente sulla parte inferiore (Figura 89).



Figura 88: esempio di errata posa del battiscopa a diretto contatto con la pavimentazione



Figura 89: esempio di corretta posa del battiscopa desolidarizzato dalla pavimentazione

L'entità della penalizzazione in caso di posa errata dipende dal tipo di battiscopa: in caso di battiscopa di ceramica la riduzione dell'indice di valutazione del livello di calpestio può anche essere superiore ai 10 dB.

Allo scopo di verificare l'entità della penalizzazione nel caso di battiscopa di legno, sono state eseguite prove comparative su due solai caratterizzati da rivestimenti diversi (ceramica e parquet). Per ogni solaio è stata testata sia la configurazione con battiscopa posato a contatto con la pavimentazione sia la configurazione con battiscopa desolidarizzato. La desolidarizzazione era stata eseguita tramite l'utilizzo di una guarnizione già presente alla base del battiscopa. I risultati sono riportati nei grafici di Figura 90 e Figura 91.

Si può notare che dal confronto tra le prove effettuate con il battiscopa a contatto con la pavimentazione e con il battiscopa desolidarizzato è stato rilevato un miglioramento di circa 3 dB nel caso di pavimentazione in ceramica e di circa 4 dB nel caso di pavimentazione in parquet, in termini di indice di valutazione.

Il miglioramento interessa tutta la gamma di frequenze, in modo particolare quelle medio-alte (tra 800 e 3150 Hz per la ceramica e tra 1600 e 5000 Hz per il parquet).

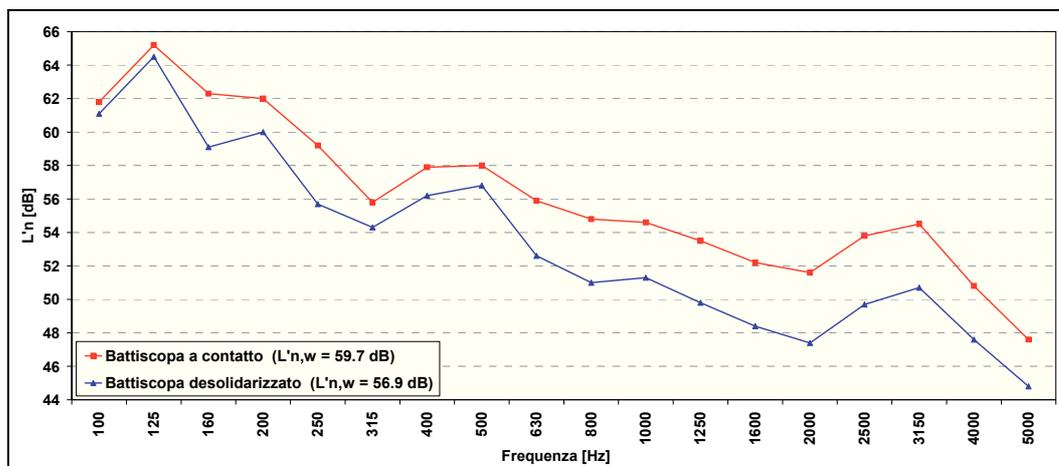


Figura 90: confronto in frequenza tra i valori di calpestio misurati prima e dopo l'intervento di desolidarizzazione del battiscopa di legno dalla pavimentazione in ceramica

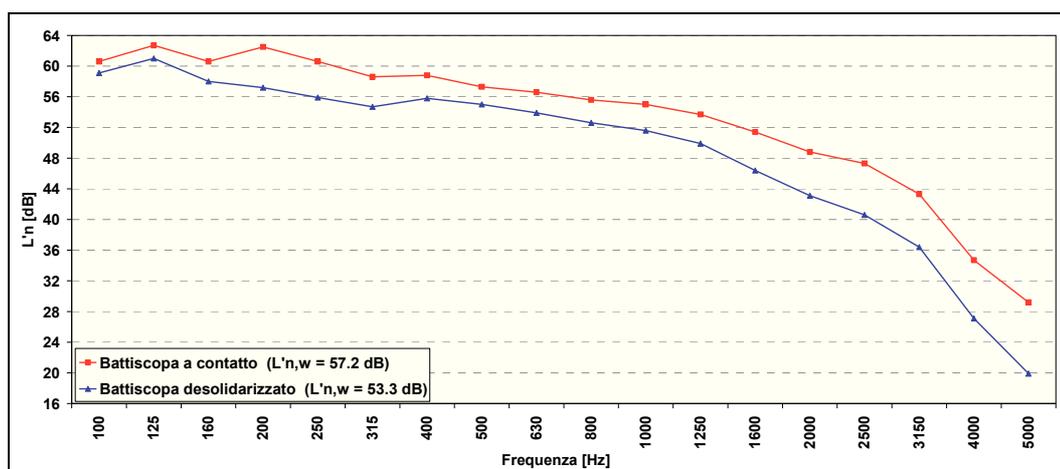


Figura 91: confronto in frequenza tra i valori di calpestio misurati prima e dopo l'intervento di desolidarizzazione del battiscopa di legno dalla pavimentazione in parquet

3.2.10 Errore di posa riscaldamento a pannelli radianti: collegamento rigido tra collettore, tubazioni, parete e massetto galleggiante

Nella posa del collettore e delle tubazioni in ingresso e uscita dallo stesso, deve essere garantita la continuità della desolidarizzazione tra massetto e partizioni (Figura 92).

A tal proposito è necessario desolidarizzare le scatole che contengono i collettori dalle pareti restrostanti con uno strato di materiale elastico, ripristinare il materiale di desolidarizzazione verticale laddove viene attraversato dai tubi del riscaldamento e collegare i tubi di risalita a parete con le pareti retrostanti tramite collari elastici (non con collari rigidi).

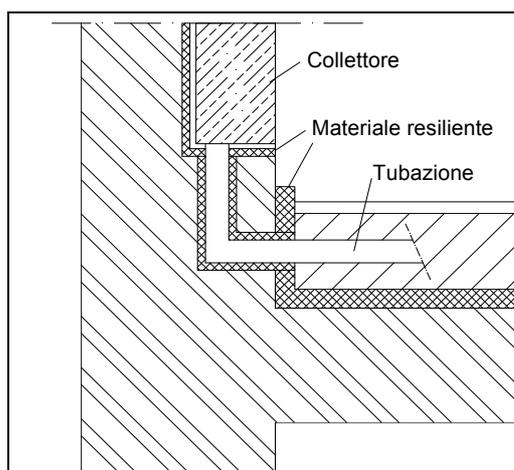


Figura 92: esempio di corretta posa del collettore e delle tubazioni dell'impianto a pannelli radianti

3.2.11 Errore di posa solaio misto acciaio – legno: connessione rigida tra le travi in acciaio, le travi secondarie in legno e l’assito

La tipologia di solaio misto acciaio – legno è utilizzata soprattutto in caso di ristrutturazioni. La struttura portante è costituita da profili in acciaio, sopra i quali si posano le travi secondarie di legno che, solitamente, servono da appoggio per l’assito. Sulla parte superiore dell’assito si può poi realizzare ogni tipo di pavimentazione, ovviamente privilegiando le soluzioni tipo pavimento galleggiante o pavimentazione flottante (apposito materiale resiliente posato direttamente sulla parte inferiore della pavimentazione).

In merito alla parte strutturale, l’errore più comune è la mancata desolidarizzazione tra i profili in acciaio e le travi in legno, e tra questi ultimi e l’assito. Questo errore può comportare grossi problemi di trasmissione di vibrazione da un ambiente all’altro, soprattutto in assenza di pavimento galleggiante.

La soluzione consiste nell’inserimento di materiale antivibrante nei punti di appoggio tra i profili in acciaio e le travi secondarie di legno. Nel caso in cui anche le travi in acciaio siano in diretto contatto con l’assito, è importante inserire il materiale antivibrante anche tra questi due elementi (Figura 93).

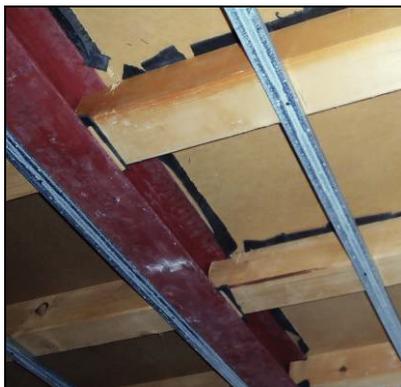


Figura 93: esempio di corretta desolidarizzazione tra la trave in acciaio, le travi secondarie di legno e l’assito superiore

4. LIVELLO DI RUMORE DEGLI IMPIANTI A CICLO DISCONTINUO

4.1 Raccolta errori di progetto – Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo

4.1.1 Errore di progetto colonna di scarico: tubazione di densità troppo scarsa e/o con rivestimento fonoisolante inadeguato

La scelta della tipologia di tubazione e del tipo di rivestimento isolante è importante per ottenere buoni risultati di attenuazione della rumorosità delle colonne di scarico.

Si dovrebbero evitare tubazioni realizzate con materiale di densità troppo bassa, in quanto maggiormente soggette a vibrazioni e quindi alla trasmissione del rumore generato dal passaggio dell'acqua. Solitamente le tubazioni che garantiscono una "pesantezza" adeguata, e quindi un maggiore smorzamento delle vibrazioni, sono realizzate in materiali plastici compositi stratificati (soprattutto polipropilene (PP)), con uno strato rinforzato in fibre minerali. Anche i raccordi devono avere le stesse caratteristiche della tubazione.

La sola tubazione, anche se con caratteristiche insonorizzanti, spesso non è sufficiente a garantire un buon risultato. Per questo motivo deve essere rivestita con materiale isolante adeguato, a cellula chiusa, con uno spessore non inferiore ai 7-8 mm.

In commercio esistono diversi prodotti con queste caratteristiche, solitamente classificati come insonorizzanti.

Per valutare l'influenza della tipologia di tubazione sulla rumorosità trasmessa per via strutturale, è stata eseguita una misurazione in laboratorio su due diverse tubazioni, una in Polietilene e l'altra in Polipropilene stratificato (di densità molto più elevata). È importante specificare che entrambe le tubazioni erano provviste di un raccordo per la ventilazione, collocato alla stessa altezza e dello stesso materiale della tubazione testata. Per questo motivo sono stati rilevati valori piuttosto elevati.

Come si nota dai risultati riportati in Figura 94, l'elevato smorzamento della tubazione in PP comporta una trasmissione di rumore molto più bassa rispetto ad una semplice tubazione in PE, che si traduce in un abbassamento dei livelli di circa 12 dB(A).

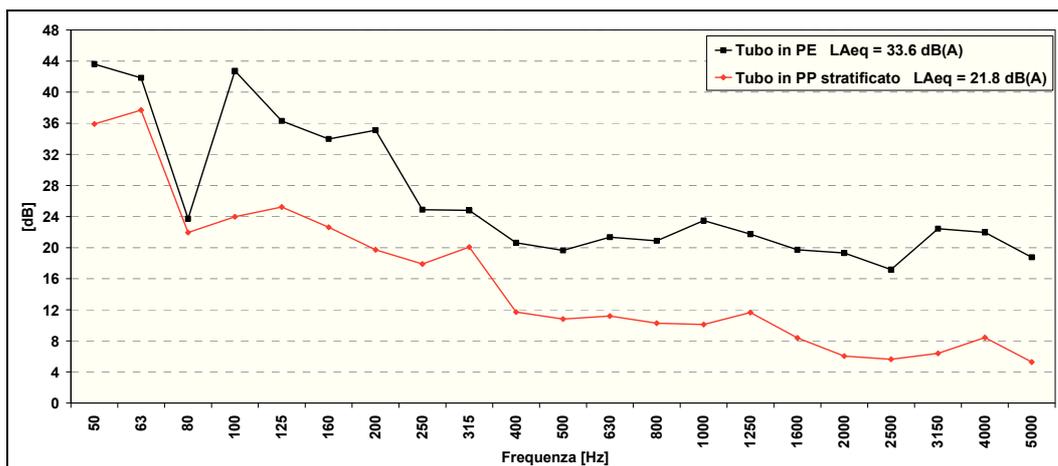


Figura 94: confronto in frequenza tra i valori di livello equivalente misurati in laboratorio su due tipologie di tubazioni (in Polietilene e in Polipropilene stratificato), entrambe connesse alla muratura

4.1.2 Errore di progetto colonna di scarico: tubazione fissata su pareti leggere, collocata all'interno di pareti doppie divisorie

Maggiore è la densità della parete divisoria e minore sarà la trasmissione di vibrazioni dal fissaggio del tubo al locale adiacente. Si deve quindi evitare di installare le tubazioni su pareti sottili, specialmente a metà di esse, privilegiando pareti più spesse nelle zone più vicine agli angoli (più rigide). Una buona soluzione, quando possibile, è l'installazione delle tubazioni sulle pareti di facciata, solitamente più massive delle altre pareti (Figura 95).

Anche il fissaggio delle tubazioni di scarico su una parete divisoria tra due unità immobiliari rappresenta una configurazione potenzialmente critica, soprattutto nel caso di pareti monostrato.

Ancora più critica è la sistemazione delle tubazioni all'interno dell'intercapedine delle pareti doppie divisorie, che potrebbe comportare l'insorgenza di contatti rigidi con la parete (Figura 96).

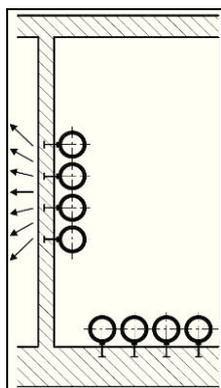


Figura 95: esempio di posa errata delle colonne di scarico (su parete leggera, al centro) e corretta (su parete pesante, vicino all'angolo) [54]

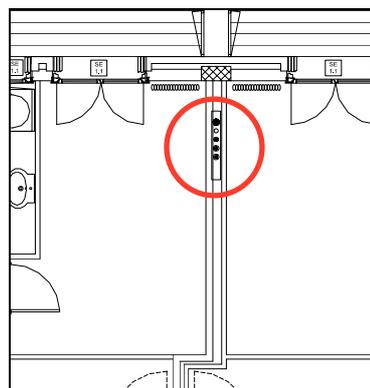


Figura 96: esempio di colonne di scarico inserite nell'intercapedine di una parete doppia (soluzione da evitare)

4.1.3 Errore di progetto colonna di scarico: cambio di direzione di 90° alla base della colonna

Uno dei punti più rumorosi è il piede della colonna di scarico, dove la tubazione cambia direzione per collegarsi al collettore che porta l'acqua nel punto di allacciamento con la fognatura pubblica. In questo punto, se non viene adeguatamente progettato, si creano facilmente sovrappressioni e urti che generano livelli di rumorosità molto elevati. Nell'edilizia residenziale i cambi di direzione al piede della colonna sono solitamente posizionati in vani tecnici e non sono quindi motivo di disturbo. In altri contesti invece questi punti potrebbero essere sistemati all'interno di controsoffitti, in ambienti non di carattere accessorio o tecnico (per esempio uffici), e potrebbero essere potenzialmente critici.

La soluzione più penalizzante consiste nel prevedere un cambio di direzione di 90° della tubazione, che tende a generare una rumorosità di impatto molto elevata, che diventa particolarmente critica se la curvatura non è inserita nel solaio e se la tubazione serve un edificio con più piani (Figura 97 e Figura 98).

La soluzione corretta consiste nell'utilizzare due curve a 45° con interposto un tratto rettilineo (solitamente pari a due volte il diametro, Figura 99 e Figura 100), il che può ridurre anche del 30% la rumorosità rispetto alla soluzione precedente. Per aumentare l'attenuazione è sempre consigliabile prevedere questi cambi di direzione all'interno di un solaio (ovviamente rivestendo completamente tutto il tratto di tubazione con adeguato materiale fonoisolante), in modo da smorzare maggiormente le vibrazioni.

Riguardo alle zone interpiano, in linea generale è sempre preferibile evitare cambi di direzione della colonna di scarico (Figura 101).

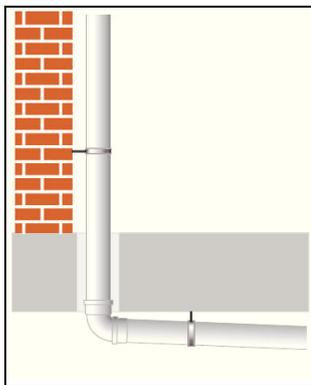


Figura 97: esempio di errata progettazione, con un cambio di direzione di 90° della tubazione di scarico [55]



Figura 98: esempio di scarico con curvatura di 90°, con collare rigido e in cui era anche assente il rivestimento della tubazione in attraversamento nel solaio

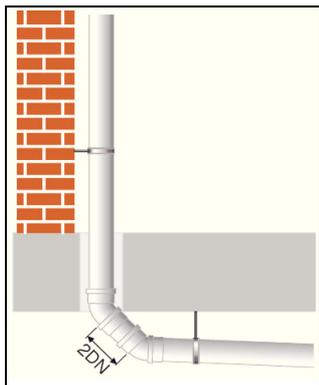


Figura 99: esempio di corretta progettazione, con un cambio di direzione due volte a 45° della tubazione di scarico [55]



Figura 100: esempio di tubazione di scarico con cambio di direzione due volte a 45° (l'assenza del rivestimento completo della tubazione potrebbe però causare problemi)



Figura 101: esempio di cambi di direzione di colonne di scarico (se possibile da evitare)

4.1.4 Errore di progetto cavedio: cavedio di struttura troppo leggera, senza adeguato rivestimento fonoassorbente interno, collocato nella zona centrale di un ambiente abitativo

La collocazione più comune delle colonne di scarico avviene all'interno di cavedi, che devono essere progettati in modo da attenuare il più possibile la rumorosità della caduta dell'acqua nelle tubazioni.

Il cavedio deve essere realizzato con materiali di massa adeguata, privilegiando per esempio laterizi semipieni con spessore minimo di 12 cm, posati con cura (malta anche nei giunti verticali, intonaco) e deve necessariamente essere rivestito internamente con materiale fonoassorbente, con uno spessore minimo di 3-4 cm. Il rivestimento interno è particolarmente importante in quanto il rumore della tubazione, per effetto delle riflessioni continue sulle pareti interne, viene amplificato e successivamente introdotto nell'ambiente adiacente. Sono da evitare rivestimenti con materiali a cella chiusa.

In Figura 102 è riportato un esempio di cavedio, integrato in una parete, realizzato in maniera errata.

Un'alternativa efficace al rivestimento interno consiste nel riempimento del cavedio tramite materiale inerte tipo sabbia, anche se si tratta di una soluzione utilizzata soprattutto per risolvere problematiche di rumore esistenti.

Analogamente a quanto riportato nei paragrafi precedenti, la posizione ideale del cavedio dovrebbe essere negli angoli delle stanze, prediligendo le pareti di massa maggiore Figura 103. In questo modo lo smorzamento dato dai vincoli alle pareti è maggiore.



Figura 102: esempio di cavedio integrato alla parete di massa insufficiente (blocchi forati da 8 cm), senza rivestimento interno e con la tubazione non rivestita

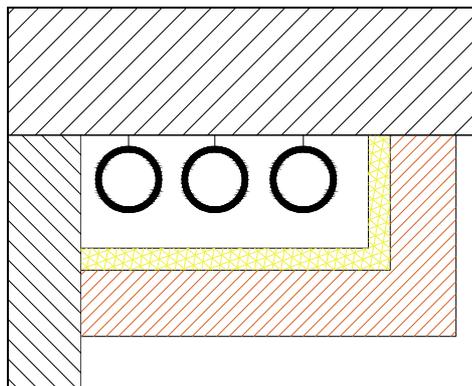


Figura 103: esempio di cavedio correttamente dimensionato

4.1.5 Errore di progetto sanitari: collocazione dei sanitari potenzialmente più critici (WC, doccia) a ridosso di pareti divisorie (nell'eventualità esistano collocazioni alternative)

Il rumore generato dai sanitari, soprattutto WC e doccia, è dovuto prevalentemente a contatti rigidi tra questi e la parete divisoria.

E' dunque buona norma evitare di predisporre, se possibile, queste tipologie di sanitari a ridosso di pareti divisorie. Se ciò non fosse possibile occorre desolidarizzare scrupolosamente i vari componenti dei sanitari dalla parete, soprattutto in caso di parete monostrato.

4.1.6 Errore di progetto rubinetteria: assenza di riduttori di pressione, di ammortizzatori per colpi d'ariete e utilizzo di rubinetti con sezione a spigoli "vivi"

I fattori fondamentali da considerare per limitare i rumori della rubinetteria sono la pressione idraulica, la portata di erogazione e il sistema di costruzione della rubinetteria. Il disturbo è tanto più intenso quanto più sono elevate pressione e portata e quanto meno è efficiente la rubinetteria.

La pressione dovrebbe essere compresa tra 1.5 e 3 bar, in caso di superamento è opportuna l'installazione di un riduttore di pressione all'entrata di ogni unità abitativa.

In merito alla rubinetteria, il rumore dipende da diversi fattori.

Innanzitutto il profilo interno del rubinetto deve essere idrodinamico e cioè con cambiamenti progressivi di sezione e di direzione. Sono quindi da evitare rubinetti con i gomiti ed angoli vivi.

Altra causa di rumorosità è il colpo d'ariete, un fenomeno idraulico che si presenta in una condotta quando un flusso in movimento al suo interno viene bruscamente fermato dalla repentina chiusura di una valvola: il fenomeno consiste in un'onda di pressione che si origina in prossimità della valvola a causa dell'inerzia della colonna di fluido in movimento, che impatta contro la parete della valvola chiusa.

La rumorosità dovuta al “colpo d'ariete” può essere ridotta con opportuni ammortizzatori installati sui tratti lunghi delle tubazioni. Conviene comunque evitare che si verifichi il colpo d'ariete usando dei rubinetti a chiusura progressiva.

Per ridurre ulteriormente il livello sonoro del rumore emesso da un rubinetto, si può aggiungere un rompigitto, oppure un manicotto elastico, posto tra il rubinetto e la tubazione, oppure si possono accoppiare i due rimedi.

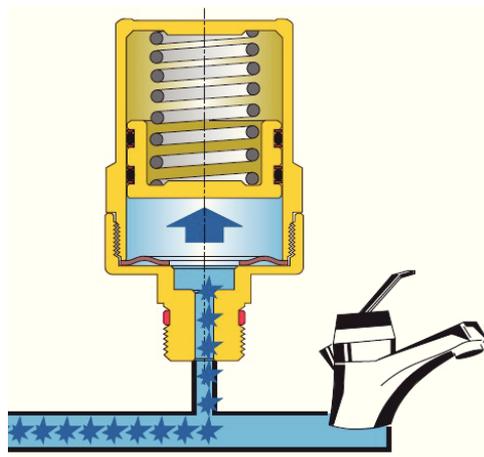


Figura 104: sezione tipo di un ammortizzatore per colpi d'ariete

4.2 Raccolta errori di posa – Livello di rumore degli impianti a ciclo discontinuo

4.2.1 Errore di posa colonna di scarico: tubazione priva del rivestimento fonoisolante, soprattutto in corrispondenza dei passaggi attraverso i solai

Uno degli errori più frequenti e sicuramente più critici è l'assenza di rivestimento fonoisolante attorno alla colonna di scarico, in modo particolare in corrispondenza dell'attraversamento dei solai.

Questa problematica crea un contatto rigido tra la tubazione e la struttura, con conseguente propagazione del rumore per via strutturale e forte incremento dei livelli sonori.

La posa corretta prevede l'avvolgimento del rivestimento fonoisolante per tutta la lunghezza del tubo (Figura 105), anche se in alcuni casi è sufficiente che il rivestimento sia presente soprattutto nei punti di contatto con la struttura e con altre tubazioni (per esempio tubazioni di ventilazione).



Figura 105: esempio di colonna di scarico (e diramazione) rivestita correttamente con materiale fonoisolante nel punto di attraversamento del solaio

La componente di rumorosità per via aerea è sicuramente inferiore rispetto a quella per via strutturale, tuttavia può avere un contributo importante se non viene applicato un adeguato rivestimento fonoisolante lungo buona parte della colonna dello scarico.

A tal proposito è stata condotta una sperimentazione in opera, per verificare l'influenza di un rivestimento in agglomerato di poliuretano avvolto attorno a colonne di scarico, inserite all'interno di cavedi. Dalle misurazioni eseguite su otto colonne di scarico, il rivestimento della tubazione ha comportato una riduzione di livello di circa 2-3 dB.

4.2.2 Errore di posa colonna di scarico: fissaggio della tubazione alla parete tramite collari privi di inserto antivibrante

Il fissaggio di una colonna di scarico alla parete è una fase molto importante, in cui si deve evitare di generare una trasmissione per via strutturale. E' quindi da evitare l'applicazione di un collare rigido, utilizzando invece collari con inserto antivibrante (Figura 106), ormai forniti da tutte le ditte del settore.

In merito alla collocazione dei punti di fissaggio si dovrebbero privilegiare le zone più prossime ai solai, in quanto più rigide e meno soggette a trasmettere vibrazioni.



Figura 106: esempio di colonna di scarico correttamente fissata alla parete tramite collare con inserto antivibrante

4.2.3 Errore di posa colonna di scarico: cambio di direzione della tubazione non adeguatamente rivestito con materiale fonoisolante

In fase progettuale, come illustrato in precedenza, sarebbero da evitare il più possibile i cambi di direzione della colonna di scarico verticale. In merito al piede della colonna, la soluzione migliore consiste nell'utilizzare due curve a 45° con interposto un tratto di tubazione rettilineo, magari inserite all'interno di un solaio.

In ogni caso in questi punti è necessario applicare un adeguato rivestimento fonoassorbente, più o meno spesso in funzione dell'altezza di caduta e del tipo di cambio di direzione.

4.2.4 Errore di posa cavedio: assenza di malta nei giunti tra i laterizi della struttura del cavedio, rivestimento fonoassorbente interno assente o fissato solo parzialmente

Le problematiche principali nella posa di un cavedio sono simili a quelle per la posa di una parete: l'assenza della malta cementizia nei giunti verticali tra i laterizi oppure nel giunto con le pareti, l'assenza o la posa discontinua del materiale fonoassorbente sulle facce interne del cavedio.

In quest'ultimo caso il rivestimento deve essere posato sulle pareti libere del cavedio (per esempio se il cavedio è in posizione d'angolo le pareti sono due, se il

cavedio è addossato ad una parete le pareti libere sono tre), per tutta l'altezza del cavedio. E' comunque buona norma disporlo su tutte e quattro le facce interne.

4.2.5 Errore di posa diramazioni di scarico: tubazioni di scarico connesse rigidamente al massetto e/o alle pareti del bagno (assenza del rivestimento fonoisolante)

La rumorosità delle diramazioni di scarico viene spesso sottovalutata, per cui l'errore più comune è quello di non rivestire adeguatamente le tubazioni, dall'uscita dei sanitari fino alla colonna di scarico (Figura 107, Figura 108, Figura 109, Figura 110).

In questo modo si instaurano contatti rigidi e di conseguenza percorsi privilegiati di trasmissione del rumore, che posso propagarsi attraverso il solaio o le pareti.



Figura 107: esempio di rivestimento parziale della tubazione di scarico del WC



Figura 108: esempio di corretto rivestimento della tubazione di scarico del WC

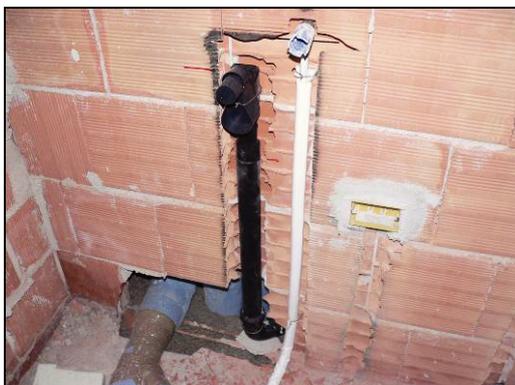


Figura 109: esempio di assenza di rivestimento della tubazione di scarico del lavabo



Figura 110: esempio di corretto rivestimento della tubazione di scarico del lavabo

4.2.6 Errore di posa rivestimento fonoisolante tubazioni: presenza di aperture o lacerazioni del rivestimento fonoisolante

Oltre alla posa del rivestimento sulla tubazioni, è importante porre attenzione affinché non siano lasciate porzioni di tubazione scoperte oppure che non siano presenti lacerazioni, che potrebbero comportare un contatto rigido tra la tubazione e il massetto una volta gettato.

Questo errore è riscontrabile con maggiore frequenza in corrispondenza degli innesti fra le tubazioni (Figura 111 e Figura 112).



Figura 111: esempio di lacerazione del rivestimento della tubazione



Figura 112: altro esempio di lacerazione del rivestimento della tubazione

4.2.7 Errore di posa doccia / vasca da bagno: piatto doccia o base della vasca connessi rigidamente al pavimento o alle pareti del bagno

Nella posa della doccia o della vasca l'errore più frequente è l'interruzione del rivestimento resiliente a pavimento e la posa del piatto doccia e della base della vasca direttamente sul massetto (Figura 113). Le connessioni rigide tra i due sanitari e la pavimentazione e le pareti (per l'assenza della fascia perimetrale resiliente), oltre a compromettere il funzionamento del pavimento galleggiante provoca anche un incremento di rumorosità data dall'impatto dell'acqua sul piatto doccia o nella vasca.

La corretta posa in opera prevede di applicare anche sotto il piatto doccia o la vasca il materiale resiliente a pavimento (Figura 114), risvoltandolo adeguatamente in corrispondenza delle pareti, per evitare contatti rigidi. Si deve porre particolare attenzione a rivestire anche la tubazione di scarico che affiora dal massetto di livellamento e a nastrare tale rivestimento al materassino resiliente, senza lasciare aperture. Tra il piatto doccia e il materassino dovrebbe essere posato materiale inerte tipo sabbia. Inoltre il piatto doccia non deve essere addossato alle pareti, ma deve essere lasciata una fessura da riempire con materiale elastico tipo silicone (evitando di riempire con malta o altro materiale rigido).

L'entità della penalizzazione nel caso di piatto doccia è stata misurata in opera, tra un bagno al piano primo e una camera ricevente al piano terra. La misurazione è stata eseguita prima in condizioni di piatto doccia connesso rigidamente al massetto e alle pareti, poi in seguito al ripristino come descritto in precedenza.

I valori ottenuti sono riportati nella tabella seguente, ed evidenziano una netta riduzione della rumorosità, di ben 18 dB(A).

Tabella 4: risultati relativi alla rumorosità di una doccia prima e dopo l'intervento di risanamento acustico

Rumore funzionamento doccia	L_{Aeq} prima dell'intervento [dB(A)]	L_{Aeq} dopo l'intervento [dB(A)]	Differenza [dB(A)]
		45.0	26.6



Figura 113: esempio di errata posa in opera nella zona del piatto doccia, con il materiale anticalpestio assente



Figura 114: esempio di risoluzione dell'errore, con la posa del materassino resiliente (correttamente risolto sul perimetro) sotto la base del piatto doccia

4.2.8 Errore di posa WC sospeso: assenza del materiale desolidarizzante tra il retro del WC e la parete

Il contatto tra il WC sospeso e la parete potrebbe generare una trasmissione del rumore più elevata rispetto al WC a terra, per cui è importante interporre un'adeguata lastra desolidarizzante (Figura 115), solitamente vendute già sagomate e forate.

Il fissaggio del WC deve avvenire inserendo del materiale desolidarizzante tra la rondella e il tappo del WC, in corrispondenza delle staffe che sorreggono il WC.

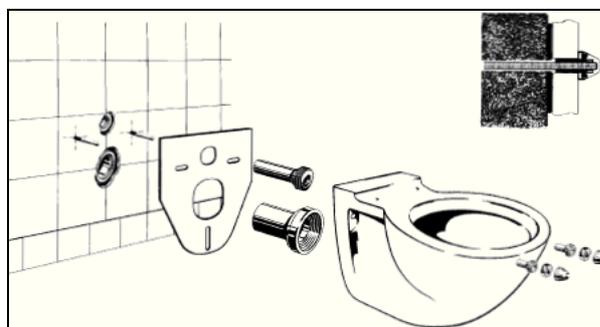


Figura 115: esempio di inserimento di una lastra desolidarizzante tra WC sospeso e parete [54]

4.2.9 Errore di posa cassetta di risciacquo esterna: cassetta e/o tubo di cacciata connessi rigidamente alla parete

Il contatto tra la cassetta di risciacquo esterna (Figura 116) e/o del tubo di cacciata (Figura 117), può generare propagazione di rumore per via strutturale, soprattutto in caso di parete divisoria monostrato.

Per evitare ciò si deve interporre materiale elastico tra la cassetta e la parete, avendo cura di svincolarla per intero, e tra il tubo di cacciata e la parete. Se il tubo di cacciata è fissato tramite collare metallico, il materiale desolidarizzante si deve interporre tra il collare e la parete.

La problematica della cassetta vincolata rigidamente alla parete è stata rilevata in un cantiere, dove si è proceduto al risanamento acustico tramite interposizione di materiale elastico. La sperimentazione è stata condotta su sette WC. I risultati hanno evidenziato che lo svincolamento della cassetta ha portato un beneficio compreso tra 1 e 2 dB(A).



Figura 116: esempio di cassetta del WC fissata rigidamente alla parete (errore di posa)



Figura 117: esempio di tubo di cacciata connesso rigidamente alla parete

4.2.10 Errore di posa cassetta di risciacquo incassata: cassetta e/o tubo di cacciata connessi rigidamente alla parete

L'utilizzo di una cassetta incassata nella parete è una delle soluzioni più utilizzate. Dal punto di vista acustico potrebbe essere fonte di potenziali criticità, tutte dovute al contatto rigido tra la cassetta, il tubo di cacciata e le pareti (Figura 118). Contrariamente alla cassetta esterna, la desolidarizzazione della cassetta incassata è più complessa, in quanto va spesso integrata all'interno di una parete. Occorre perciò foderare tutta la cassetta tramite materiale antivibrante, senza lasciare aperture che potrebbero creare dei punti di contatto durante il riempimento successivo della traccia. Lo svincolamento deve essere eseguito soprattutto dalla parte retrostante della parete (Figura 119).

In alternativa è altamente consigliabile l'utilizzo di moduli di installazione autoportanti, che devono essere ancorati alla parete tramite appositi fissaggi che riducono la trasmissione del rumore per via strutturale sia dello scarico che del ricarico della cassetta, inserita all'interno del telaio. Il rivestimento della struttura

avviene con l'applicazione di pannelli di cartongesso e quindi con la piastrellatura (tale controparete non svolge nessuna funzione statica). L'interno del vano deve essere foderato con materiale fonoassorbente, così come il tubo di cacciata (Figura 120).

Anche in questo caso è stata eseguita una sperimentazione, per verificare l'effetto della disconnessione di cassetta (inserita in un cavedio) e tubo di cacciata, per alcuni WC sospesi.

I risultati hanno mostrato miglioramenti, in seguito all'intervento, compresi tra 3 e 5 dB(A) circa.



Figura 118: esempio di contatti rigidi tra parete, cassetta e tubo di cacciata



Figura 119: esempio di cassetta opportunamente svincolata dalla parete divisoria tramite materiale antivibrante



Figura 120: esempio di tubo di cacciata correttamente svincolato dalla parete (cassetta dentro parete)

4.2.11 Errore di posa cassetta di risciacquo esterna o incassata: valvola di adduzione connessa rigidamente alla parete

Il rumore della valvola di adduzione della cassetta (esterna o incassata) può essere fonte di particolare disturbo, soprattutto se la valvola e la tubazione di adduzione sono vincolate rigidamente ad una parete monostrato.

Nel caso di cassette interne, l'unica operazione da eseguire è il rivestimento della valvola di adduzione, per evitare che il successivo riempimento di malta generi

contatti rigidi (Figura 121 e Figura 122). Per le cassette esterne, lo svincolamento dovrebbe essere eseguito sia per il tubo di adduzione, che deve essere avvolto da apposita guaina elastica, sia per la rondella di chiusura della valvola, tramite l'inserimento sempre di materiale elastico.



Figura 121: esempio di valvola di adduzione (di una cassetta incassata) in cui è assente il rivestimento



Figura 122: esempio di corretto rivestimento di una valvola di adduzione (cassetta incassata)

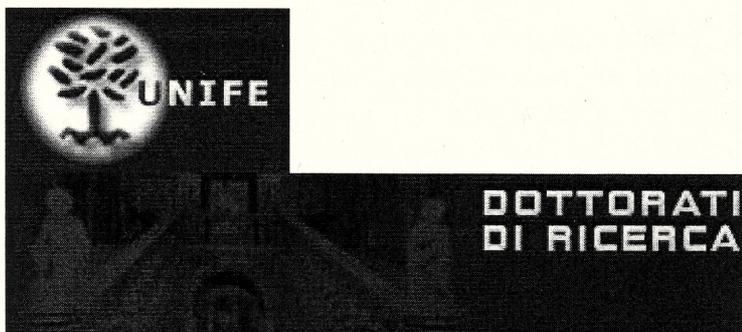
BIBLIOGRAFIA

- [1] DPCM 5/12/97, “Determinazione dei acustici passivi degli edifici”
- [2] Legge comunitaria 07/07/2008 n. 88, “Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee”
- [3] Legge comunitaria 04/06/2010 n. 96, “Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità' europee”
- [4] UNI 11367: 2010, “Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera”
- [5] UNI CEI ENV 13005:2000, “Guida all’espressione dell’incertezza di misura”
- [6] ISO/IEC Guide 98, “Guide to Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)”, International Organization for Standardization
- [7] UNI EN 12354 parti da 1 a 6, “Acustica in edilizia. Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti”
- [8] Simmons C., “*Managing uncertainty in building acoustics - Comparisons of predictions using the EN 12354 standards to measurements*”, Tesi di Dottorato
- [9] Progetto di specifica tecnica U20002150, “Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari – Linee guida per la selezione delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali”
- [10] COST Action TU0901: “*Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions*”
- [11] UNI EN 20140-2: 1994, “Acustica – Misura dell’isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio. Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati”
- [12] UNI ISO 5725-3: 2004, “Accuratezza (esattezza e precisione) dei risultati e dei metodi di misurazione. Parte 3: Misure intermedie di precisione in un metodo di misurazione normalizzato”
- [13] UNI EN ISO 140-4: 2000, “Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazione in opera dell’isolamento acustico per via aerea tra ambienti”
- [14] UNI EN ISO 140-7:2000 “Acustica. Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazioni in opera dell'isolamento al rumore di calpestio dei solai”
- [15] UNI ISO 5725-2: 2004, “Accuratezza (esattezza e precisione) dei risultati e dei metodi di misurazione. Parte 2: Metodo base per determinare la ripetibilità e la riproducibilità di un metodo di misurazione normalizzato”
- [16] “*Guida de Aplicacion del DB HR*”, Còdigo Tècnico de la Edificaciòn, 2009, Espana

- [17] “*Example constructions and generic internal constructions – For use with section 5: noise of the technical handbooks*”, Building Standard Division, 2010, Scotland
- [18] “*Technical Handbooks 2011 Domestic Noise*”, Scotland
- [19] <http://www.robustdetails.com/>
- [20] “*Building Regulations – Part E: Resistance to the passage of sound*”, UK Government, 2010
- [21] “*Exemple de solutions acoustiques – Règlementation acoustiques 2000*”, direction générale de l’Urbanisme de l’Habitat et de la Costruction, Maggio 2002
- [22] UNI EN ISO 140-14: 2004, “Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Linee guida per situazioni particolari in opera”
- [23] UNI 11296: 2009, “Acustica - Linee guida per la progettazione, la selezione, l’installazione e il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto”
- [24] Michalski R. L. X. N., Ferreira D., Nabuco M., Massarani P., “*Uncertainty evaluation in field measurements of airborne sound insulation*”, Proceedings of Proceedings of Acoustics 08, Paris, June 29 – July 4, 2008
- [25] Wszolek T., “*Uncertainty of airborne sound insulation index measurement in laboratory conditions*”, in Proceedings of Acoustics 08, Paris, June 29 – July 4, 2008
- [26] ISO/WD 140-2, “Acoustics. Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements. Part 2: Determination and application of uncertainties”
- [27] UNI ISO/TR 22971:2008, “Accuratezza (esattezza e precisione) dei risultati e dei metodi di misurazione - Guida pratica all’utilizzo della ISO 5725-2:1994 nella progettazione, attuazione e analisi statistica dei risultati di prove interlaboratorio di ripetibilità e di riproducibilità”
- [28] UNI/TR 11326:2009, “Acustica - Valutazione dell’incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali”
- [29] Farina A., Fausti P., Pompoli R., Scamoni F. “*Prove interlaboratorio per la determinazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità nella misura del potere fonoisolante di pareti*”, in atti del XXIV Convegno Nazionale AIA, Trento, 12-14 giugno 1996, pp. 549-556
- [30] Smith R.S., Pompoli R. and Fausti P., “*An Investigation into the Reproducibility Values of the European Inter-Laboratory Test for Lightweight Walls*”, in Journal of Building Acoustics, Special Issue, Volume 6 Nos 3 and 4 (1999) pp.187-210
- [31] Pedersen D. B., Roland J., Raabe G., Maysenholder W., “*Measurement of the Low-Frequency Sound Insulation of Building Components*”, Acta Acustica, Vol. 86 (3), 2000, pp 495-505

- [32] Rehfeld M., “*Handling of uncertainties for CE marking concerning Sound Transmission Loss of glazings*”, in Proceedings of Acoustics 08, Paris, June 29 – July 4, 2008
- [33] Lang J., “*A round robin on sound insulation in buildings*”, Applied Acoustics 52, pp 225-238, 1997
- [34] Arrigucci S., Calistri G., Cellai G., Bertuzzi L., Delucis C., Gori M., Nannipieri E., Riccardo C., Cavarra D., Secchi S., “*Prove di ripetibilità per le misure in opera di potere fonoisolante apparente e di livello di rumore impattivo normalizzato*”, in Atti del 34° convegno nazionale dell’Associazione Italiana di Acustica, Firenze, 13 – 15 Giugno 2007
- [35] Gerretsen E., “*Interpretation of uncertainties in acoustic measurements in buildings*”, in Proceedings of Symposium dB, Le Mans, 27 – 29 June 2005
- [36] Normativa olandese NPR 5092: 2009 “*Noise control in buildings – Assessment of results from acoustic measurements according to NEN 5077*”
- [37] UNI EN ISO 10052:2010, “*Acustica - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea, del rumore da calpestio e della rumorosità degli impianti - Metodo di controllo*”
- [38] Hopkins C., “*Spatial sampling of sound pressure in rooms using manual scanning paths*”, Proceedings of Euronoise 2009, Edinburgh, 26-28 October 2009
- [39] ISO 16283-1, “*Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Field measurements – Part 1: Airborne sound insulation*”
- [40] Dunbavin P., “*An examination of some aspects of the use of ISO 140 Part 4 and 7 in field measurements*”, Proceedings of Euronoise 2009, Edinburgh, 26-28 October 2009
- [41] Pontarollo C.M., “*Analisi dei metodi di misura per i parametri di acustica edilizia e classificazione acustica*”, Tesi di Dottorato in Ingegneria industriale, Cap. 7
- [42] UNI EN ISO 140-5:2000, “*Acustica - 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*”
- [43] Figure estrapolate dalle Specifiche tecniche della ditta ISOSYSTEM (www.termoisolanti.com)
- [44] Fausti P., Ingelaere B., Smith R. S., Steel C., “*Common errors during construction of new buildings and effect of workmanship*”, Atti del Simposio Europeo della COST Action, Firenze, 14 Dicembre 2010
- [45] IReR – Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia, “*Criteri e parametri acustici per le nuove costruzioni e per le ristrutturazioni degli edifici esistenti – Volume 5: Analisi delle tecniche di posa in opera e valutazione delle criticità*”

- [46] Drechsler A., Marin R., Fischer H.M., “*Acoustic performance of energy efficient building products used for modernization of existing buildings*”, Proceedings of Euronoise 2009, Edinburgh, 26-28 October 2009
- [47] Tomassetti G., Albertazzi J., “*Valutazione degli effetti della posa in opera: casi studio per serramenti, pavimenti e impianti*”, Atti della I Convention Nazionale del GAE, Ferrara, 11-12 Marzo 2009
- [48] Pelucchi F., “*Interventi di ripristino nel caso di difetti di posa in opera*”, Atti della I Convention Nazionale del GAE, Ferrara, 11-12 Marzo 2009
- [49] Figure estrapolate dal Manuale di posa in opera disponibile sul sito <http://www.infissidesign.com>
- [50] Fausti P., Tomassetti G., “*L’isolamento acustico di facciata*”, Atti del 32° Convegno Nazionale AIA, Ancona, 15-17 Giugno 2005
- [51] Figure estrapolate dalla “Guida Tecnica – Supporto alla progettazione ed all’installazione” per riscaldamento a pannelli radianti, della ditta Rossato Group S.r.l., disponibile sul sito <http://www.rossatogroup.com>
- [52] Semprini D., Barbaresi L., Menozzi G., “*Perdite d’isolamento acustico causate dalle connessioni strutturali nei sistemi con pavimenti galleggianti*”, Atti del 32° Convegno Nazionale AIA, Ancona, 15-17 Giugno 2005
- [53] Abate D., “*Influenza delle trasmissioni dovute a collegamenti rigidi sull’indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato dei solai*”, Atti del 36° Convegno Nazionale AIA, Torino, 10-12 Giugno 2009
- [54] Figure estrapolate dal manuale “L’acustica negli impianti di scarico” della ditta Geberit, disponibile sul sito <http://www.geberit.it>
- [55] Figure estrapolate dal manuale tecnico “Sistemi di scarico all’interno degli edifici” della ditta Valsir, disponibile sul sito <http://www.valsir.it>



Il tuo indirizzo e-mail

renzo.cremonini@unife.it

Oggetto:

Dichiarazione di conformità della tesi di Dottorato

Io sottoscritto Dott. (Cognome e Nome)

Cremonini Renzo

Nato a:

Cento

Provincia:

Ferrara

Il giorno:

15/04/1980

Avendo frequentato il Dottorato di Ricerca in:

Scienze dell'Ingegneria

Ciclo di Dottorato

XXII

Titolo della tesi (in lingua italiana):

La variabilità dei risultati nelle misure in opera di acustica edilizia

Titolo della tesi (in lingua inglese):

Tutore: Prof. (Cognome e Nome)

Fausti Patrizio

Settore Scientifico Disciplinare (S.S.D.)

ING-IND/11

Parole chiave della tesi (max 10):

acustica edilizia variabilità incertezza rumore posa classificazione

Consapevole, dichiara

CONSAPEVOLE: (1) del fatto che in caso di dichiarazioni mendaci, oltre alle sanzioni previste dal codice penale e dalle Leggi speciali per l'ipotesi di falsità in atti ed uso di atti falsi, decade fin dall'inizio e senza necessità di alcuna formalità dai benefici conseguenti al provvedimento emanato sulla base di tali dichiarazioni; (2) dell'obbligo per l'Università di provvedere al deposito di legge delle tesi di dottorato al fine di assicurarne la conservazione e la consultabilità da parte di terzi; (3) della procedura adottata dall'Università di Ferrara ove si richiede che la tesi sia consegnata dal dottorando in 2 copie di cui una in formato cartaceo e una in formato pdf non modificabile su idonei supporti (CD-ROM, DVD) secondo le istruzioni pubblicate sul sito: <http://www.unife.it/studenti/dottorato> alla voce ESAME FINALE – disposizioni e modulistica; (4) del fatto che l'Università, sulla base dei dati forniti, archiverà e renderà consultabile in rete il testo completo della tesi di dottorato di cui alla presente dichiarazione attraverso l'Archivio istituzionale ad accesso aperto "EPRINTS.unife.it" oltre che attraverso i Cataloghi delle Biblioteche Nazionali Centrali di Roma e Firenze; DICHIARO SOTTO LA MIA RESPONSABILITÀ: (1) che la copia della tesi depositata presso l'Università di Ferrara in formato cartaceo è del tutto identica a quella presentata in formato elettronico (CD-ROM, DVD), a quelle da inviare ai Commissari di esame finale e alla copia che produrrò in seduta d'esame finale. Di

conseguenza va esclusa qualsiasi responsabilità dell'Ateneo stesso per quanto riguarda eventuali errori, imprecisioni o omissioni nei contenuti della tesi; (2) di prendere atto che la tesi in formato cartaceo è l'unica alla quale farà riferimento l'Università per rilasciare, a mia richiesta, la dichiarazione di conformità di eventuali copie; (3) che il contenuto e l'organizzazione della tesi è opera originale da me realizzata e non compromette in alcun modo i diritti di terzi, ivi compresi quelli relativi alla sicurezza dei dati personali; che pertanto l'Università è in ogni caso esente da responsabilità di qualsivoglia natura civile, amministrativa o penale e sarà da me tenuta indenne da qualsiasi richiesta o rivendicazione da parte di terzi; (4) che la tesi di dottorato non è il risultato di attività rientranti nella normativa sulla proprietà industriale, non è stata prodotta nell'ambito di progetti finanziati da soggetti pubblici o privati con vincoli alla divulgazione dei risultati, non è oggetto di eventuali registrazioni di tipo brevettale o di tutela. PER ACCETTAZIONE DI QUANTO SOPRA RIPORTATO

Firma del dottorando

Ferrara, li 07/03/11 (data) Firma del Dottorando

Firma del Tutore

Visto: Il Tutore Si approva Firma del Tutore

