L’impiego della gomma riciclata in edilizia

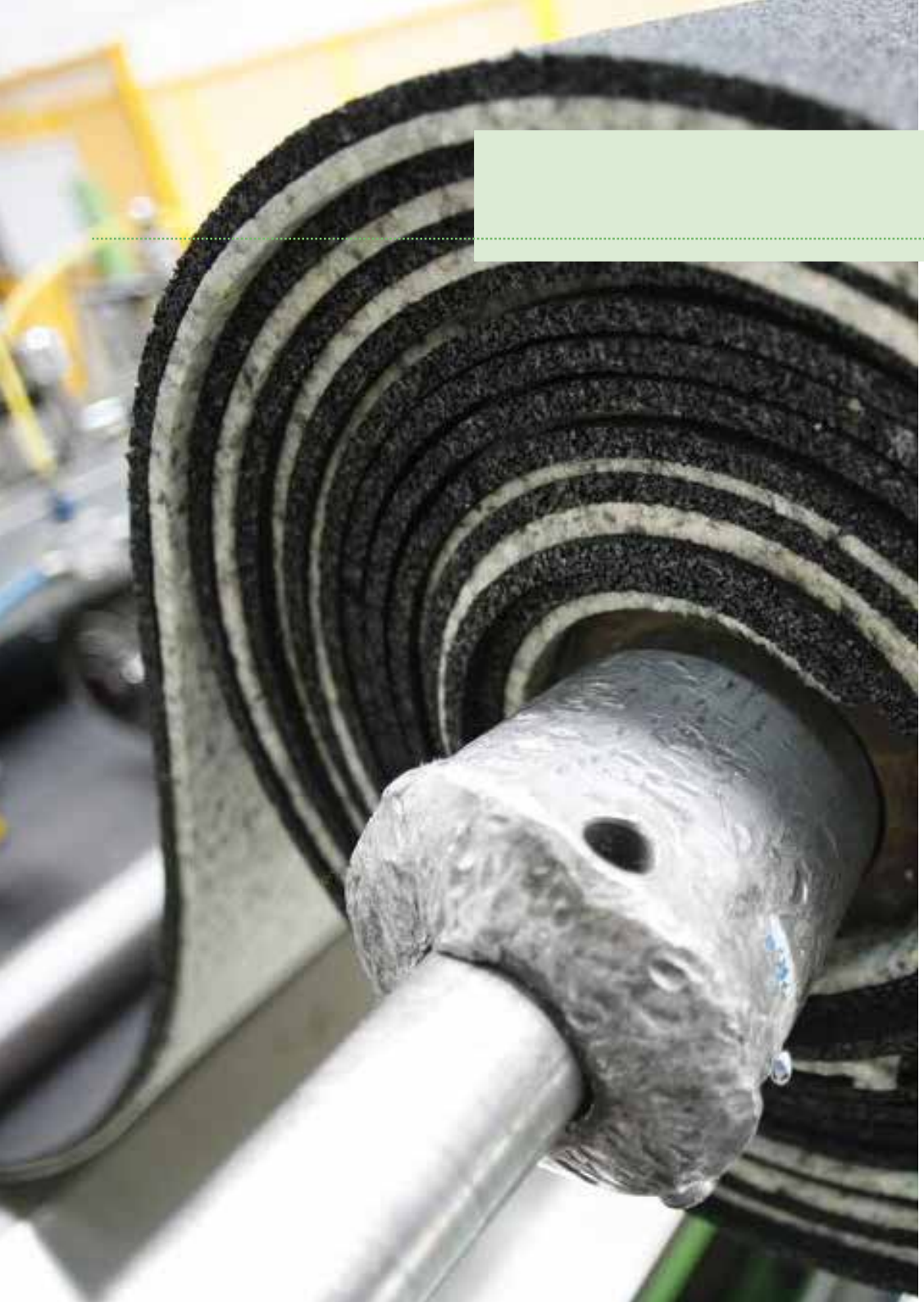
La posa in opera degli isolanti in gomma riciclata

14

ecopneus
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

in collaborazione con

Vie en.ro.se.
Ingegneria



Sommario

Premessa 13

Il progetto 14
Introduzione 16

1 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento delle partizioni orizzontali di un edificio 18

1.1 - Applicazione su solai misti o in cemento armato 20
1.1.1 - Manuale di posa di prodotti anticalpestio in solaio sotto rivestimento di finitura (attenuazione diretta) 22
1.1.2 - Manuale di posa di prodotti anticalpestio in solaio sopra gli impianti (massetto galleggiante) 29
1.1.3 - Manuale di posa di prodotti anticalpestio in solaio sotto massetto porta impianti (platea galleggiante) 44
1.1.4 - Rivestimento delle tubazioni degli impianti con getto di gomma colata 46
1.1.5 - Accorgimenti costruttivi per risolvere le criticità nei locali adibiti alla preparazione dei cibi e nei bagni 47
1.2 - Applicazione su solai in legno 49
1.2.1 - Solai in legno con massetto flottante 50
1.2.2 - Solai massicci a pannelli di tavole incrociate: "X-Lam" 53
1.2.3 - Solai leggeri "Platform frame" 57
1.3 - Applicazione in pavimenti sopraelevati 59
1.4 - Applicazione su controsoffitti 68
1.4.1 - Controsoffitto in aderenza 69
1.4.2 - Controsoffitto sospeso 72
1.5 - Applicazione su terrazze 77
1.6 - Applicazione su tetti 78
1.7 - Applicazione su elementi strutturali di collegamento tra partizioni orizzontali (scale con struttura monolitica in cemento armato) 81

2 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento delle partizioni verticali di un edificio 88

2.1 - Applicazione di materiale isolante in intercapedine 94
2.1.1 - Parete doppia in elementi massivi 95
2.1.2 - Parete doppia a secco (parete leggera) 101
2.2 - Applicazione in placcaggio a parete 108
2.2.1 - Placcaggio diretto su parete 108
2.2.2 - Placcaggio su orditura metallica 114
2.3 - Applicazione su pareti in legno 115
2.3.1 - Parete a pannelli di tavole incrociate "X-Lam" 115
2.3.2 - Pareti leggere intelaiate "Platform frame" 116

3 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento delle fondazioni di un edificio 118

3.2 - Fondazioni a platea 122

4 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento degli impianti di un edificio 124

4.1 - Impianti a funzionamento discontinuo 126
4.1.1 - Ascensori 126
4.1.2 - Impianti idraulici 127
4.2 - Impianti a funzionamento continuo 131

Appendice 137

Glossario 144

Riferimenti legislativi e normativi 148

Bibliografia 150

Ringraziamenti 151

Vie en.ro.se. Ingegneria

Vie en.ro.se. Ingegneria srl è una società di progettazione e consulenza, certificata ISO 9001:2008, che da oltre venti anni opera nei settori dell'ingegneria ambientale e civile, dell'acustica ambientale, edilizia e architettonica, della sicurezza sul lavoro, dell'igiene ambientale e occupazionale, dello sviluppo sostenibile e dei sistemi di gestione. In questi ambiti, partecipa a progetti nazionali e internazionali, singolarmente o in partnership con soggetti pubblici, privati, Università e istituti di ricerca.
Le competenze specifiche e i campi di esperienza di Vie en.ro.se riguardano, per quanto concerne l'acustica: valutazioni previsionali di clima e impatto acustico in ambienti complessi, piani di monitoraggio, risanamento e bonifica, piani di classificazione acustica, mappature acustiche strategiche, piani di azione di agglomerati e infrastrutture dei trasporti, piani di risanamento acustico di aree industriali, verifiche di impatto ambientale e progettazione delle opere di mitigazione in ambito stradale e ferroviario, verifiche previsionali ed in opera dei requisiti acustici passivi degli edifici, progetti di correzione acustica di ambienti interni, progettazione acustica e civile, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione e direzione dei lavori di interventi di miglioramento/risanamento acustico di edifici e infrastrutture stradali e ferroviarie, complessi artigianali, industriali e cantieri.
Nel campo dell'igiene occupazionale e della sicurezza sul lavoro, Vie en.ro.se fornisce servizi di progettazione e assistenza per gli adempimenti in materia di valutazione dei rischi sui luoghi di lavoro, prevenzione incendi, collaudi e verifiche periodiche di impianti e attrezzature, di assistenza al Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione e svolgimento diretto del ruolo esterno, di definizione del Piano di Sicurezza e Coordinamento.
Vie en.ro.se Ingegneria annovera nel suo staff numerosi esperti certificati e provenienti dall'area scientifica e accademica di livello internazionale.

Ha collaborato alla stesura del presente volume Giacomo Nocentini.

Ecopneus

Ecopneus è la società senza scopo di lucro tra i principali responsabili della gestione dei PFU (Pneumatici Fuori Uso) in Italia, costituita dai sei principali produttori di pneumatici operanti nel nostro Paese (Bridgestone, Continental, Goodyear Dunlop, Marangoni, Michelin e Pirelli) cui nel tempo si sono aggiunte molte altre aziende di produzione e importazione di pneumatici.

In base a quanto previsto dall'art. 228 del D. Lgs. 152/2006 e dal D.M. 82/2011, che regolamentano la gestione dei PFU, è responsabile della gestione delle operazioni di rintracciamento, raccolta, trasporto e recupero di una quota di PFU proporzionale alle quote di mercato detenute dalle aziende socie, circa il 70% delle circa 350.000 tonnellate di pneumatici che arrivano a fine vita ogni anno in Italia.

Ecopneus garantisce quindi il corretto recupero di circa 250.000 tonnellate di PFU ogni anno, pari a circa 30 milioni di singoli pneumatici: messi uno fianco all'altro formerebbero una striscia lunga oltre 13.000 km, due volte la distanza Milano-New York.

Parallelamente alle quotidiane attività operative, forte è anche l'impegno profuso per il consolidamento e lo sviluppo di nuovi mercati delle applicazioni della gomma riciclata, in linea con quanto richiesto dalla Comunità Europea e dal Legislatore italiano, per la creazione anche in Italia di una circular economy per la gomma riciclata.

Ecopneus a questo scopo ha investito fino ad oggi oltre 14 milioni di euro in progetti a sostegno del riciclo dei PFU, strutturando un approccio articolato su più dimensioni:

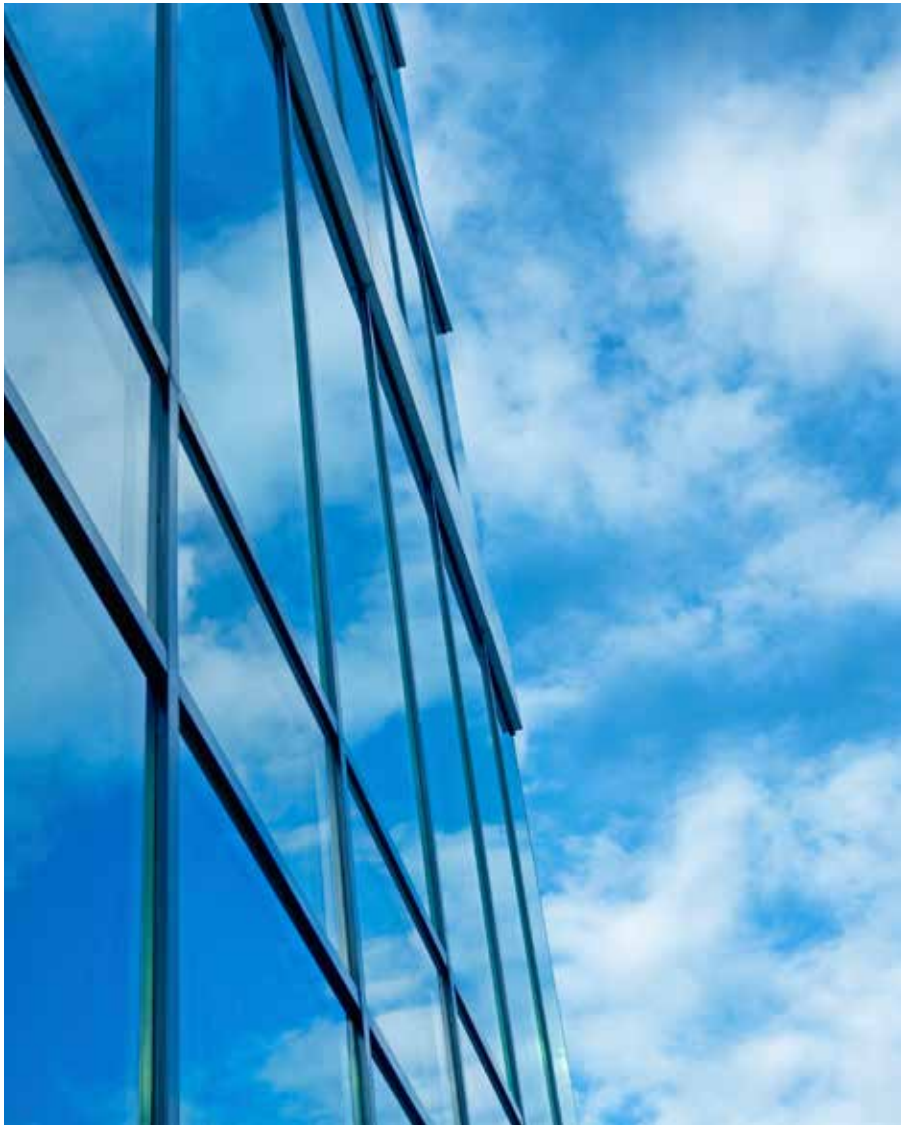
- divulgativo, con un portale dedicato e con campagne pubblicitarie dedicate alle applicazioni della gomma riciclata;
- partecipativo, per il coinvolgimento di specifici stakeholder e della Pubblica Amministrazione;
- tecnico-scientifico, per la verifica della sicurezza e delle prestazioni della gomma riciclata nelle varie applicazioni;
- istituzionale, con il coinvolgimento degli stakeholder istituzionali, imprenditoriali e dell'associazionismo nella soluzione di criticità normative, economiche e culturali.

Sergio Luzzi, Ingegnere - Esperto certificato in Acustica, Suono e Vibrazioni di livello III.
Professore a contratto all'Università degli studi di Firenze, Honorary Visiting Professor alla Ural State University di Ekaterinburg (Russia), Visiting Lecturer alla School of Architecture del Royal College of Art di Londra.
Socio e Direttore Tecnico di Vie en.ro.se. Ingegneria, società specializzata in Ingegneria ambientale, Sicurezza e Igiene occupazionale.
Responsabile scientifico e Technical Manager dei progetti EU: LIFE+2008 HUSH, LIFE+2010 QUADMAP, IPA 2009 OSH EAST NET Direttore Scientifico della OSHNET SCHOOL for certified education in Occupational Health and Safety.
È membro dell'Executive Council dell'EAA (European Acoustics Association) e del Consiglio Direttivo Nazionale dell'Associazione degli Igienisti Industriali.
Si occupa a livello scientifico e professionale di acustica e controllo del rumore, di igiene ambientale e occupazionale. Cura l'organizzazione e il programma scientifico di numerosi corsi e convegni a livello nazionale e internazionale.
È stato General Chairman del 22° International Congress on Sound and Vibration, tenutosi a Firenze nel luglio 2015.
È autore di 5 libri e di numerose pubblicazioni scientifiche sull'acustica, la sicurezza degli ambienti di vita e di lavoro, l'elettrotecnica, la tecnica professionale.

Lucia Busa, laureata in Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze nel 2003 con una tesi di laurea sulla progettazione delle aperture trasparenti secondo le prestazioni fisico-ambientali. Consegue il Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento di Tecnologia e Design Pierluigi Spadolini dell'Università degli Studi di Firenze nel 2007 con una tesi dal titolo: "Analisi di sistemi per il miglioramento delle prestazioni acustiche delle facciate degli edifici".
Tecnico competente in acustica ambientale della Regione Calabria dal 2007.
Attualmente è Direttore Tecnico di Vie en ro se. Ingegneria, società certificata ISO 9000, specializzata in ingegneria ambientale, sicurezza e igiene occupazionale, per cui ha fornito numerose prestazioni di progettazione e consulenza a clienti pubblici e privati, nazionali e internazionali, in collaborazione con università e istituti di ricerca, con particolare riferimento alle problematiche legate all'isolamento acustico degli edifici e al comfort acustico interno di ambienti complessi quali teatri e auditorium.

È autrice di 1 libro e di oltre 40 articoli scientifici sull'Acustica e sui requisiti fisico-tecnici degli edifici, pubblicati su riviste ed atti di convegni nazionali ed internazionali.

Francesco Borchi si è laureato in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze, nell'anno accademico 1997-98.
È Dottore di Ricerca con tesi di dottorato dal titolo "Sviluppo di un sistema di gestione del clima acustico in ambiente urbano".
Nel periodo 2002/2004 è risultato vincitore di un assegno di ricerca conferitogli dall'Università degli Studi di Firenze per compiere una ricerca dal titolo "Metodologie per lo sviluppo di un piano comunale di risanamento acustico". Successivamente al 2004, ha proseguito la carriera universitaria risultando vincitore di numerose borse di studio attivate dall'Università degli Studi di Firenze su tematiche relative all'acustica.
Per quanto riguarda la didattica, ha maturato la sua esperienza dal 1998 in particolare nell'ambito universitario e per più settori di competenza relativamente all'acustica ambientale, industriale ed edilizia.
Svolge attività professionale nell'ambito dell'acustica dal 1999 ed è tecnico competente in acustica ambientale (iscritto nell'elenco dalla Provincia di Firenze, n. 38).
Dal 2011 svolge il ruolo di Direttore Tecnico all'interno della società Vie en.ro.se. Ingegneria S.r.l. coordinando un gruppo di progettisti e svolgendo direttamente i principali incarichi di progettazione acustica.
È autore di oltre 50 pubblicazioni, gran parte delle quali nell'ambito dell'acustica apparse su riviste ed atti di convegni nazionali ed internazionali.



Premessa

Il quadro legislativo e normativo legato al mantenimento di idonee condizioni di comfort ambientale negli edifici si è fortemente evoluto nel corso degli ultimi quindici anni. Leggi e norme tecniche relative alla limitazione della trasmissione di calore, suono e vibrazioni negli edifici impongono una progettazione molto più attenta a questi fenomeni rispetto al passato. L'adeguamento agli standard europei di protezione termica ed acustica degli edifici comporterà con ogni probabilità nei prossimi anni un'ulteriore evoluzione del modo di realizzare gli edifici in Italia. In questo contesto, l'uso di prodotti dotati di rilevanti caratteristiche di elasticità, fonoassorbimento e resistenza termica vedrà un incremento significativo, con soluzioni tecnologiche sempre più performanti. La gomma da Pneumatici Fuori Uso (PFU), per le sue caratteristiche intrinseche di elasticità, è un ottimo materiale dal punto di vista della limitazione della trasmissione di rumori e vibrazioni negli edifici. Per questo l'uso di prodotti in gomma riciclata può contribuire significativamente a migliorare le prestazioni degli edifici nei confronti di queste diverse problematiche.

Il progetto

Nel 2014 è stato avviato un progetto avente come obiettivo analizzare l'efficacia dei materiali e dei sistemi per l'edilizia che utilizzano il polverino di gomma proveniente da PFU.
Il progetto, sviluppato da Vie en ro se. Ingegneria in collaborazione con Ecopneus, si è articolato attraverso varie attività di studio e di approfondimento, comprendenti ricerca bibliografica e misure in opera. Nel corso delle varie fasi sono state considerate e analizzate le proprietà acustiche, termiche e strutturali dei materiali. I risultati del progetto sono stati raccolti in una collana dal titolo "L'impiego della gomma riciclata in edilizia", che si compone di tre volumi.

Volume 1
L'impiego della gomma riciclata in edilizia - Proprietà acustiche, termiche, strutturali

Il primo volume della collana tratta delle proprietà acustiche, termiche e strutturali dei materiali in gomma riciclata, determinate attraverso uno studio tipologico e di catalogazione dei prodotti per l'edilizia che utilizzano gomma, suddivisi per categorie di impiego: pavimentazioni resilienti, materiali anticalpestio, materiali antivibranti, materiali per l'isolamento acustico delle pareti, materiali per l'isolamento acustico degli impianti ed altri usi. Il volume tratta delle applicazioni tipiche di questi materiali e sistemi in edilizia, e si conclude con schede e tabelle di sintesi sui prodotti in gomma riciclata.

Volume 2
L'impiego della gomma riciclata in edilizia - La posa in opera degli isolanti in gomma riciclata

Il secondo volume della collana tratta della fase di posa in opera degli isolanti gommati. Si basa sulla raccolta e l'analisi della manualistica per la posa in opera dei prodotti presenti nelle diverse categorie tipologiche definite nel volume 1. In particolare, sono stati analizzati i manuali delle principali aziende italiane ed europee produttrici di materiali e sistemi che utilizzano la gomma riciclata da PFU. Trattandosi per lo più di manuali riferiti ad un'ampia gamma di prodotti, da tale analisi non sono emersi elementi specifici per la posa in opera dei prodotti a base di gomma riciclata. Per tenere conto delle peculiarità che caratterizzano i prodotti a base di gomma rispetto ad altri prodotti, è stato condotto un ulteriore approfondimento mediante il confronto con i tecnici di alcune delle principali aziende coinvolte nello studio che hanno messo a disposizione la propria esperienza maturata in cantiere nel corso degli anni. Questo ha contribuito alla stesura di specifiche schede di approfondimento, riportate in Appendice, circa gli accorgimenti necessari per la corretta ed ottimale posa in opera di tali prodotti.

Volume 3
L'impiego della gomma riciclata in edilizia - Le prestazioni in opera degli isolanti gommati

Il terzo volume della collana tratta delle prestazioni degli isolanti gommati, definite attraverso la raccolta di dati sperimentali ottenuti da prove in opera. Le prestazioni in opera in scenari tipici vengono quindi confrontate con i valori ottenuti da calcolo previsionale, al fine di valutare l'affidabilità delle previsioni numeriche in riferimento ai valori sperimentali. Infine, a partire dalle tipologie di solai più ricorrenti nel patrimonio edilizio italiano, vengono effettuati dei confronti tra le prestazioni medie misurate in opera dei materiali anticalpestio a base di gomma riciclata da PFU e materiali di altra natura.

Introduzione

Oggetto del presente volume è la stesura di linee guida contenenti regole utili per la corretta posa in opera dei materiali gommati, con particolare riferimento a quelli ottenuti da riutilizzo di PFU. Come nel volume 1, la classificazione si basa sulle modalità di utilizzo dei prodotti realizzati da PFU nei vari elementi (partizioni orizzontali, partizioni verticali, elementi strutturali di collegamento, fondazioni ed impianti) che caratterizzano un edificio.
All'interno di ciascun capitolo vengono elencate e descritte le peculiarità applicative di specifici prodotti, focalizzando l'attenzione sulle modalità di posa in opera dei materiali isolanti gommati. Tutte le spiegazioni sono corredate da immagini e schede illustrative che forniscono un dettaglio dei prodotti e delle fasi di posa in opera, con particolare riferimento agli accorgimenti tecnici e tecnologici da mettere in atto. La trattazione segue la seguente articolazione:

- **Isolamento acustico delle partizioni orizzontali di un edificio (Cap. 1)**: applicazione su solai misti in laterocemento o con soletta in cemento armato (isolante acustico sotto rivestimento di finitura, isolante acustico sopra massetto porta impianti, isolante acustico sotto massetto porta impianti), su solai in legno a travi portanti o struttura in lamellare (solai massicci a pannelli di tavole incrociate "X-Lam", solai leggeri "Platform frame"), applicazione in pavimenti sopraelevati, applicazioni su controsoffitti (in aderenza e sospesi), terrazze, tetti e in elementi di collegamento strutturale tra partizioni orizzontali (scale con struttura monolitica in cemento armato);
- **Isolamento acustico delle partizioni verticali di un edificio (Cap. 2)**: applicazione in intercapedine di parete (parete doppia in elementi massivi, parete doppia a secco), in placcaggio a parete (placcaggio diretto su parete, placcaggio a controparete su orditura metallica), su pareti in legno (sistema "X-Lam" e "Platform frame");
- **Isolamento alle vibrazioni delle fondazioni di un edificio (Cap. 3):** applicazione in fondazioni puntuali (plinti) e superficiali (travi rovesce), applicazione in fondazioni a platea;
- **Isolamento acustico e alle vibrazioni degli impianti (Cap. 4):** applicazione in impianti a funzionamento discontinuo (ascensori, impianti idraulici) e continuo (impianti RCA);
- ***Appendice:*** vengono riportate le indicazioni specifiche per la posa in opera dei materiali a base di gomma riciclata da PFU.

1. Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento delle partizioni orizzontali di un edificio

Gli isolanti gommati provenienti da riciclo di PFU vengono applicati nella produzione di prodotti anticalpestio che trovano largo impiego nell'isolamento di solai, misti o in cemento armato (Par.1.1), in legno (Par.1.2), e nei pavimenti sopraelevati (Par.1.3).
Verranno trattate anche le applicazioni di isolanti gommati in controsoffitti (Par.1.4), terrazze (Par.1.5), tetti (Par.1.6), ed elementi strutturali di colle-gamento tra partizioni orizzontali (scale con struttura monolitica in cemento armato, Par.1.7).

1.1 - Applicazione su solai misti o in cemento armato

Intervenire acusticamente sui solai interpiano di abitazioni, uffici o edifici con altra destinazione d'uso è fondamentale per evitare la trasmissione dei rumori impattivi che si propagano per via solida attraverso le strutture del fabbricato. Seguendo la classificazione riportata precedentemente si possono distinguere tre principali sistemi di applicazione per i prodotti anticalpestio in solaio:

A. Sotto rivestimento di finitura (attenuazione diretta)

Il materiale isolante è collocato direttamente al di sopra del massetto a contatto diretto con la finitura (ceramica, legno), soluzione riconducibile al sistema di "attenuazione diretta" del rumore da calpestio. Tale soluzione è principalmente utilizzata negli interventi di ristrutturazione al fine di introdurre una riduzione dei rumori impattivi.

Immagine 1 - *Applicazione sotto rivestimento di finitura*

B. Sopra massetto porta impianti (massetto galleggiante)

Il materiale isolante è collocato sopra il massetto porta impianti in ottemperanza con il principio fisico "massa-molla-massa", riconducibile al sistema del "massetto galleggiante". Detta anche "soluzione bistrato", è la più efficace per l'attenuazione dei rumori impattivi sui solai e pertanto viene spesso utilizzata negli edifici di nuova costruzione; tale soluzione è da preferire rispetto alle altre anche in interventi su edifici esistenti, là dove possibile.

Immagine 2 - *Applicazione sopra massetto porta impianti*

C. Sotto massetto porta impianti (platea galleggiante)

Detta anche "soluzione monostrato", prevede di collocare al di sopra del solaio strutturale e sotto gli impianti, in ottemperanza con il principio fisico "massa-molla-massa" riconducibile al sistema della "platea galleggiante o desolidarizzata". Tale soluzione può essere adottata nei casi di ristrutturazione quando, per impossibilità tecnica, è impraticabile la soluzione b) oppure, per edifici di nuova costruzione, in aggiunta alla soluzione a "massetto galleggiante".

Immagine 3 - *Applicazione sotto massetto porta impianti*

A conclusione di questo capitolo viene inoltre riportato un sistema applicativo per il rivestimento delle tubazioni degli impianti con getto di gomma colata, trasversale alla classificazione data, nonché utili accorgimenti costruttivi al fine di evitare criticità (ponti acustici).

Elementi di base da considerare

In tutti i sistemi applicativi, particolare attenzione deve essere dedicata alle modalità di realizzazione del massetto porta impianti.

Immagine 4 - *Tubazioni prima del getto del massetto porta impianti*

Nel caso del massetto galleggiante, la posa in opera non corretta del massetto porta impianti può comportare una scabrosità superficiale tale da favorire la foratura del materiale isolante sotto il peso del massetto di allettamento, oppure generare situazioni come quelle di seguito riportate, che possono creare ponti acustici e vanificare gli accorgimenti pianificati in fase progettuale:

- sollecitazioni differenziate sullo strato resiliente e quindi penalizzazioni sui requisiti di legge, dovute alla non uniformità degli spessori del massetto a contatto con lo strato resiliente. Tale situazione può essere causa di comportamenti anomali del sistema di isolamento al calpestio. A titolo di esempio, la sollecitazione causata da un macchinario posto su un assottigliamento del massetto farebbe riscontrare

un comportamento certamente più penalizzato rispetto alla stessa sollecitazione praticata su una sezione di massetto del giusto peso e spessore;

- la stesura dello strato resiliente su una superficie scarsamente planare ed incoerente può causare la creazione di piccole intercapedini d'aria tra il materiale isolante ed il sottofondo, che possono portare a resistenze meccaniche compromesse e quindi a possibili fessurazioni del massetto e rotture della pavimentazione. A titolo di esempio la presenza di un grande armadio in concomitanza delle intercapedini provoca un aumento del carico sulla struttura tale da far diminuire lo spessore del materiale, causando la fessurazione del massetto di allettamento fino alla rottura della pavimentazione.

Inoltre, queste stesse problematiche legate a sollecitazioni differenziali possono essere favorite anche dalla realizzazione di un massetto galleggiante di spessore ridotto, inferiore a 5 cm richiesto in alcuni casi negli interventi su edifici esistenti per problematiche tecnico-urbanistiche.

1.1.1 - Manuale di posa di prodotti anticalpestio in solaio sotto rivestimento di finitura (attenuazione diretta)

Questo sistema applicativo si basa sulla collocazione del materiale isolante direttamente al di sopra del massetto di allettamento a contatto diretto con la finitura (ceramica, legno) riconducibile al sistema di "attenuazione diretta" del rumore di calpestio.
Questa situazione si verifica nel caso in cui il progettista si trovi a dover risanare acusticamente solai esistenti, ad esempio in ristrutturazioni di edifici storici o interventi in edifici nuovi in cui non è stato previsto lo strato anticalpestio, oppure quando, nonostante la presenza di un materassino acustico anticalpestio, l'isolamento ottenuto non è ancora soddisfacente.
È un sistema che non offre risultati e prestazioni elevate, essendo vincolato a tre fattori determinanti: la situazione esistente (solitamente si ha a che fare con solai realizzati con tecniche superate basate su spessori ridotti, quindi estremamente "leggeri"), lo spessore ridotto del materiale resiliente (2-3 mm), il peso ridotto del rivestimento di finitura.

Preparazione delle superfici alla posa

La prima azione da effettuare è controllare lo stato delle superfici che costituiscono la base per la posa del materassino.
Nel caso si tratti di sottofondi leggeri, solitamente la superficie si presenta molto scabrosa e talvolta irregolare, pertanto si effettuano i seguenti passaggi al fine di renderla idonea per il montaggio del materiale isolante: levigatura superficiale con disco abrasivo, aspirazione delle polveri residue, bruciatura superficiale mediante cannello con fiamma alimentata a gas propano liquido (cannello da impermeabilizzatore) per eliminare i residui di perle presenti negli alveoli formatisi dopo la levigatura della superficie. Le operazioni sopra riportate sono da eseguirsi non prima di 7 giorni dalla posa del materiale anticalpestio. Oppure bisogna utilizzare appositi livellanti al fine di regolarizzare la superficie di posa.
Nel caso di presenza di massetti cementizi è consigliabile procedere mediante levigatura superficiale e aspirazione delle polveri residue.
I massetti autolivellanti, a fine essiccazione, presentano una superficie perfettamente a livella e priva di asperità.
Nel caso invece di pavimentazioni ceramiche esistenti, si procederà a pallinatura superficiale o, in alternativa, picchettatura superficiale e successivo trattamento con acido.

Fasi di posa in opera

A seconda della tipologia e della tecnica di posa della finitura superficiale desiderata, si ha una posa del materassino "a colla", nel caso di pavimentazioni in parquet, ceramica, pietre e materiali lapidei in genere, oppure *"a secco"* con materassino e parquet flottante.

Posa del materassino "a colla"
Il sotto ceramica è usato in risanamenti nel caso non si voglia demolire la pavimentazione ed il relativo sottofondo, o per aumentare la prestazione di solai già isolati con il massetto flottante dove si vuole avere una pavimentazione tradizionale lapidea. Il materassino resiliente viene incollato sopra il massetto o una pavimentazione esistente e alla fine viene incollata la nuova pavimentazione. Tra sottofondo e materiale isolante, è consigliabile utilizzare collanti a base di acqua idonei per la posa di materiali in gomma o plastica.

Immagine 5 - *Stratigrafia di un solaio in laterocemento con applicazione dell'isolante acustico sotto piastrella*

Nel caso di una nuova costruzione, al di sotto di ogni parete, divisoria o di separazione interna, deve essere posizionata una striscia sotto-parete allo scopo di tagliare le vibrazioni trasmesse per via strutturale al solaio.
A completamento degli impianti, termoidraulici ed elettrici deve essere realizzato il massetto porta impianti in modo da creare una superficie regolare, piana e priva di asperità.
Il materassino resiliente deve essere posato su una superficie liscia e piana e incollato al fondo con idonei leganti elastici.
Infine, la pavimentazione viene incollata al materassino isolante, utilizzando le normali colle a base di acqua per piastrelle e materiali lapidei in genere, e riempiendo le fughe con idoneo materiale elastico.

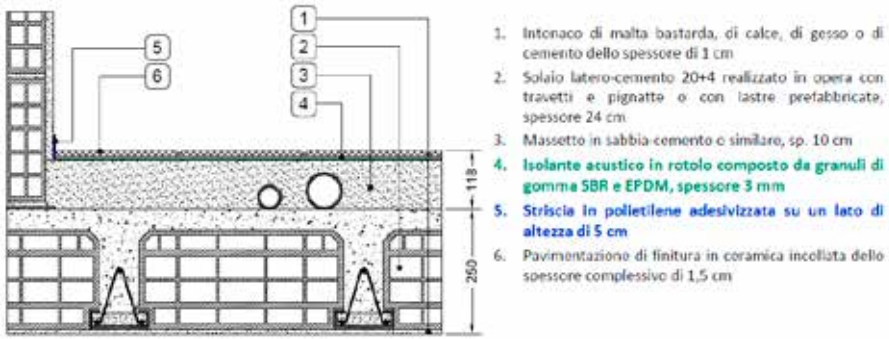


Immagine 6 - *Particolare costruttivo relativo all'applicazione dell'isolante acustico sotto piastrella*

Di seguito sono riportate le fasi di posa in opera del materiale isolante.
Una volta realizzato il massetto porta impianti, procedere per prima cosa con l'applicazione della bandella perimetrale adesiva in polietilene su tutto il perimetro, avendo cura di far combaciare bene il materiale alle partizioni verticali.

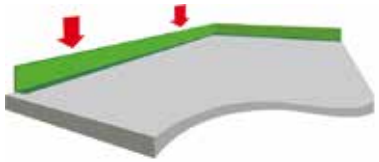


Immagine 7 - *Applicazione della fascia perimetrale*

Una volta tagliate a misura le strisce di gomma SBR da inserire, applicare in maniera omogenea della colla sulla superficie di posa del materassino, utilizzando una spatola dentata da mm 6/8 mm a seconda della planarità del piano di posa, onde evitare avvallamenti e/o sporgenze.

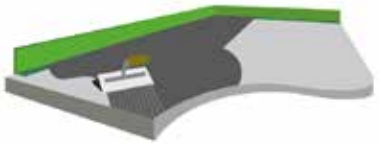


Immagine 8 - *Applicazione della colla sulla superficie di posa del materassino*

Stendere i teli costituenti il materassino sullo strato di colla precedentemente disteso, prestando attenzione al tempo aperto del collante.

Immagine 9 - *Stesura dei teli sullo strato di colla*

Rimuovere ogni sacca d'aria al di sotto dei teli per ottenere una perfetta adesione sulla superficie. A tal proposito è consigliabile esercitare un'adeguata pressione sui teli, preferibilmente mediante utilizzo di un rullo di sovraccarico di 25 kg sulla gomma stesa così da permettere una perfetta adesione tra collante e pannello.

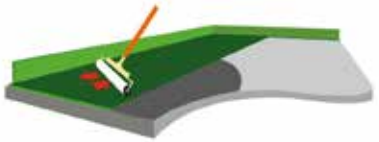


Immagine 10 - *Pressione sui teli incollati mediante rullo*

Durante la posa, è necessario porre estrema cura nell'accostare i teli senza sovrapporli tra loro, cosi da garantire la continuità dello strato

isolante ed evitare la formazione di ponti acustici.
Nel caso sia prevista la posa di un pavimento ceramico o lapideo, è consigliabile nastrare le giunte tra i teli stessi con apposite fasce.
Una volta avvenuta la presa del collante cementizio, rimuovere il collante in eccesso e sigillare con silicone le eventuali imprecisioni nelle giunture.
Generalmente è necessario attendere almeno 24 ore dal termine di questa fase di lavoro per posare la pavimentazione; il dato è comunque indicativo: sarà cura del posatore, in funzione del tipo di collante scelto, stabilire le tempistiche di lavorazione.

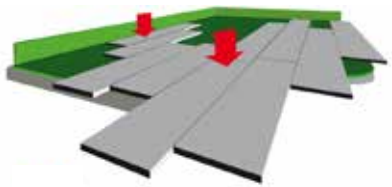


Immagine 11 - *Posa della pavimentazione*

Si procede quindi con l'applicazione della colla sopra il materassino: per la posa della pavimentazione in ceramica o materiale lapideo, le piastrelle potranno essere incollate direttamente mediante colla adeguata, posata a letto pieno, secondo la regola dell'arte. L'adesivo andrà steso mediante idonea spatola dentata scelta in funzione del tipo e del formato della piastrella, attenendosi scrupolosamente alle indicazioni fornite dal produttore della colla e alle regole di buona posa. Sarà comunque cura dell'applicatore valutare l'idoneità dell'adesivo al supporto e alla finitura. Sono suggerite fughe di almeno 3 mm per rivestimenti con dimensioni fino a 60 cm e per superfici non superiori a 20 m^2, fughe di 5 mm per rivestimenti con lato maggiore di 60 cm e/o superfici di oltre 20 m^2.
Segue la stuccatura delle fughe del rivestimento e la rimozione della bandella perimetrale in eccesso. Per quanto riguarda gli stucchi per fugare i giunti tra le piastrelle, è consigliabile l'uso di fuganti rigidi.
Per la posa di pavimentazione in parquet, questo potrà essere incollato direttamente sul materassino mediante applicazione di un adeguato strato di collante posato secondo la regola dell'arte e secondo le indicazioni fornite dal produttore. La posa del parquet dovrà essere eseguita in adeguate condizioni di temperatura e umidità, nello scrupoloso rispetto del disciplinare di posa delle pavimentazioni in legno. In presenza di pavimentazione in parquet, si effettua la posa del materassino "a colla" quando il sottostante massetto porta impianti presenta una superficie scabrosa e irregolare. Infatti la presenza di una colla con caratteristiche specifiche consente di riempire i vuoti causati dalla non perfetta aderenza tra massetto e materassino, evitando così di generare ponti acustici nel solaio.
Una volta rimossa la bandella perimetrale in eccesso presente ai bordi della pavimentazione, procedere alla posa del battiscopa.

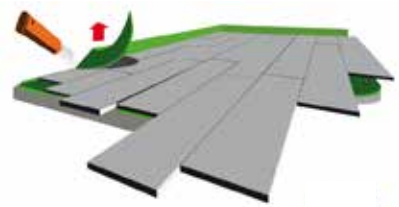


Immagine 12 - *Rimozione della fascia perimetrale in eccesso*

Il battiscopa deve tassativamente essere privo di punti di contatto con la pavimentazione; ciò si ottiene mediante una delle seguenti opzioni:
a) posa sulla ceramica di una guarnizione adesiva su cui appoggiare il battiscopa.

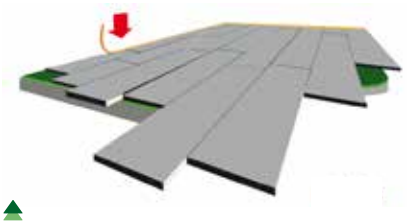


Immagine 13 - *Posa di guarnizione adesiva sotto il battiscopa*

b) realizzazione di una fuga di un paio di millimetri tra battiscopa e pavimento, che dovrà essere sigillata con sigillanti flessibili, come ad esempio i siliconi.

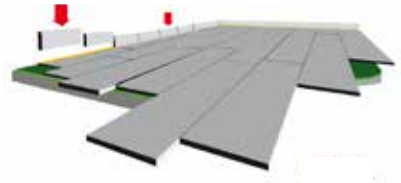


Immagine 14 - *Posa del battiscopa*

Posa del materassino "a secco"

Si applica prevalentemente in presenza di pavimentazioni in legno. Questa soluzione è usata nel caso di restauro senza demolizione dei massetti o per aumentare la prestazione di solai già isolati con il massetto flottante dove si vuole una finitura in legno. Il materassino resiliente con funzione smorzante viene posizionato sopra il massetto (o una pavimentazione esistente) e viene ricoperto con un parquet prefinito o una pavimentazione sintetica.

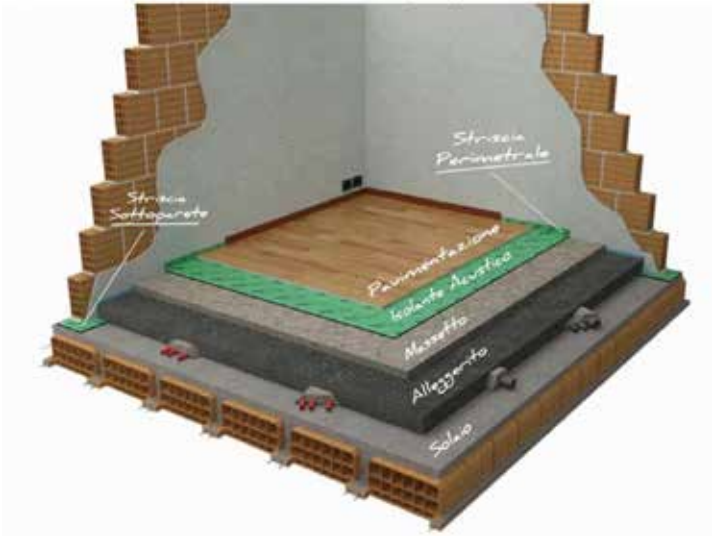


Immagine 15 - *Stratigrafia di un solaio in laterocemento con applicazione dell'isolante acustico sotto parquet*

Il massetto può essere di tipo tradizionale in sabbia e cemento, o autolivellante. Particolare attenzione deve essere posta alla scabrosità superficiale ad avvenuta essiccazione. La superficie deve presentarsi liscia.

Il materassino viene semplicemente appoggiato con soluzione di continuità al fondo (da qui la tecnica "a secco"), ovvero senza l'ausilio di colle.
Infine, la pavimentazione realizzata in parquet prefinito (o in materiale sintetico), può essere posata a secco o con leganti elastici; l'effetto smorzante può essere ridotto dalla colla.

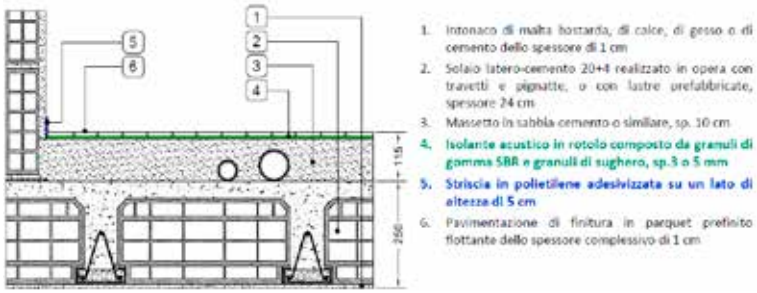


Immagine 16 - *Particolare costruttivo relativo all'applicazione dell'isolante acustico sotto parquet*

Per le fasi di posa in opera è necessario procedere per prima cosa con l'applicazione della bandella perimetrale verticalmente adesiva su tutto il perimetro. Una volta tagliate a misura le strisce di gomma SBR da applicare, stendere direttamente il materassino, nastrando le giunzioni dei rotoli, e posarli sopra a secco le tavole di parquet.

1.1.2 - Manuale di posa di prodotti anticalpestio in solaio sopra gli impianti (massetto galleggiante)

Le strutture bistrato con massetto galleggiante rappresentano la tecnologia costruttiva più affidabile in termini di isolamento da calpestio. Esse permettono, infatti, di escludere dal massetto galleggiante le tubazioni impiantistiche, che, passando tra locali adiacenti, possono costituire un ponte acustico per la trasmissione del rumore. Gli impianti vengono posati all'estradosso del solaio strutturale, idoneamente fasciati con materiale resiliente e quindi annegati nel getto di calcestruzzo alleggerito, che ha la duplice funzione di aumentare la massa della struttura e di livellare il sottofondo preparandolo per la posa del materassino anticalpestio. Dopo aver posizionato e sigillato adeguatamente il materiale resiliente e la fascia perimetrale, realizzando una perfetta "vasca" a tenuta, si procederà con il getto del massetto di supporto alla pavimentazione, di adeguato spessore, e quindi con la successiva posa della pavimentazione. Solo allora sarà possibile rifilare la fascia perimetrale e, in caso di battiscopa ceramico, posizionare la fascia battiscopa

per poi realizzare lo zoccolino. Nel caso vi sia un impianto di riscaldamento a pavimento, il materiale isolante al calpestio viene posato al di sotto dell'isolante termico del sistema radiante. È consigliabile adottare soluzioni radianti classiche con massetto spessore non inferiore a 5 cm al fine di sfruttare la massa superficiale per innescare l'effetto "massa-molla-massa". A tal proposito, pertanto, sono sconsigliabili soluzioni radianti sottili a secco, in quanto ridurrebbero abbondantemente l'effetto smorzante dell'isolante acustico.

Per venire in aiuto ai responsabili di cantiere e agli operatori che si trovino a posare un tappetino acustico, è stata recentemente pubblicata la nuova norma UNI 11516, dal titolo "Indicazioni di posa in opera dei sistemi di pavimentazione galleggiante per l'isolamento acustico", che fornisce utili indicazioni per tutte le fasi della realizzazione del massetto galleggiante.

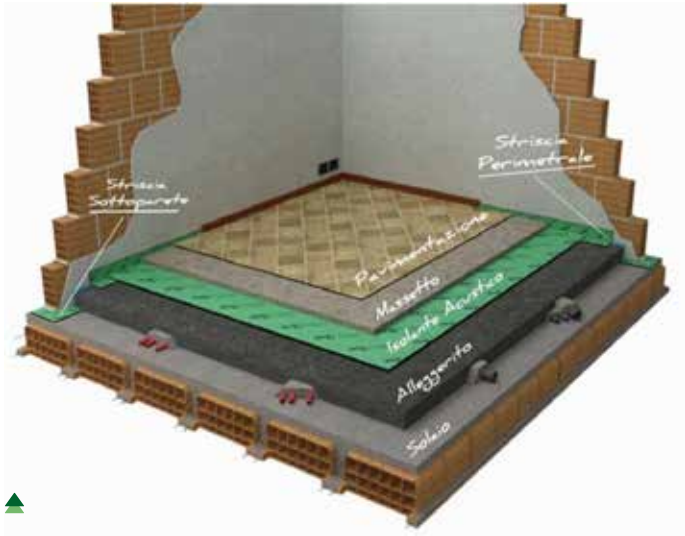


Immagine 17 - *Stratigrafia di un solaio in laterocemento con applicazione dell'isolante acustico sopra il massetto porta impianti*

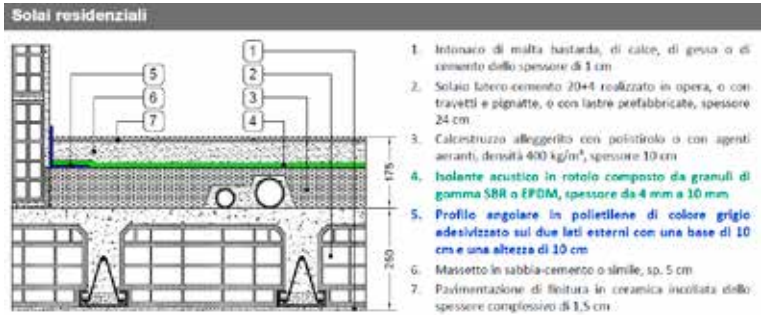


Immagine 18 - *Particolare costruttivo relativo ad una soluzione bistrato*

Preparazione delle superfici alla posa

Per prima cosa vengono realizzate sulla cappa del solaio le partizioni verticali interne, interponendo una banda di disaccoppiamento tra solaio strutturale e parete. Dopo aver posato gli impianti tecnici, viene realizzato il massetto porta impianti cercando di creare una superficie piana continua o comunque con cambi di pendenza tali da permettere al materassino di mantenere l'adesione alla stessa. A completa essiccazione, la superficie deve essere pulita e priva di ogni eventuale detrito residuo derivante da fasi di lavorazione precedenti.
La rugosità della superficie deve presentare un'altezza massima di profilo pari alla metà dello spessore proprio del materassino (la rugosità verrà in questo caso "incorporata" dal materassino). Lo strato su cui viene posato il materassino acustico deve essere tale da non presentare fessurazioni o cedimenti localizzati che compromettano il corretto funzionamento del materassino.

Immagine 19 - *Verifica della superficie di posa*

N.B. Nel caso si utilizzino calcestruzzi alleggeriti, sarà necessario considerare la loro resistenza a compressione in funzione del peso al metro quadrato del massetto galleggiante, per evitare possibili cedimenti del sistema galleggiante.

Fasi di posa in opera

Una volta realizzato il massetto porta impianti e verificata l'idoneità della superficie, si procede con l'applicazione della fascia perimetrale, sagomata ad "L" di altezza adeguata a far sì che la fascia sporga sino a sopra il livello del pavimento finito.
In presenza di pilastri, lesene, porte ed altre discontinuità localizzate lungo il perimetro dei locali, la fascia perimetrale andrà modellata senza interruzione. Per facilitare questo compito sono a disposizione degli accessori specifici da usare in concomitanza degli angoli chiusi (concavi) o degli spigoli (angoli aperti o convessi).

Immagine 21 - *Profili angolari della fascia perimetrale*

Immagine 20 - *Profilo angolare concavo (a destra) e convesso (a sinistra) della fascia perimetrale*

Nel sistema tipo massetto galleggiante, ai fini di una corretta installazione, è possibile applicare una doppia fascia perimetrale: prima quella che desolidarizza il massetto porta impianti dalla parete in modo da impedire il contatto rigido con il tramezzo e poi, una volta realizzato il massetto porta impianti, quella che distacca dalla parete il massetto di allettamento.
È comunque necessario sormontare e nastrare il congiungimento fra due fasce e, là dove gli impianti attraversano le partizioni verticali, porre particolare attenzione a ripristinare la banda di isolamento perimetrale, rivestendo con materiale resiliente le tubazioni nel tratto di attraversamento da massetto a parete.

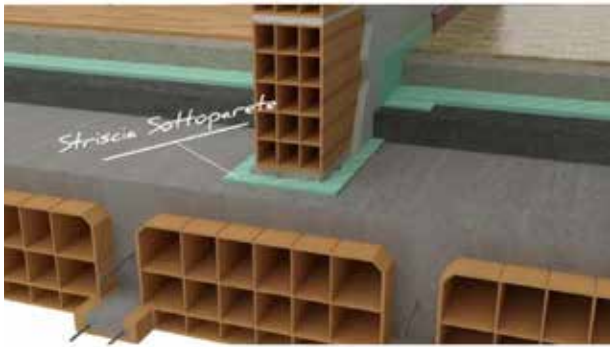


Immagine 22 - *Doppia fascia perimetrale*

Un errore da evitare durante l'installazione è quello di lasciare dell'aria al di sotto della fascia per scarsa accuratezza nella posa, creando dei distacchi delle fasce perimetrali dal muro. Se la fascia non è ben aderente al piede della parete, lascia dei vuoti che potrebbero essere riempiti da materiale cementizio, causando a posteriori una rottura del pavimento per insufficiente spessore e inconsistenza del massetto in quei punti.
Per non compromettere l'isolamento acustico del massetto galleggiante occorre porre molta attenzione nella posa della fascia perimetrale in corrispondenza delle soglie delle porte e delle porte finestre. Anche in tali punti il materiale resiliente dovrà garantire

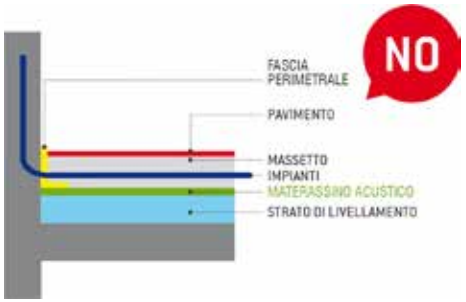


Immagine 23 - *Errori di posa della fascia perimetrale*

la completa desolidarizzazione tra massetto cementizio ed elementi strutturali.

È bene prevedere un giunto e una sigillatura elastica ogni 4-6 m da posizionare preferibilmente in corrispondenza delle soglie. Un eventuale giunto rigido di malta fra soglia e pavimentazione potrebbe causare un ponte acustico.

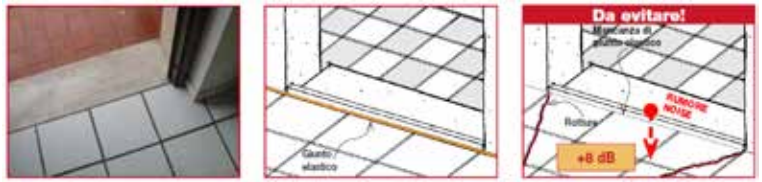


Immagine 24 - *Giunto e sigillatura elastica della soglia di una porta di ingresso*

Immagine 25 - *Posa del materassino resiliente sopra il massetto porta impianti*

Nelle zone continue del pavimento, a seconda del tipo di pavimento, della sua dimensione o della composizione della struttura portante, i giunti di dilatazione normalmente previsti fanno riferimento alla soluzione b nei seguenti schemi.

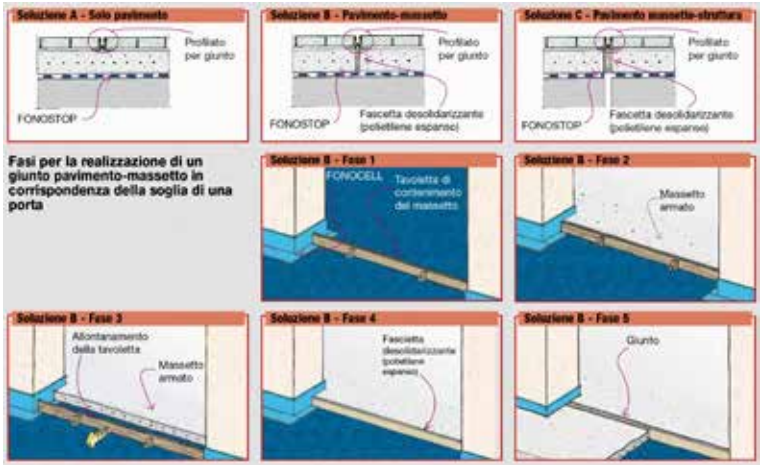


Immagine 26 - *Applicazione e fasi realizzative del giunto elastico in corrispondenza della soglia della porta*

La posa del materassino deve essere effettuata in maniera continua su tutta la superficie su cui graverà il massetto cementizio galleggiante, avvicinandosi più possibile alle pareti e, più in generale, sino al piede di ogni elemento verticale di contorno.
Il materiale isolante da utilizzare deve essere scelto adeguatamente in base alle esigenze di isolamento al calpestio, esigenze dipendenti sia dalle caratteristiche di elasticità del materiale resiliente sia dai carichi ai quali è sottoposto il pavimento. Il raggiungimento del requisito acustico passivo è garantito, infatti, dal corretto funzionamento dell'intero sistema a "massetto

galleggiante" e non dal solo materiale per l'isolamento acustico.
In base al tipo e al peso del solaio posto in opera, del massetto e del pavimento previsti, si potrà orientare la scelta su materiali resilienti che possano garantire un adeguato isolamento acustico al calpestio nel lungo periodo. Le grandezze fisiche su cui basarsi nella scelta sono due:

- la *rigidità dinamica* (MN/m^3), che descrive la capacità di deformazione elastica di un prodotto isolante anticalpestio soggetto ad una sollecitazione di tipo dinamico;
- lo *scorrimento viscoso a compressione* (*creep*) che permette di valutare la capacità di un materiale resiliente di conservare le sue proprietà elastiche sotto un carico costante nel tempo.

Una volta considerati tutti gli accorgimenti sopra descritti, viene incollata la cimosa adesiva aiutandosi con le linee di sormonto per almeno 10 cm e sigillando le congiunzioni tra i materassini mediante sovrapposizione delle cimose dei bordi dei rotoli (immagine 27).

Immagine 27 - *Incollaggio della cimosa e sovrapposizione dei bordi*

In mancanza della cimosa adesiva, è opportuno sigillare le giunzioni con apposito nastro adesivo per gomma SBR (immagine 28), per non rischiare il formarsi di ponti acustici tra solaio e massetto (per questo aspetto si vedano le schede di approfondimento riportate in *Appendice*).

Immagine 28 - *Apposito nastro adesivo per gomma SBR da PFU*

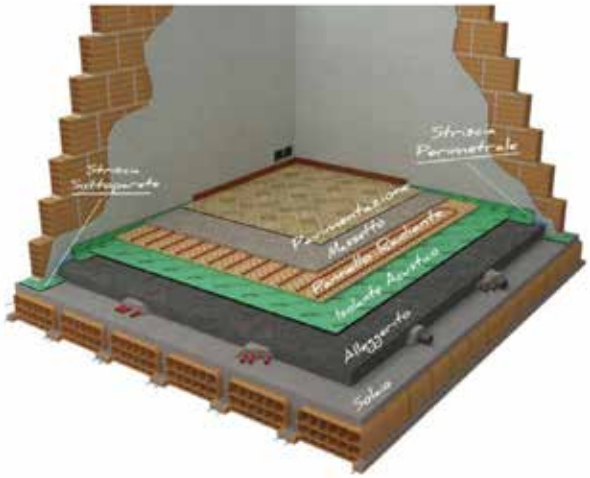
Una volta steso in opera, il materale elastico dovrà costituire uno strato continuo ed integro che possa realizzare una perfetta vasca "a tenuta" in cui il massetto possa "galleggiare" senza essere vincolato rigidamente alle strutture circostanti.
Nei casi in cui i materassini per l'isolamento acustico siano accoppiati con materiali diversi (fibrosi o porosi), nella scheda tecnica e sul catalogo tecnico sarà indicato specificamente il lato di posa.
In fase di posa dei rotoli è indispensabile mantenere il verso indicato, 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.

Oltre a verificare che il materassino sia posato correttamente, occorre che il materiale non si impregni di malta durante il getto dei massetti umidi. Per questo motivo si consiglia di applicare un film impermeabilizzante in polietilene protettivo di uno spessore tale da garantire la protezione meccanica del materassino durante le manovre di posa del massetto cementizio sovrastante (spessore consigliato > 80 μm). La funzione di tale pellicola è quella di impedire la penetrazione del getto di calcestruzzo nella struttura alveolare del materiale elastico, pena la perdita delle relative prestazioni. Anche il film protettivo deve essere posato in maniera

Immagine 29 - *Posa di film impermeabilizzante a protezione del materassino resiliente*

continua sopra tutta l'estensione del materassino ed avere le giunture sigillate in maniera continua con nastro adesivo idoneo.
Nel caso di un impianto di riscaldamento a pavimento (immagini 30 e 31) viene posato l'isolante termico del sistema radiante al di sopra del materassino resiliente. L'isolante acustico deve essere collegato alla banda di isolamento perimetrale del sistema radiante in modo da evitare che durante la posa del massetto ci siano colature di materiale che possano entrare a contatto con gli elementi massivi.

Immagine 30 - *Stratigrafia del solaio in laterocemento con applicazione dell'isolante acustico sopra il massetto di allettamento degli impianti, in presenza di riscaldamento a pavimento*



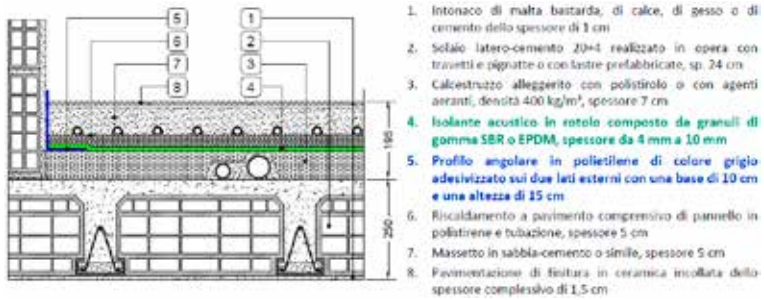


Immagine 31 - *Particolare costruttivo relativo all'applicazione dell'isolante acustico sopra massetto porta impianti in presenza di riscaldamento a pavimento*

Si passa quindi alla posa del massetto galleggiante. In generale, le caratteristiche prestazionali del massetto devono assicurare una buona resistenza meccanica alla flessione, al fine per controbilanciare le deformazioni del materiale resiliente sottostante, eventualmente aggiungendo una rete elettrosaldata e comunque seguendo sempre le indicazioni del produttore. Inoltre, al fine di ottenere l'effetto "massa-molla-massa" occorre che il massetto abbia un idoneo peso specifico.
Per la corretta realizzazione di un massetto di tipo tradizionale sabbia-cemento occorre far riferimento alla tabella 1.

Tabella 1 - *Spessore corretto del massetto tradizionale ed armato in base allo spessore dello strato isolante*

Spessore dello strato isolante *Thickness of insulation layer*	**Spessore del massetto tradizionale** *Thickness of the floating screed without mesh*	**Spessore del massetto armato** *Thickness of the floating screed with mesh*
Fino a 5 mm / *Up to 5 mm*	≥ 5 cm	≥ 5 cm
Tra 5 e 10 mm / *From 5 to 10 mm*	≥ 6 cm	≥ 5 cm
Tra 10 e 20 mm / *From 10 to 20 mm*	≥ 7 cm	≥ 6 cm

Maggiori spessori e maggiori carichi migliorano le caratteristiche dell'isolamento al calpestio. Il massetto deve comunque essere posato in maniera continua, nel verso di sovrapposizione dei teli e deve presentare delle caratteristiche meccaniche, in funzione dei carichi e del suo spessore, atte a garantirne la stabilità.

Immagine 32 - *Posa in opera del massetto galleggiante*

Altrettanta attenzione va posta nel non inserire il prodotto del massetto nelle zone in cui la fascia si fosse staccata dalla parete (ai lati e negli angoli delle pareti).
Il collegamento tra materiale a pavimento e materiale in verticale non dovrà presentare discontinuità (immagine 33).
Per fare ciò può essere adottato uno o più dei seguenti accorgimenti:

- collegare i due elementi con nastro adesivo;
- utilizzare strisce adesive di materiale resiliente;
- risvoltare l'eventuale foglio di polietilene;
- risvoltare in verticale parte del materiale a pavimento.

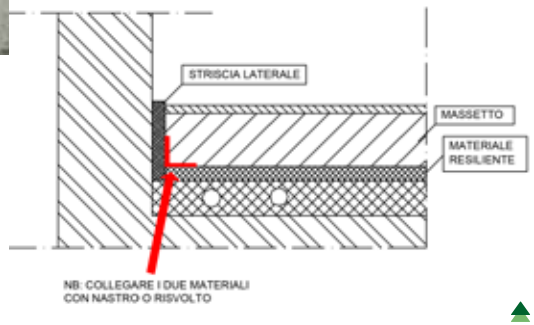


Immagine 33 - *Collegamento tra materiale anticalpestio e fascia perimetrale*

Il massetto viene costipato in tutto il suo spessore, staggiato e frattazzato a regola d'arte. Al suo interno non vi deve essere nessuna forma di collegamento al solaio o alle pareti dovut al passaggio degli impianti (immagine 34).

Immagine 34 - *Corretta posa in opera degli impianti in funzione del massetto galleggiante*

Durante il getto del massetto bisogna prestare particolare cura a non lacerare o forare il materiale elastico. Per ridurre questo rischio si consiglia di scegliere materassini dotati di un tessuto superficiale che non irrigidisce il prodotto ma consente una più elevata resistenza all'abrasione.
Particolare attenzione deve essere posta alla fase di stagionatura, al fine di non comprometterne la consistenza e la compattezza a causa di fenomeni di *bleeding*, asciugature differenziali, cavillature o crepe per eccessivo ritiro termo-igrometrico. Eventuali crepe possono essere riempite con materiali idonei a base di resine epossidiche. Una volta realizzato il massetto, dopo la sua stagionatura, viene steso lo strato di colla e posata la pavimentazione.

Immagine 35 - *Posa in opera della pavimentazione, fuga e conseguente pulizia delle piastrelle*

Quando la sigillatura è completata ed asciutta, viene rifilata e rimossa la parte in eccesso della bandella a livello della pavimentazione e pulita la superficie della pavimentazione. L'eccedenza del materiale isolante deve essere rifilata solo dopo la posa e la stuccatura del pavimento; se infatti tale operazione viene effettuata prima, il contatto diretto del pavimento con le pareti crea dei giunti rigidi tra la pavimentazione e le pareti, provocando una perdita di isolamento. Il pavimento andrà dunque posato a contatto

Immagine 36 - *Rifilatura della fascia perimetrale*

con la fascia perimetrale, in modo da garantire il funzionamento elastico del sistema.
Il battiscopa deve essere posato una volta terminati tutti i passaggi precedenti, in aggancio esclusivamente alla parete o al rivestimento della stessa, distanziato di un paio di millimetri dal pavimento, indipendentemente dal tipo di materiale scelto.
Un eventuale contatto del battiscopa con il pavimento potrebbe danneggiare la riuscita dell'isolamento acustico nelle misure di 3÷4 dB nel caso in cui il battiscopa fosse realizzato in legno, e di oltre 10 dB nel caso di contatto tra pavimento e battiscopa ceramico o nel caso di contatto tra pavimento e parete semplicemente maltati tra loro senza la presenza di battiscopa (immagini 37 e 38).

Immagine 37 - *Posa del battiscopa con cunei distanziatori staccato dalla pavimentazione*

Dopo aver posato il battiscopa o il rivestimento ceramico staccato dalla pavimentazione, vengono riportate in immagine 38 tre possibili modalità di collegamento elastico del battiscopa in grado di mantenere svincolato il galleggiamento del massetto: cunei distanziatori, bandella adesiva distanziatrice, profilo distanziatore.

Immagine 38 - *Desolidarizzazione e sigillatura elastica del battiscopa e del rivestimento ceramico*

In alternativa è possibile disporre un cordolo di sigillatura elastico (silicone).
Anche in questa ultima fase è da evitare la creazione di contatti rigidi con il pavimento, che potrebbe causare un ponte acustico penalizzante ai fini dell'isolamento.

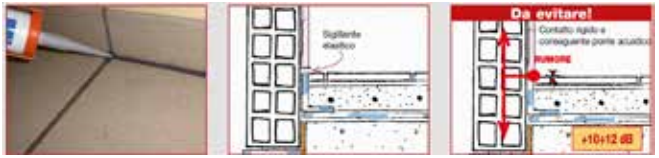


Immagine 39 - *Posa in opera del cordolo di sigillatura elastico*

Sono disponibili inoltre degli specifici giunti elastici da pavimento, che permettono di garantire la desolidarizzazione del battiscopa dalla ceramica. Realizzati con uno specifico materiale plastico, non necessitano di nessun tipo di legante tra pavimento e battiscopa e garantiscono un ottimo risultato estetico, grande facilità di posa e la riduzione pressoché assoluta del ponte acustico.

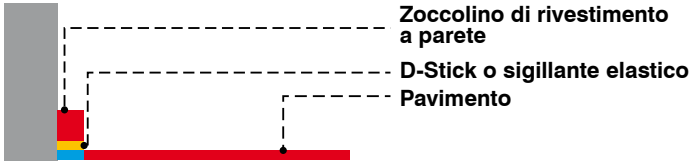


Immagine 40 - *Applicazione di un sigillante elastico (in giallo) da interporre tra pavimento e battiscopa*

1.1.3 - Manuale di posa di prodotti anticalpestio in solaio sotto massetto porta impianti (platea galleggiante)

Qualora non sia possibile procedere alla realizzazione di un sottofondo bistrato per le ragioni già esposte, è comunque possibile creare il massetto galleggiante con soluzione monostrato. In questo caso il materiale resiliente viene posato direttamente sulla cappa in calcestruzzo armato del solaio strutturale (immagine 41).

Immagine 41 - *Particolare costruttivo soluzione monostrato*

Questo tipo di soluzione presenta alcune criticità che derivano principalmente dal passaggio degli impianti tra il massetto e le pareti.

Preparazione di superfici alla posa

Nel caso in cui le tubazioni impiantistiche siano contenute nel massetto, il materiale anticalpestio va posizionato prima della posa degli impianti stessi, e devono essere prese precauzioni particolari per le operazioni successive. La posa degli impianti sottopone, infatti, il materassino a numerosi rischi di lacerazione, dovuti alle molteplici lavorazioni che avvengono durante e dopo la posa dello stesso (cfr. "*Massetto di allettamento degli impianti*").
Là dove gli impianti attraversano le partizioni verticali, verrà inevitabilmente forata la banda di isolamento verticale o il risvolto verticale del materiale resiliente, andando a creare un possibile ponte acustico.
Per evitare che il materassino venga graffiato o lacerato sono presenti sul mercato dei materassini costituiti da materiali accoppiati ricoperti da un tessuto-non tessuto antilacerazione, che aumenta la resistenza superficiale del materassino riducendo il rischio di strappi del tappetino e di conseguenti ponti acustici.
Nel caso si decida comunque di adottare questa soluzione tecnologica per ridurre le problematiche è essenziale:

- non danneggiare il materiale resiliente durante le operazioni di posa successive;
- ripristinare la banda di isolamento perimetrale o il risvolto verticale del materiale resiliente in corrispondenza dei passaggi impiantistici;
- rivestire con materiale resiliente le tubazioni nel tratto di attraversamento da massetto a parete.

Fasi di posa in opera

Di seguito vengono riportate indicazioni di posa per la soluzione tecnologica nella quale lo strato di supporto del materiale resiliente è il solaio portante. Sul solaio grezzo, dopo aver eseguito le pareti perimetrali, prima delle pareti interne, e prima di installare gli impianti idraulici ed elettrici occorre innanzitutto pulire la superficie da isolare, rimuovendo eventuali asperità presenti.
Successivamente si procede a:

- stendere il materassino resiliente a totale rivestimento delle superfici orizzontali e verticali, accostando i lembi dei materassini

posati mediante sovrapposizione delle cimose dei bordi dei rotoli e sigillando le giunzioni con apposito nastro;

- realizzare le partizioni verticali interne (pareti) collocandole direttamente al di sopra del materiale resiliente;
- distaccare completamente le partizioni verticali perimetrali dal solaio tramite risvolti con fascia perimetrale;
- installare gli impianti idraulici ed elettrici direttamente sopra il pannello elastico, possibilmente mediante "calettatura" con sabbia-cemento;
- realizzare il massetto porta impianti;
- posare il rivestimento di finitura a secco o mediante incollaggio;
- rifilare la bandella perimetrale in eccesso;
- procedere alla posa e successiva desolidarizzazione del battiscopa, riempiendola con sigillante elastico.

1.1.4 - Rivestimento delle tubazioni degli impianti con getto di gomma colata

I materassini venduti in pannelli o rotoli presentano diversi problemi nell'applicazione su superfici curve e irregolari.
Per ovviare a tale problema è possibile applicare un rivestimento con getto colato di granuli di gomma ottenuta dal recupero mediante frantumazione di Pneumatici Fuori Uso ed un legante a base di polimeri nobili in dispersione acquosa.
Il composto gomma-polimero viene fornito imballato su fusti, premiscelato e pronto all'uso.
Grazie alla sua consistenza granulare sfusa può essere applicato a diretto contatto con superfici curve e irregolari, come per esempio nel rivestimento delle tubazioni di impianto (immagine 42). Tale tipologia di rivestimento consente la realizzazione di una superficie di appoggio ad alto smorzamento.
Questo tipo di soluzione permette di ottenere una superficie di materiale resiliente integra , migliore rispetto alla soluzione con materassino isolante posato sotto tubi che è soggetto a possibili rotture durante la posa degli impianti.

Immagine 42 - *Getto in gomma colata per isolamento dalle vibrazioni degli impianti*

Fasi di posa in opera

Per la posa in opera del composto è necessario procedere come segue:

- aprire le confezioni e distribuire il composto sulla superficie da isolare avendo cura di creare uno spessore minimo di 10 mm;
- utilizzare una spatola inumidita per compattare leggermente il materiale distribuito;
- lasciar asciugare il composto per almeno 24 ore;
- posizionare un film di protezione in polietilene o similari e procedere quindi alla realizzazione del massetto di posa della pavimentazione.

1.1.5 - Accorgimenti costruttivi per risolvere le criticità nei locali adibiti alla preparazione dei cibi e nei bagni

Gli ambienti come i locali adibiti alla preparazione dei cibi (es. angoli cottura di abitazioni, cucine di ristoranti, ecc.) e i bagni sono generalmente soggetti a rivestimento delle pareti mediante piastrelle ceramiche. Tali rivestimenti devono essere correttamente posati in opera, onde evitare ponti acustici che comprometterebbero l'intero funzionamento del sistema scelto.
Il contatto rigido del rivestimento dell'angolo cottura connesso con il pavimento, senza quindi l'utilizzo del battiscopa, può comportare penalizzazioni sull'indice $L'_{n,w}$ che possono superare 10 dB, e che dipendono dall'estensione della superficie del contatto.

Immagine 43 - *Contatto rigido tra piastrelle del solaio e della parete*

L'isolamento acustico dai rumori di calpestio dei bagni deve essere eseguito in accordo a quanto detto per tutti gli altri ambienti, andando cioè a creare un massetto galleggiante; il massetto in oggetto viene quindi mantenuto distaccato

mediante una fascia perimetrale autoadesiva, da qualunque tubazione in affioramento dal solaio e dai piatti doccia o vasche presenti al momento della posa degli isolanti.

Immagine 44 - *Distacco del massetto galleggiante dall'impiantistica presente nei bagni*

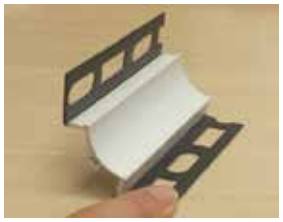


Immagine 45 - *Bandella smussata per facilitare la pulizia del punto di contatto parete-solaio*

In ambienti quali cucine e bagni di locali che devono avere adeguate caratteristiche igienico-sanitarie, particolare attenzione deve essere rivolta alla forma dei profili di raccordo pavimento/rivestimento parete: ai fini di una maggior igiene dell'ambiente interno, è consigliabile inserire delle bandelle o dei profili distanziatori smussati per facilitare la pulizia dei bordi e degli angoli (immagine 45).

1.2 - Applicazione su solai in legno

Nelle costruzioni, il legno può essere impiegato in diversi modi; in particolare, tra questi ricordiamo:

- legno massiccio;
- legno lamellare (assemblato di semilavorati in legno di sezione rettangolare a lamelle, collegati tra loro con colle);
- prodotti a base di legno (pannelli in basso spessore: panelli a scaglie osb, particellare o compensati) che hanno una funzione importante nel costituire gli orizzontamenti dei solai e nel controventare gli elementi verticali.

Tecnologie costruttive del legno in edilizia

Volendo procedere ad una prima classificazione all'interno del panorama delle tipologie costruttive che sfruttano il legno, possiamo effettuare una prima suddivisione in:

- Sistemi massicci, quali "Blockhaus/Log House" e "X-Lam".
- Sistemi leggeri, quali strutture a telaio, strutture a pareti intelaiate "Post and Beam", "Platform frame".

Le profonde differenze delle moderne tecnologie costruttive in legno rispetto a quelle tradizionali impongono una particolare attenzione sia in fase di progettazione che in fase di posa in opera. In particolare, l'elevato grado di prefabbricazione rende necessaria una progettazione acustica dell'edificio integrata a diversi livelli (progetto architettonico e impianto distributivo dell'edificio, progettazione esecutiva di dettagli tecnologici e scelta dei materiali, progetto strutturale e degli impianti) sin dalla sua concezione, al fine di ottenere un ottimale comfort acustico. Problemi di isolamento acustico sono difficilmente risolvibili o rimediabili a posteriori e sono spesso riconducibili a errori di progettazione e/o esecuzione in opera
Nel prosieguo del capitolo verranno esaminati i sistemi costruttivi più comunemente utilizzati e cioè l'"X-Lam" e il "Platform Frame".

Acustica delle strutture in legno

I fenomeni che regolano la trasmissione del rumore all'interno di strutture leggere e disomogenee, come quelle lignee, sono difficilmente riconducibili a modelli di calcolo in grado di rappresentare sia la propagazione del rumore all'interno degli ambienti, sia la trasmissione del rumore attraverso la struttura dell'edificio, a causa della ridotta massa superficiale, della risonanza fra i paramenti relativamente leggeri e dei significativi ponti acustici.

Un supporto importante in fase di progetto può essere trovato nelle schede tecniche e nei certificati di prova eseguiti in laboratorio dai produttori di materiali isolanti o di sistemi costruttivi.
Per migliorare ulteriormente le prestazioni si consiglia di prevedere nella stratigrafia l'utilizzo di materiali resilienti a basso spessore ed elevata massa, come i prodotti in gomma. Questi sistemi si rivelano particolarmente importanti proprio per l'isolamento ai rumori aerei e di calpestio di solai leggeri, dove danno un contributo maggiore rispetto ad altri materiali.
All'interno del capitolo vengono analizzati i seguenti sistemi costruttivi:

- solai in legno con massetto flottante;
- solai massicci a pannelli di tavole incrociate "x-lam";
- solai leggeri "platform frame".

1.2.1 - Solai in legno con massetto flottante

Una delle tendenze attuali riguarda la realizzazione di solai in legno con funzione strutturale abbinati al calcestruzzo. In queste situazioni si può ricorrere all'uso del massetto flottante.

Fasi di posa in opera

Le principali modalità di completamento degli elementi orizzontali sono: "a umido", ovvero con sottofondo e massetto cementizio eseguiti in modo tradizionale, o "a secco".
In entrambi i casi, per incrementare la capacità portante del solaio viene realizzata una soletta in C.A. collaborante, la cui presenza incrementa la massa, migliorando la prestazione acustica.
Analogamente ai solai misti e con le stesse modalità di posa in opera già descritte ai paragrafi precedenti, viene posizionata al di sotto di ogni parete, divisoria o di separazione interna, una striscia sotto-parete; a completamento degli impianti termoidraulici ed elettrici viene realizzato uno strato di livellamento con calcestruzzi alleggeriti in pasta o con massetti tradizionali.
Infine, anche in questo caso, per costruire un sistema galleggiante efficiente è necessario scollegare il massetto dalle pareti mediante strisce perimetrali.

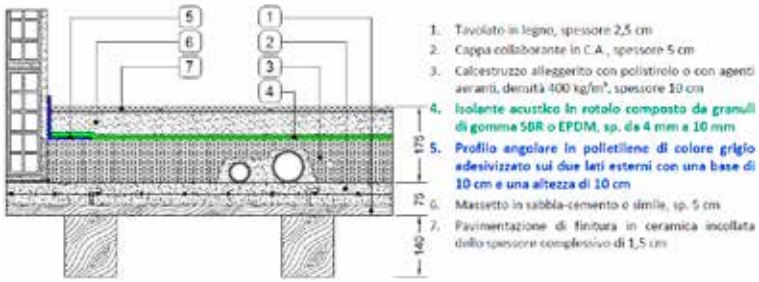


Immagine 46 - *Solaio in legno con sottofondo e massetto cementizio eseguiti "a umido"*

In Immagine 47 è illustrata la stratigrafia di un solaio portante in legno con sottofondo e massetto cementizio eseguiti ad umido.

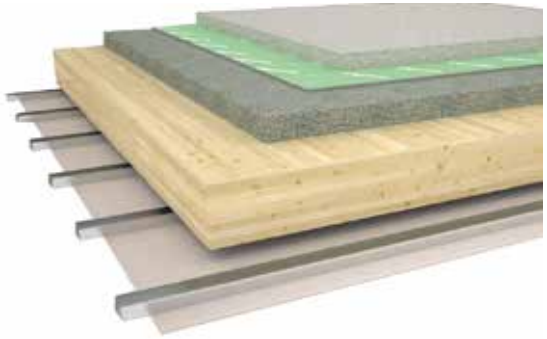


Immagine 47 - *Solaio in legno strutturale completo di controsoffitto composto da: massetto porta impianti, materassino acustico e massetto alleggerito*

Nel caso di massetto a secco, nell'immagine 48 si riporta la stratigrafia tipo utilizzata per le applicazioni a secco.

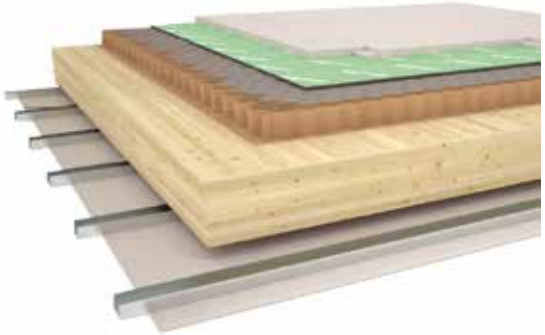


Immagine 48 - *Solaio con massetto a secco formato da: struttura portante in legno, riempimento granulare pesante, materassino acustico. E' presente anche un controsoffitto formato da lastra in gessofibra, con intercapedine d'aria*

1.2.2 - Solai massicci a pannelli di tavole incrociate: "X-Lam"

Le strutture in legno massiccio a strati incrociati "X-Lam" (Cross Laminated Timber) hanno avuto enorme successo durante l'ultimo decennio e sono ad oggi la tecnica costruttiva in legno maggiormente usata in Europa grazie alla sua notevole flessibilità, velocità ed economicità. Si tratta di una tecnologia costruttiva caratterizzata da un elevato livello di industrializzazione fuori opera e da un assemblaggio veloce degli elementi prefabbricati in opera.
Tale sistema è basato sull'utilizzo di pannelli lamellari di legno massiccio di spessore variabile realizzati incollando un numero dispari di strati (solitamente 3, 5 o 7) incrociati di tavole di legno di spessore piuttosto contenuto (solitamente da 15 a 40 mm) disposti perpendicolarmente e connessi tra loro tramite "giunti a dita", in modo da formare una struttura autoportante. I pannelli in "X-Lam" vengono tagliati a seconda delle esigenze architettoniche e collegati tra loro in opera con angolari metallici, chiodi a rilievi tronco conici e viti autoforanti.

Immagine 49 - *Solaio con soluzione "tutto legno" formato da struttura X-Lam, calcestruzzo alleggerito, materassino acustico e massetto flottante*

Per l'isolamento acustico dei solai, le variabili costruttive sono molteplici: si passa dall'isolamento con la tradizionale tecnica del massetto galleggiante dotato di cappa collaborante (massetti umidi), fino a solai completamente "a secco", cioè con una stratigrafia priva di qualsivoglia elemento cementizio, per finire con soluzioni miste e valutate in base alle esigenze economiche e statiche del caso.

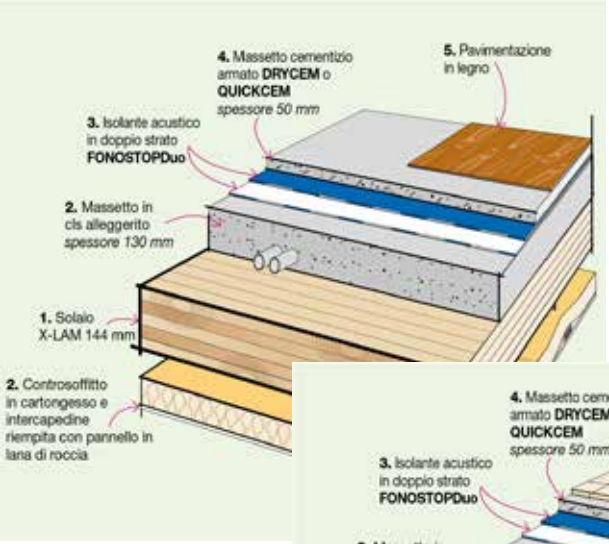


Immagine 50 - *Soluzione solaio in pannelli "X-Lam" a secco*

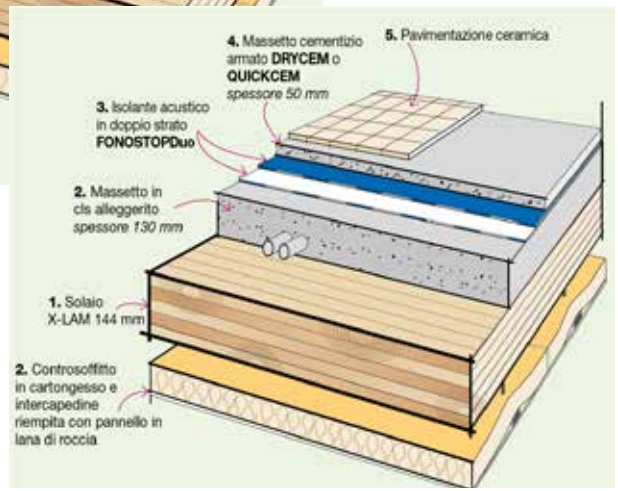


Immagine 51 - *Solaio in pannelli "X-Lam" a umido*

A seguire vengono indicate le rispettive fasi di posa in opera.

Soluzione "a secco"
Posare sul solaio grezzo, per tutta la sua superficie, l'isolamento a nido d'ape. Tramite le strisce in carta ai lati del pannello, realizzare una sovrapposizione sul lato della lunghezza.

Immagine 52 - *Posa dell'isolamento sul solaio grezzo*

Riempire con il granulare pesante le celle a nido d'ape. Portare a livello del riempimento granulare pesante le celle a nido d'ape con un regolo, in modo che si crei una superficie di posa completamente piana per le lastra di sottofondo.

Immagine 53 - *Riempimento delle celle con materiale granulare pesante*

Stendere l'isolante acustico con i granuli di gomma rivolti verso il basso (se il materiale è di tipo accoppiato).

Immagine 54 - *Stesura dell'isolante acustico*

Posare sopra l'isolante acustico le lastre per sottofondi.

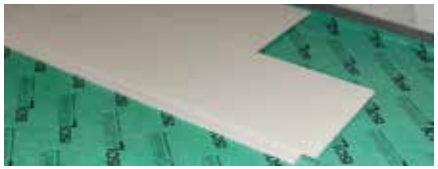


Immagine 55 - *Posa delle lastre*

Soluzione "a umido"
Realizzare il sottofondo con calcestruzzo alleggerito a contenimento degli impianti.

Immagine 56 - *Realizzazione del massetto porta impianti*

Stendere l'isolante acustico con i granuli di gomma rivolti verso il basso (se il materiale è di tipo accoppiato).

Immagine 57 - *Posa dell'isolante acustico*

Stendere un foglio di nylon.

Immagine 58 - *Stesura del nylon*

Realizzare il massetto di allettamento.

Immagine 59 - *Posa del massetto di allettamento*

Posare lo strato di colla e posare la pavimentazione desiderata.

Immagine 60 - *Posa della pavimentazione*

Inoltre è possibile intervenire anche su altri fattori per migliorare le prestazioni acustiche delle strutture in "X-Lam". Nello specifico, sfruttando la modularità del sistema costruttivo, è possibile limitare la trasmissione delle vibrazioni andando per esempio, durante l'esecuzione delle strutture, a scollegare con delle fascette desolidarizzanti i vari elementi costruttivi prima di fissare meccanicamente i vari elementi.

Immagine 61 - *Nodo solaio-pareti in una struttura "X-Lam"*

1.2.3 - Solai leggeri "Platform frame"

Il sistema costruttivo "Platform frame" è una metodologia di costruzione di strutture leggere in legno consolidata negli Stati Uniti e Paesi del Nord Europa.
La struttura portante è costituita da montanti verticali e orizzontali con giunti ad incastro ed interposto strato di isolante.
Lo stesso elemento di base, ovvero pannelli in legno con correnti e traversi a passo fitto e sezioni snelle rivestite con elementi strutturali, serve per definire tutte le componenti dell'edificio: pareti perimetrali, partizioni interne, solaio e coperture. Sistemi a montanti scatolari o a elementi i-joist rappresentano l'evoluzione di questo sistema.

Le fondazioni sono generalmente realizzate con platea in conglomerato cementizio armato oppure con piani interrati composti da setti in cemento armato. Il collegamento fra la struttura in legno e le fondazioni in cemento armato viene assicurato mediante opportune barre filettate in acciaio o tasselli a pressione.

Immagine 62 - *Schema strutturale del sistema "Platform frame"*

Immagine 63 - *Dettaglio della fase realizzativa*

Una corretta ed attenta scelta dei materiali e delle stratigrafie basata su dati sperimentali su solai analoghi, unita ad un'accorta esecuzione ed alla necessaria sperimentazione, porta a buoni risultati anche su strutture poco conosciute e potenzialmente difficili da isolare.

1.3 - Applicazione in pavimenti sopraelevati

La posa dei pavimenti sopraelevati risponde alle esigenze degli ambienti di lavoro (es. uffici), dove gli spazi sono soggetti a continue e rapide evoluzioni.
La realizzazione di un piano di calpestio rialzato rispetto al solaio strutturale permette, infatti, il posizionamento di uno strato di materiale elastico che rende la struttura desolidarizzata rispetto al piano di camminamento.
Anche nel caso di rumori determinati dalle vibrazioni provenienti dagli impianti, il pavimento sopraelevato, generando un'intercapedine accessibile fra il piano della soletta (o del pavimento esistente) e la faccia inferiore dei pannelli, forma un vano tecnico in cui possono essere alloggiati impianti di vario genere (elettrici, telefonici, idraulici, informatici e, soprattutto, climatici) opportunamente isolati con materiale antivibrante per il contenimento del rumore.

Elementi di base da considerare

Gli elementi che compongono un pavimento sopraelevato sono sostanzialmente due: la struttura di sopraelevazione in acciaio ed i pannelli modulari movibili che formano il piano di calpestio.
La struttura di sopraelevato, è l'elemento fondamentale di un pavimento sopraelevato in quanto ne determina l'altezza desiderata rispetto al piano su cui è appoggiata. È composta da due elementi:

- le colonnine che costituiscono l'elemento verticale regolabile in altezza per le varie esigenze. Sulla testa della colonnina sono posate le guarnizioni elastiche in materiali plastici antistatici o conduttivi. Queste, oltre a permettere un ottimale posizionamento dei pannelli grazie a degli appositi distanziatori, per le proprietà dei materiali, attenuano anche il rumore di calpestio;
- i traversi di collegamento, il cui scopo è quello di rafforzare il sistema in senso orizzontale. Generalmente sono in lamiera di acciaio zincato a caldo con aggancio ad incastro.

I pannelli modulari movibili costituiscono la parte a vista del pavimento sopraelevato, essendo nel contempo la parte che deve garantire i carichi di progetto, che determina le caratteristiche estetiche dell'ambiente dove viene installato, la facilità dell'eventuale movimento e riposizionamento.
Con riferimento all'anima del pannello, questa può essere in legno truciolare o in solfato di calcio.
La prima tipologia grazie alla leggerezza, il costo contenuto, la facile lavorazione, l'installazione semplice ed economica, unite alle buone caratteristiche tecniche, è quella maggiormente richiesta ed utilizzata dal mercato.
L'anima in solfato di calcio viene utilizzata nei casi dove sia richiesto un pavimento dalle elevate performance in termini di resistenza meccanica, resistenza al fuoco, isolamento termico, isolamento acustico e limitata igrosensibilità. È composta da uno strato monolitico di solfato di calcio anidro rinforzato con fibre cellulosiche riciclate, in classe 0 (classe A1 secondo la UNI EN 12825) di reazione al fuoco. La maggiore densità assicura prestazioni acustiche migliori sia nell'isolamento del rumore per via aerea che nella riduzione del rumore da calpestio. Può essere combinata con tutti i tipi di finitura superiore. Per tutte quelle installazioni dove i precedenti due tipi di pannelli possono incontrare limiti di applicazione o incompatibilità (elevato tasso di umidità relativa in ambiente, elevata resistenza ai carichi in uno spessore ridotto, soluzioni outdoor, ecc.) è possibile utilizzare soluzioni innovative realizzate in materiali sinterizzati aventi ridotto spessore e prestazioni elevate, a fronte di costi più elevati. La normativa EN 12825 "Pavimenti sopraelevati" stabilisce le linee guida relative alle principali caratteristiche di un pavimento sopraelevato, così come riportato nell'immagine 64.

Per quanto concerne la capacità di questa tipologia di sistemi, di attenuare il rumore di calpestio questa è legata ad un concetto di massa-molla su carichi concentrati ed è dipendente dalla massa superficiale dei pannelli di sostegno della finitura e dalla rigidità dinamica degli elementi elastici. I prodotti a base di gomma riciclata da PFU sono particolarmente indicati per tale applicazione, in ragione delle elevate caratteristiche di resistenza ai carichi concentrati.
La prestazione acustica certificata in laboratorio in termini di riduzione del rumore da calpestio, $\Delta L_{n,w}$ (dB), per alcuni sistemi attualmente presenti in commercio risulta fino a 35 dB.

"Il pavimento sopraelevato deve essere progettato e fabbricato in modo tale da offrire resistenza meccanica e stabilità e in modo che il carico che si prevede agisca su di esso durante il suo utilizzo non porti alla sua deformazione o cedimento" [1]
Secondo la suddetta norma, quando sottoposto alle procedure di prova il pavimento sopraelevato deve soddisfare due criteri relativamente al carico statico:
a) "prima di cedere, l'elemento deve avere resistito al carico massimo corrispondente alla sua classe, come indicato nel seguente prospetto" [2]

Classificazione secondo la norma UNI EN 12825, 4.1

Classe	Carico massimo*
Classe 1 - Utilizzo con carichi leggeri ed in ambienti con scarso traffico	≥ 4 KN
Classe 2 - Utilizzo con condizioni di trafico e carichi normali	≥ 6 KN
Classi 3 - 4 - Utilizzo in ambienti con elevate richieste di carichi statici: scuole, sale di conferenza, uffici tecnici, ambulatori, ecc.	≥ 8 KN / 9 KN
Classe 5 - Utilizzo in uffici con pavimenti sottoposti a carichi pesanti: biblioteche, pavimenti industriali per officine, magazzini, ecc.	≥ 10 KN
Classe 6 - Utilizzo con carichi speciali particolarmente gravosi	≥ 12 KN
**il carico massimo è espresso in KN (1 KN = 102 Kg)*	

b) "quando il carico applicato è equivalente al carico di esercizio, che è il carico massimo diviso per il fattore sicurezza, la flessione misurata non deve superare il valore dichiarato in conformità al prospetto" [2] delle Classi di flessione:

Classi di flessione secondo la norma UNI EN 12825, 4.2.2.

Classe	Massima flessione
A	≥ 2,5 KN
B	≥ 3,0 KN
C	≥ 4,0 KN

[1] Norma UNI EN 12825:2003, 4.2.1. - [2] Norma UNI EN 12825:2003, 4.2.2.

Immagine 64 - *Classi di carico e di flessione come dalla norma UNI EN 12825*

Qualora siano previste buone caratteristiche di isolamento ai rumori da calpestio, gli strati elastici generalmente presenti nelle pavimentazioni sopraelevate sono lo strato elastico in gomma sotto i piedini, il materassino sotto struttura collocato alla testa del piedino e le guarnizioni tra i pannelli della pavimentazione. Questa semplice soluzione rende maggiormente efficace il sistema, garantendo così il massimo comfort (immagine 65).

Immagine 65 - *Strato elastico in gomma sotto i piedini di pavimentazioni sopraelevate*

Un'altra indicazione ai fini del miglioramento acustico del sistema è quella di creare nell'intercapedine del pavimento sopraelevato delle compartimentazioni mediante gomma o altro materiale isolante. Il fissaggio alla soletta sottostante può avvenire mediante guida con sezione a U tassellata, mentre è possibile garantire un ancoraggio ai pannelli soprastanti mediante neoprene (immagine 66).

Di seguito si riportano le indicazioni generali a cui fare riferimento per l'installazione di una struttura a pavimento sopraelevato.

Preparazione delle superfici alla posa

Custodia dei materiali

I locali in cui dovrà essere installato ed immagazzinato il pavimento sopraelevato, immediatamente dopo lo scarico dei materiali, dovranno essere asciutti, a tenuta d'acqua, con serramenti completi di tamponamento. Ove l'immagazzinaggio in cantiere non possa avvenire direttamente nei locali di installazione, sarà opportuno utilizzare locali immediatamente contigui con caratteristiche termoigrometriche molto simili ai locali interessati.

Verifica delle superfici alla posa

Nel caso di nuove costruzioni, le opere murarie dovranno essere terminate da almeno 60 giorni e le opere di finitura a umido da almeno 30 giorni. La soletta di appoggio dovrà essere asciutta, liscia, pulita e assimilabile ad una superficie finita a frattazzo, o equivalente. In caso di soletta a getto, l'installazione dovrà essere preceduta da un sopralluogo di verifica diretto ad analizzare le condizioni di fattibilità della posa in opera. Il pavimento dovrà essere installato in locali asciutti, con temperatura compresa tra 5 e 35°C e tasso di umidità relativa tra 40% e 75%.

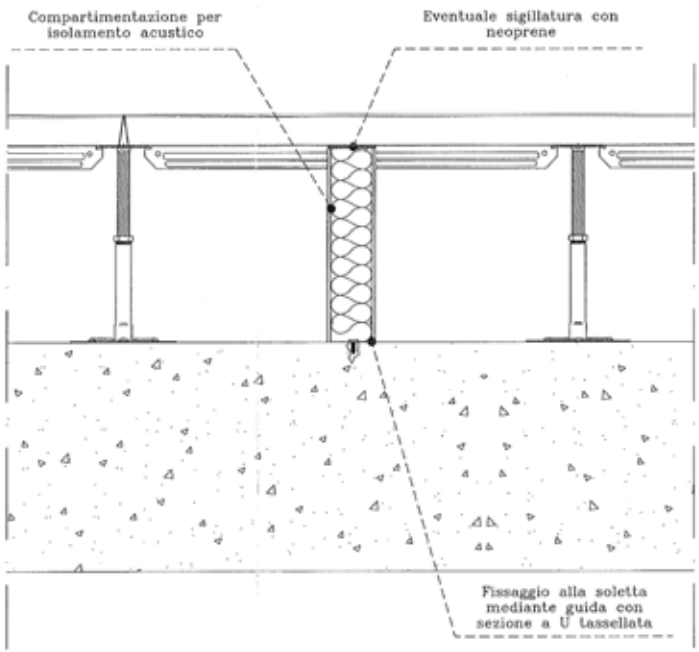


Immagine 66 - *Compartimentazione per isolamento acustico*

Dopo aver verificato le condizioni di preparazione di cui sopra si dovrà provvedere alla pulizia della soletta ed alla stesura su di essa di vernice antipolvere inalterabile a base poliuretanica o epossidica. Questo trattamento, sempre consigliabile, è indispensabile se il plenum fra la soletta e il pavimento sopraelevato è utilizzato per il condizionamento dell'aria. Chi provvede a tale mansione dovrà verificare la compatibilità di tale prodotto con l'adesivo eventualmente utilizzato per il fissaggio dei supporti della struttura.

Il livello del piano finito del pavimento sopraelevato dovrà essere indicato chiaramente nei locali predisposti per l'installazione.
Normalmente il montaggio del pavimento sopraelevato sarà effettuato solo quando si è provveduto al completamento di tutti gli impianti e le finiture interne degli ambienti: fa eccezione l'installazione di pareti mobili che saranno posizionate sopra il pavimento sopraelevato. Se questo non risultasse possibile si dovrà concordare la sequenza degli interventi.
La distribuzione degli impianti dovrà rispettare la modularità del pavimento sopraelevato e dovrà tener conto degli ingombri dei componenti.
Qualora sotto il pavimento fosse prevista la presenza di tubazioni con fluidi a temperature tali da procurare condizioni termoigrometriche, locali e generalizzate, al di fuori di quelle prescritte, si raccomanda di isolare convenientemente le sorgenti di calore e di prevedere una opportuna ventilazione al fine di rientrare nelle condizioni normali.

Fasi di posa in opera

Di seguito si riportano le fasi di posa in opera della realizzazione di un pavimento sopraelevato.

Composizione della struttura

Gli elementi che costituiscono la struttura per il pavimento sopraelevato sono una piastra in acciaio zincato in appoggio alla soletta e un tubo verticale per l'alloggiamento della testa.
La testa, costituita da un tirante filettato con avvitato un dado micrometrico, viene assemblata all'estremità di un piatto sagomato e forato per permettere l'alloggiamento della traversa e di eventuali viti.
La traversa di raccordo incastrata o avvitata sulla testa della colonnina, fornita con passo 600x600 mm, formerà la maglia quadrata di supporto del pannello sopraelevato, salvo moduli speciali; il lato privo di incastro sarà posizionato sulla testa applicando una vite autofilettante o posandola sfalsata.

Posizionamento dei supporti in gomma e della struttura

Una volta tracciati gli assi e tenendoli come riferimento, si procede al montaggio della struttura iniziando dal posizionamento dei supporti in gomma alla base dei piedini del pavimento sopraelevato. Tali supporti verranno ancorati mediante adesivo sul massetto di allettamento. Si passa poi al montaggio delle basi e delle teste che compongono la struttura secondo la maglia modulare stabilita. A queste verrà incastrata la traversa. Una volta montata la maglia di supporto del pannello su questa dovrà essere applicata, sulla testa della colonnina e sulla parte superiore della traversa, una guarnizione in materiale elastico.

Messa in quota una volta montata

La struttura si procede alla sua messa in quota con l'utilizzo di laser o bolle ad acqua con tubo da 15 m, oppure livelle a bolla d'aria con stadia da 3 m.
È fatto obbligo di fissare tutti i piedini mediante idoneo collante e il transito pedonale non potrà avvenire prima di 12 ore. L'installazione dovrà essere completata con la posa di tutti gli eventuali accessori richiesti.

Immagine 67 - *Messa in quota della pavimentazione*

Posizionamento dei pannelli

Resa piana la struttura, possono essere posati i pannelli, iniziando dalla prima fila di pannelli interni sui due assi ortogonali, agendo sul dado di regolazione micrometrico per correggere a dislivelli dati dalla soletta grezza.

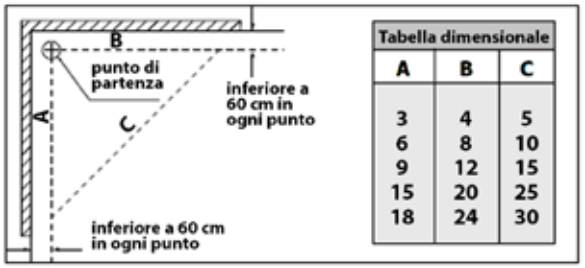


Tabella dimensionale		
A	B	C
3	4	5
6	8	10
9	12	15
15	20	25
18	24	30

Immagine 68 - *Posatura dei primi pannelli*

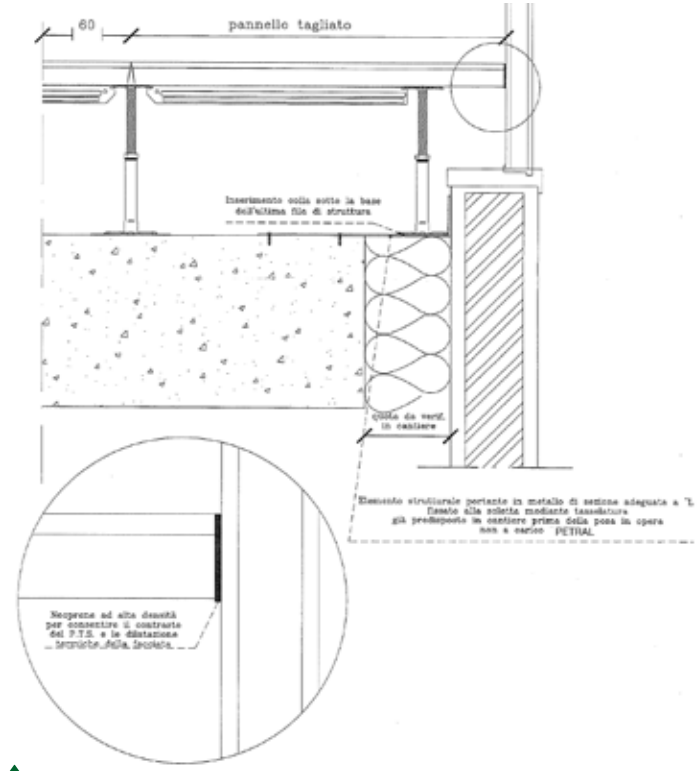


Immagine 69 - *Particolare di posa del pannello perimetrale*

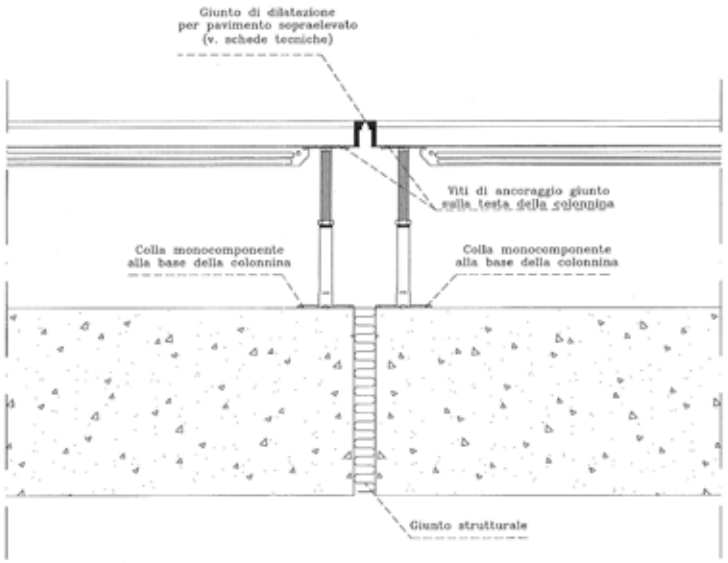


Immagine 70 - *Particolare di posa del giunto di dilatazione*

I primi pannelli che verranno montati devono formare una "T" oppure una "L": tale operazione è necessaria affinché la posa del pavimento avvenga in modo ortogonale, per evitare problemi di disallineamento delle fughe. Dopo aver posato tutti i pannelli interi, lasciando per ultimi quelli perimetrali che saranno tagliati in opera su misura, si procede con l'esecuzione e la posa dei tagli perimetrali.

La struttura viene arretrata e la traversa tagliata oppure, per l'esecuzione di tagli particolari, le colonnine verranno incollate: tale operazione consente l'appoggio del pannello interamente sulla colonnina. Inoltre devono essere tagliate con un cutter le 2 o 4 alette di riferimento della guarnizione in modo da favorire il perfetto appoggio.

In corrispondenza di giunti strutturali occorre prestare particolare attenzione alla posa della struttura. Sarà necessario evitare di appoggiare il piedino sopra il giunto strutturale, prevedendo l'inserimento di un giunto di dilatazione per pavimento sopraelevato (vedere immagine 70).

Concluso il pavimento si farà una verifica dell'allineamento delle fughe e della planarità, agendo se necessario su eventuali pannelli non perfettamente stabili regolandoli od eventualmente aumentando lo spessore.
Nessuno, ad eccezione dell'installatore del pavimento sopraelevato, potrà camminare sopra il pavimento durante l'installazione. Nel

caso di utilizzo di adesivi, il divieto vale per le 48 ore successive al suo completamento.
All'interno del locale i lavori dovranno essere eseguiti senza la contemporanea presenza di altre maestranze.
Nel caso di utilizzo di pavimento sopraelevato senza traversi è necessario rinforzare la staticità della struttura mediante la disposizione di un adesivo sotto i supporti a terra. Supporti e pannelli vengono posati contemporaneamente e verificati con laser o livella di volta in volta.
Prima di praticare questo tipo di pavimento è indispensabile attendere 24 ore per consentire alla colla che fissa i supporti di asciugarsi.

1.4 - Applicazione su controsoffitti

Il sistema di isolamento acustico realizzato su soffitti si basa sullo stesso principio di quello delle pareti "a secco" che verrà descritto ed utilizzato per i rumori aerei (Cap.2).
Tale sistema offre un isolamento sia dai rumori aerei, sia dai rumori impattivi, anche se per questi ultimi non ha la stessa efficacia del sistema a massetto galleggiante, se non a scapito di un'elevata riduzione del volume del locale disturbato.
Come per le pareti, i migliori risultati si ottengono con le lastre in gesso rivestito montate su telaio metallico. Il telaio può essere montato a ridosso del soffitto (*controsoffitto in aderenza*), per contenere al minimo il ribassamento, oppure distanziato dal soffitto e sostenuto con appositi agganci metallici in sospensione (*controsoffitto sospeso*); il secondo è il sistema più efficace.
Le ditte fornitrici di lastre di cartongesso offrono una gamma completa di agganci e telai metallici.

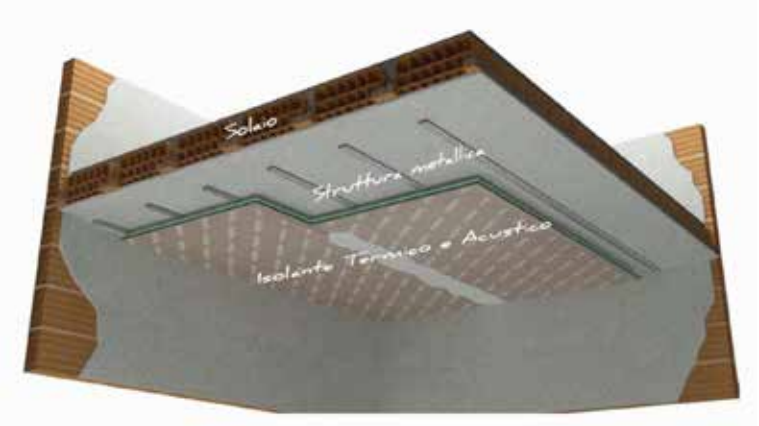


Immagine 71 - *Controsoffitto in aderenza*

1.4.1 - Controsoffitto in aderenza

Il controsoffitto in aderenza è utilizzato tipicamente per incrementare la prestazione acustica e termica di solai esistenti quando si ha a disposizione poco spazio.
La scelta dell'isolante acustico deve tenere conto di diversi fattori: lo spessore disponibile per l'intervento, il livello di isolamento che si vuole ottenere, l'isolamento termico da raggiungere. Il miglioramento della prestazione sia acustica che termica è funzione dello spessore: generalmente, a fronte di un maggiore spessore del pacchetto, cresce la prestazione acustica e termica. In linea di massima la soluzione in aderenza permette di avere spessori contenuti nell'ordine di 5-10 cm.
Il fissaggio delle lastre del controsoffitto può essere fatto direttamente a soffitto, ma al fine di garantire un fissaggio più sicuro è fondamentale utilizzare una struttura metallica di supporto.
Nel caso di solai non omogenei come latero-

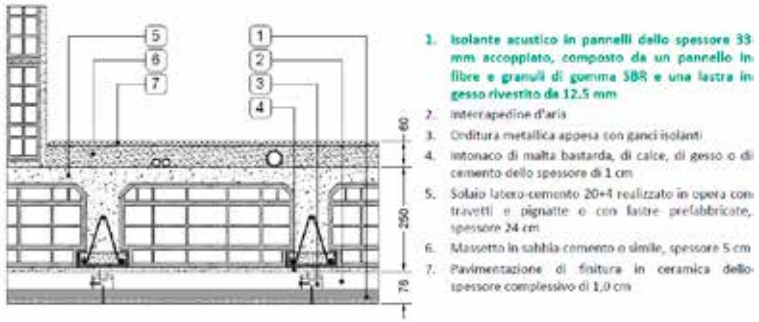


Immagine 72 - *Applicazione del controsoffitto in aderenza sul solaio esistente in laterocemento*

cemento o predalles similari (immagine 72) il fissaggio della struttura deve essere fatto sui travetti. È importante utilizzare ganci per il fissaggio dei profili opportunamente isolati.

Fasi di posa in opera

La prima fase riguarda l'incollaggio sulle guide metalliche dell'apposita striscia adesivizzata e il successivo fissaggio lungo il perimetro superiore dell'ambiente.

Immagine 73 - *Posa dell'orditura metallica*

Il passo successivo consiste nel forare il soffitto, fissare i ganci isolanti e i profili metallici (immagini 74 e 75).

Immagine 74 - *Fissaggio dei ganci isolanti*

Immagine 75 - *Fissaggio dei profili metallici*

A questo punto vanno appoggiati i pannelli ai profili metallici, fissandoli con viti da 55 mm ogni 15 cm (immagine 76).

Immagine 76 - *Appoggio del pannello ai profili metallici*

Infine, le giunture tra pannelli vanno sigillate applicando il nastro in rete e successivamente stuccando.

Immagine 77 - *Sigillatura e stuccatura dei giunti tra pannelli*

1.4.2 - Controsoffitto sospeso

Il controsoffitto sospeso è un sistema particolarmente flessibile in quanto permette il passaggio di impianti anche di dimensioni importanti, quali quelli per il raffrescamento, riscaldamento e trattamento dell'aria. Per tale ragione trova applicazione in edifici a destinazione ospedaliera, terziario, ecc.

Immagine 78 - *Stratigrafia di un controsoffitto sospeso*

La scelta dell'isolante acustico deve tenere conto di diversi fattori: l'intercapedine a disposizione e il livello di isolamento termico ed acustico che si vuole ottenere. La soluzione sospesa generalmente necessità di intercapedini di spessore maggiore a 10 cm.
La struttura metallica viene realizzata mediante pendini di sospensione delle guide e dei profili per il fissaggio delle lastre in cartongesso o eventuali sistemi a quadrotti di finitura. Nel caso di solai non omogenei, come laterocemento o predalles, il fissaggio dei pendini deve essere fatto sui travetti. È importante utilizzare pendini per il fissaggio dei profili opportunamente isolati.

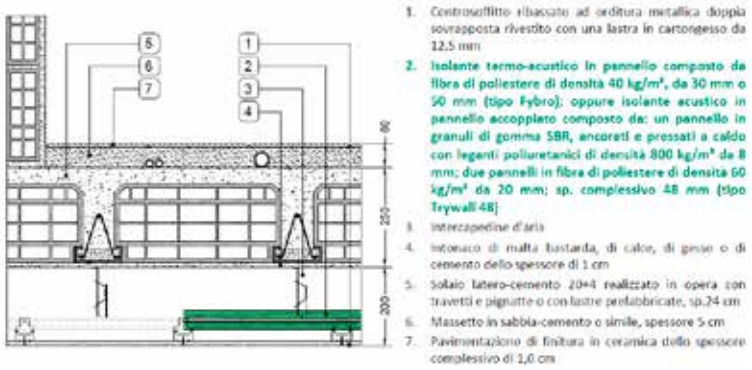


Immagine 79 - *Particolare costruttivo relativo all'applicazione di un controsoffitto sospeso su solaio esistente in laterocemento*

Fasi di posa in opera

Incollare la striscia adesivizzata alle guide metalliche e fissarle lungo il perimetro alla distanza prefissata dal soffitto.

Immagine 80 - *Fissaggio delle guide metalliche alla distanza prefissata dal soffitto*

Tracciare e posare i pendini isolanti con le distanze riportate nella tabella 2.

Carico P *Load P (kg/m²)*	**Distanza pendini - A (mm)** *Hangers distance*		**Distanza profili portanti - B (mm)** *Primary grid (metal studs) distance*	
≤ 15		900		1000
15 < P ≤ 15		750		1000
30 < P ≤ 50		600		750

Tabella 2 - *Distanza tra pendini (A) o tra profili portanti (B) in rapporto al carico gravante su di essi*

Immagine 81 - *Fissaggio dei pendini*

Agganciare l'orditura metallica portante ai pendini.

Immagine 82 - *Aggancio dell'orditura metallica portante ai pendini*

Fissare alle guide lungo il perimetro l'orditura metallica portante.

Immagine 83 - *Fissaggio alle guide dell'orditura metallica portante*

Inserire l'orditura secondaria all'interno della guida perimetrale.

Immagine 84 - *Inserimento dell'orditura secondaria all'interno della guida perimetrale*

Fissare con gli appositi ganci l'orditura metallica secondaria ai profili portanti.

Immagine 85 - *Fissaggio dell'orditura metallica secondaria ai profili portanti*

Tabella 3 - *Interasse tra profili secondari in base al tipo di rivestimento delle lastre*

Tipo di rivestimento *Type of gypsumboard*	**Interasse profili secondari** *Secondary grid (metal studs) distance (mm)*		
Lastre spessore *Gypsumboard thickness*		Posa trasversale *Cross applicatione*	Posa longitudinale *longitudinal application*
12.5 mm, 15 mm, 18 mm 2x12.5 mm		500	400

Appoggiare sopra l'orditura l'eventuale materiale fonoassorbente.

Immagine 86 - *Appoggio dei pannelli fonoassorbenti sopra l'orditura*

Appoggiare la lastra di cartongesso ai profili metallici.

Immagine 87 - *Appoggio della lastra ai profili metallici*

Fissare le lastre di cartongesso con le viti.

Immagine 88 - *Fissaggio delle lastre di cartongesso con viti*

Applicare il nastro in rete nelle giunzioni delle lastre. Stuccare infine le giunzioni.

Immagine 89 - *Applicazione del nastro nelle giunzioni delle lastre e stuccatura finale*

1.5 - Applicazione su terrazze

La struttura portante delle terrazze è in genere costituita da solai sufficientemente pesanti da garantire il rispetto dei limiti imposti dalla legge per l'isolamento acustico dai rumori aerei.
I requisiti tecnici vengono generalmente soddisfatti mediante opportune stratigrafie isolanti basate sia sulla scelta oculata di un isolante termico, sia posando la pavimentazione della terrazza su massetto galleggiante isolato dal manto impermeabile. Per il corretto comportamento acustico del massetto galleggiante è necessario prevedere già in fase di progettazione la più completa desolidarizzazione di questo elemento dai muri perimetrali e da qualsivoglia corpo o tubazione che attraversa verticalmente la terrazza previa soluzione di tutti i particolari.

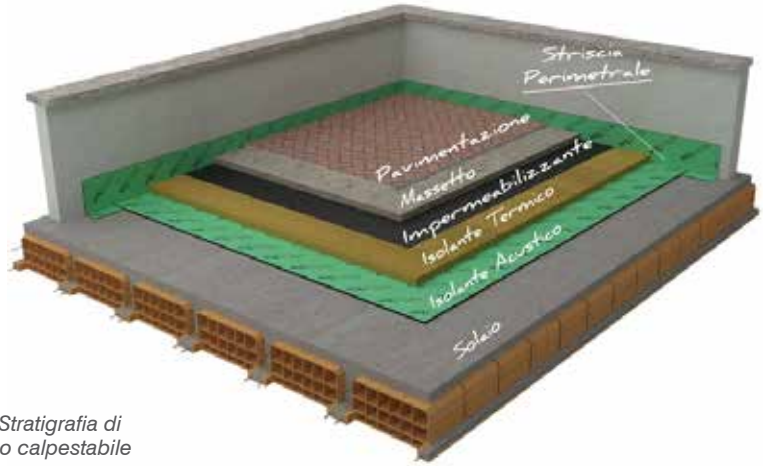


Immagine 90 - *Stratigrafia di un solaio piano calpestabile*

Fasi di posa in opera

Le modalità di posa sono le medesime riportate nel capitolo riguardante il massetto galleggiante. Ciò che cambia rispetto al sistema utilizzato per i solai anticalpestio di ambienti interni è la necessità di inserire uno strato di impermeabilizzazione per garantire la tenuta all'acqua della terrazza. L'impermeabilizzazione può essere eseguita con una semplice guaina bituminosa o altre tecniche attualmente in uso; tra l'isolante acustico e lo strato di impermeabilizzazione viene inserito l'isolante termico.
Per meglio proteggere lo strato di impermeabilizzazione è infine consigliabile la stesura tra questo e il massetto di uno strato di separazione che ha la funzione di impedire che la boiacca cementizia durante la gettata inglobi le fibre del tessuto, annullandone le proprietà isolanti. Tale strato di separazione, deve essere resistente alla perforazione e sufficientemente spesso da ridurre l'attrito fra massetto e manto impermeabile, evitando la trasmissione delle fessurazioni.
Si procede poi alla stesura del massetto evitando di danneggiare le sovrapposizioni dei teli.

1.6 - Applicazione su tetti

Mentre una stratigrafia di copertura tradizionale in calcestruzzo o in laterocemento è quasi sempre sufficientemente pesante da garantire livelli prestazionali di $D_{2m,nTw}$ (isolamento acustico di facciata) superiori a 45 dB, ciò può non risultare altrettanto valido quando la copertura è più leggera, come nel caso delle coperture in legno.
Il sempre più spinto utilizzo del sottotetto per abitativo e la diffusione nelle ristrutturazioni del tetto in legno al fine di alleggerire le strutture, uniti ad una scarsa attenzione agli adempimenti normativi riguardo l'acustica, possono portare ad una carenza riguardante l'isolamento acustico di tali ambienti. Questo è maggiormente evidente nei casi di edifici esistenti, dove il D.P.C.M. 05/12/1997, riguardo il rispetto dei limiti dei requisiti acustici passivi, nei casi di risanamento, non specifica i criteri di applicabilità. Ad oggi tale onere è rimandato ai Comuni, che attraverso i regolamenti possono decidere se applicare i limiti sui requisiti acustici passivi stabiliti dal decreto sopra citato su edifici esistenti oppure riportare tale disposizione solo per interventi di nuova edificazione.

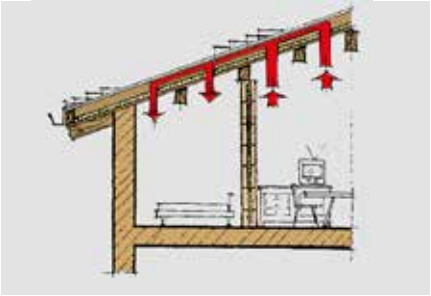


Immagine 91 - *Modalità di trasmissione del rumore per via aerea dalla copertura*

Le problematiche acustiche che le coperture lignee possono presentare sono fondamentalmente due e sono riconducibili alle scelte effettuate dal progettista ed alla natura stessa del materiale.
In primo luogo si deve considerare che, se da un lato, la leggerezza, i costi contenuti, la flessibilità di destinazione d'uso e la notevole resa estetica del legno, ne fanno un ottimo materiale da costruzione, dall'altro, essendo un materiale leggero, rende più difficile adempiere a quanto richiesto dalla legislazione corrente in ambito di isolamento acustico e termico. Infatti la leggerezza del materiale, unita alla presenza di innumerevoli discontinuità nei piani di copertura costituite dalle linee di accostamento delle tavole o dei pannelli, rende le coperture lignee potenzialmente critiche dal punto di vista del comfort termico ed acustico.
La progettazione dovrà quindi essere rivolta ad appesantire quanto più possibile la stratigrafia, sigillare le discontinuità dei tavolati, usare materiali isolanti di natura e spessore adeguati alle esigenze sia termiche che acustiche.
L'accorgimento di appesantire o di raddoppiare il primo tavolato confinante con l'ambiente abitato tende a soddisfare la prima esigenza, mentre l'impiego di uno strato aggiuntivo di isolante acustico chiodato al tavolato prima della posa della barriera al vapore contribuisce a sigillare le discontinuità.
Nel caso di doppio tavolato ventilato, anche la posa di una membrana ardesiata sul secondo tavolato che regge il manto in tegole contribuisce a sigillare le discontinuità.
Visto che le proprietà acustiche spesso si pongono in conflitto con i requisiti termici esistono in commercio materiali preaccoppiati composti da materiali a cellule chiuse, o in genere aventi buone caratteristiche di isolamento termico, con materiali aventi proprietà smorzanti alle vibrazioni, come nel caso della gomma riciclata, per la realizzazione di materassini. In questi casi è possibile parlare di materiali che hanno proprietà termoacustiche. Questi prodotti rappresentano una buona soluzione nei casi di applicazione su tetti leggeri.
Un elemento critico tipico (e poco considerato) che genera un notevole ponte acustico è dovuto alla presenza di una partizione a diretto contatto con la copertura. In questo caso il taglio acustico può essere risolto mediante il riempimento completo con isolante fibroso dell'intercapedine di ventilazione in corrispondenza della linea di sviluppo della sottostante muratura divisoria, già preventivamente disposta parallelamente al senso di ventilazione, in maniera tale da non interferire con il corretto funzionamento della stessa.

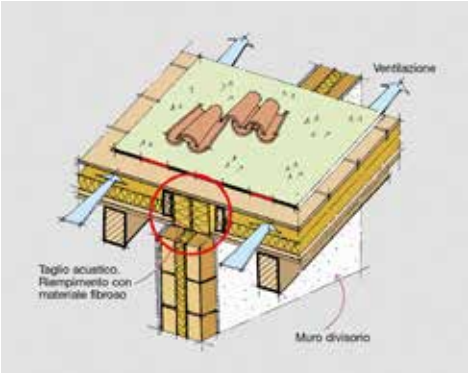


Immagine 92 - *Taglio acustico in copertura lignea riempito con materiale fibroso*

Di seguito vengono riportate le fasi di posa in opera del materiale isolante da utilizzare in caso di coperture lignee a falde inclinate.

Fasi di posa in opera

Nelle coperture in legno ventilate, l'isolamento acustico dai rumori aerei può essere ottenuto mediante la posa in opera, direttamente sopra il tavolato e sotto lo strato di isolamento termico, di un idoneo pannello fonoisolante e fonoassorbente con materiali preaccoppiati composti da una lastra in gomma costituita da mescole di elastomeri provenienti dal recupero dei PFU legate ad un materiale avente proprietà termiche.
Per la corretta posa in opera del materiale isolante in questa tipologia di copertura, è consigliato di applicare il pannello al di sopra del primo tavolato (sopra i travetti portanti) dopo averlo opportunamente sagomato.

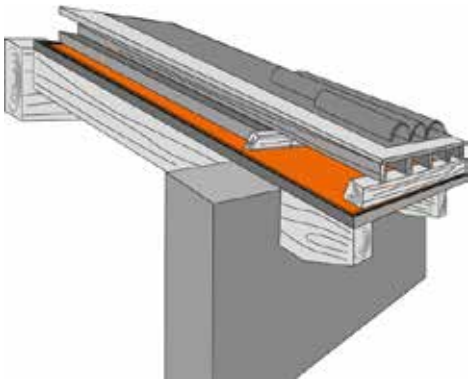


Immagine 93 - *Applicazione del pannello isolante in gomma su tetti in legno ventilati*

Una volta effettuata tale operazione, vengono posati i travetti sopra il pannello considerato, per lo strato di isolante termico. Infine vengono posati gli strati successivi della copertura.

1.7 - Applicazione su elementi strutturali di collegamento tra partizioni orizzontali (scale con struttura monolitica in cemento armato)

La problematica del rumore da calpestio sulle scale interne di un edificio è comunemente nota, in particolare negli edifici residenziali, dove spesso emergono disagi dovuti alla propagazione e all'amplificazione dei rumori impattivi.
Nel caso di strutture a telaio in C.A. le solette delle scale del vano comune sono collegate strutturalmente alla struttura portante. Tale conformazione genera un collegamento rigido tra scale ed edificio, che favorisce la propagazione delle vibrazioni per via strutturale. La risoluzione di tale problematica raramente viene studiata in fase progettuale, sia per carenza di soluzioni costruttive, sia per lacune normative.
Per migliorare l'isolamento acustico è necessario intervenire con alcuni accorgimenti.
Nei paragrafi seguenti sono descritte le fasi di posa in opera delle tipologie applicative utilizzate in vani scala in cemento armato ai fini dell'isolamento acustico.

Fasi di posa in opera dell'isolante sui punti di appoggio della rampa

È possibile svincolare la scala lavorando sul punto di appoggio della rampa, in partenza e in arrivo, mediante l'applicazione di un appoggio antivibrante di forma variegata (a "Z", "L", "I") prima della realizzazione della rampa.
In questo modo si evita che il rumore trasmesso alla scala si propaghi lungo tutte le strutture.
Tale soluzione può essere realizzata solo se prevista sin dalle fasi preliminari della progettazione per sopperire a situazioni di discontinuità strutturale.
Di seguito sono riportate le possibilità di appoggio del materiale isolante.

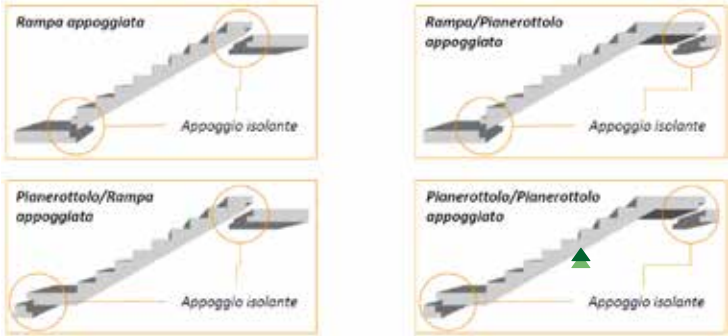
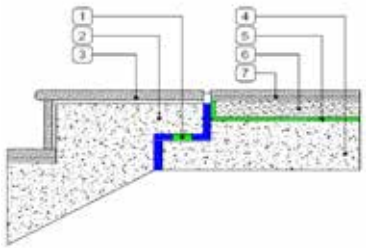


Immagine 94 - *Possibili punti di appoggio del materiale isolante*



1. Appoggio antivibrante per l'isolamento acustico di scale fornito in strisce a forma di "Z" composto da una struttura in polietilene a celle chiuse di colore grigio e da un inserto in granuli di gomma SBR dello spessore di 10 o 20 mm
2. Rampa scala in c.a.
3. Pedata in pietra, spessore 3 cm
4. Soletta pianerottolo in c.a., spessore 15 cm
5. Isolante acustico in rotolo composto da granuli di gomma SBR o EPDM, ancorati a caldo con lattice carbossilato ad un supporto in tessuto non tessuto antistrappo, spessore da 4 mm a 10 mm
6. Massetto in sabbia-cemento o similare, spessore 5 cm
7. Pavimento in pietra, spessore 2 cm

Immagine 95 - *Particolare costruttivo relativo all'applicazione di un appoggio antivibrante a "Z" su scale*

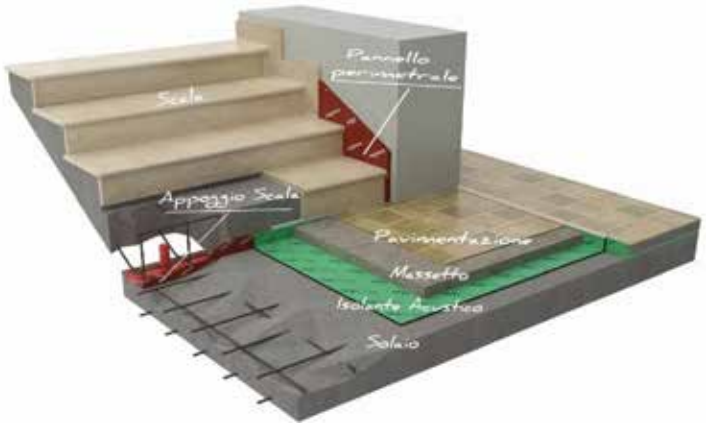


Immagine 96 - *Stratigrafia di una scala con appoggio antivibrante*

Fasi di posa in opera dell'isolante al di sotto della finitura pedonabile della scala

Questa soluzione permette di isolare le superfici calpestabili del vano scala grazie al materiale resiliente ad elevate prestazioni da applicare "a colla" al di sotto della finitura pedonabile della scala. I teli sono di misura standard per alzate, pedate e ripiani intermedi, da rifilare in cantiere per adattarli alla superficie. Sono inoltre necessari tutti quegli accessori quali la fascia di giunzione dei teli e la fascia laterale per il disaccoppiamento della scala dal vano scala, che sono indispensabili per il completamento dell'isolamento acustico.

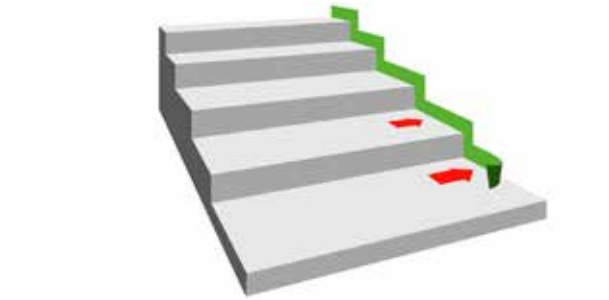


Immagine 97 - *Posizionamento del materiale isolante al di sotto della finitura pedonale della scala*

Di seguito vengono riportate dettagliatamente le fasi per una corretta posa in opera dei teli isolanti:

- verificare la planarità, pulire bene e umidificare la superficie in calcestruzzo grezzo della scala prima di stendere la colla;
- posare sulle pareti verticali la fascia laterale per desolidarizzare il rivestimento delle alzate e pedate dei gradini dalle murature perimetrali del vano scala;
- rifilare i teli e incollarli con colla cementizia;
- posare i teli anche sul ripiano intermedio tra le diverse rampe di scale;
- una volta posati tutti i teli sigillare con apposita fascia gli spigoli di giunzione tra alzata e pedata;
- sigillare con apposita fascia le linee di giunzione tra la fascia laterale e la fascia posata in precedenza su alzata e pedata dei gradini e sul ripiano intermedio.

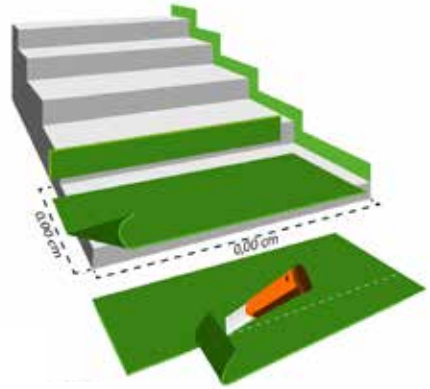


Immagine 98 - *Fasi di posa in opera dei teli isolanti*

Immagine 99 - *Sigillatura degli spigoli di giunzione alzata/pedata e posa di fascia laterale*

- Posare uno strato di malta di allettamento sulla superficie già posata su alzata e pedata dei gradini e sul ripiano intermedio.
- Procedere alla posa della pavimentazione.

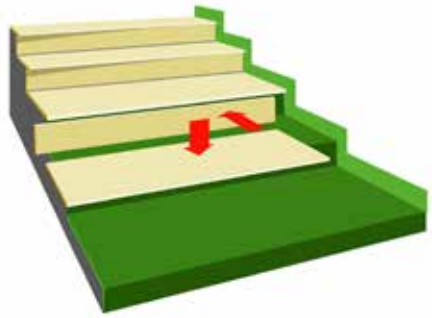


Immagine 101 - *Rifilatura della fascia laterale, posa e sigillatura del battiscopa*

Immagine 100 - *Posa della pavimentazione di finitura*

- Rifilare la parte eccedente di fascia laterale solo dopo aver posato ed eventualmente stuccato la pavimentazione finale.
- Procedere alla posa del battiscopa avendo cura di sigillare con silicone la fuga tra la base del battiscopa e la pavimentazione.

2 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento delle partizioni verticali di un edificio

Incrementare il potere fonoisolante delle partizioni verticali è fondamentale per evitare che i suoni prodotti all'interno di un locale si propaghino agli ambienti delle unità immobiliari adiacenti.
Di seguito si riportano i due principali sistemi applicativi per l'isolamento degli ambienti dai rumori aerei: l'applicazione di materiale isolante in intercapedine tra due pareti (Cap.2.1) e l'applicazione di un rivestimento sulla parete (Cap.2.2).
Verranno inoltre considerati separatamente i sistemi applicativi su pareti in legno (Cap.2.3).

a) Applicazione di materiale isolante in intercapedine
In questa tipologia di parete il materiale isolante viene applicato nell'intercapedine tra due sistemi massivi ("Parete doppia in elementi

costruttivi ad umido", Cap.2.1.1) o all'interno di una parete doppia leggera (*"Parete doppia a secco"*, Cap.2.1.2).

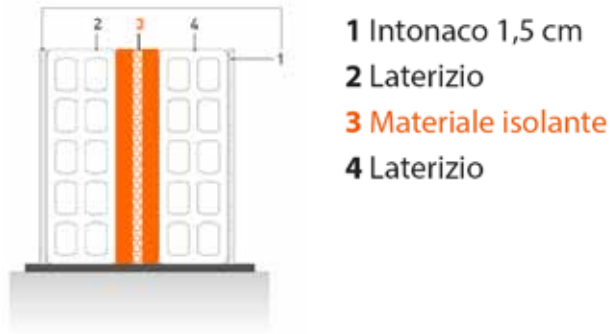


Immagine 102 - *Applicazione di materiale isolante in intercapedine*

b) Applicazione di sistemi di rivestimento a parete
Questo sistema è generalmente impiegato in fase di bonifica acustica su strutture esistenti per migliorarne le prestazioni acustiche. Il materiale isolante viene applicato direttamente sulla superficie della parete (Cap.2.2.1), oppure attraverso la realizzazione di una controparete con tecniche costruttive "a secco" (Cap.2.2.2).

Elementi di base da considerare

Per le pareti massive, indipendentemente dal sistema applicativo scelto, è consigliabile seguire le indicazioni costruttive di seguito descritte al fine di massimizzare le prestazioni della partizione verticale nel suo complesso.

- Verso di scorrimento del solaio: durante la fase progettuale di disposizione dei vani, con solai tipo travetti e pignatte, è consigliabile

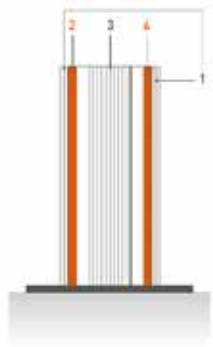


Immagine 103 - *Sistema di rivestimento della parete*

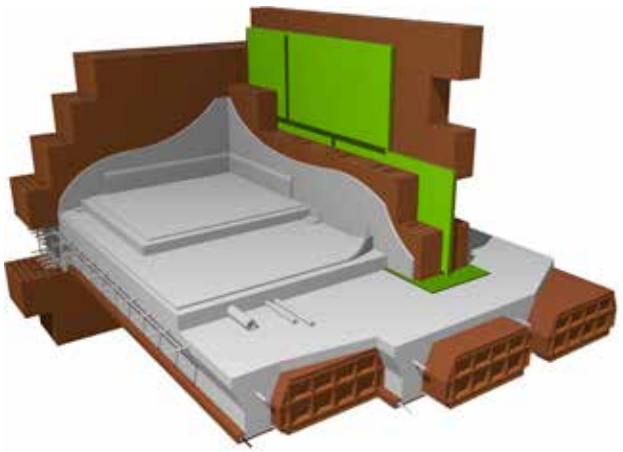


Immagine 104 - *Esempio di isolamento delle partizioni verticali*

disporre i sistemi divisori fra le diverse unità immobiliari parallelamente al verso di orditura andando a posizionare la parete al di sopra di un travetto del solaio stesso. Tale accorgimento permette di evitare la trasmissione del rumore attraverso le cavità della pignatta. Qualora sia impossibilità nel seguire tale accorgimento è consigliabile realizzare la parete in corrispondenza della trave (qualora la struttura sia a telaio in cemento armato) oppure prevedere un cordolo in spessore aggiuntivo.

- Isolamento dei setti in cemento armato: un classico esempio di elementi con tecnica costruttiva in cemento armato che crea problematiche di trasmissione del rumore attraverso la connessione rigida tra la soletta delle scale e la struttura dell'edificio, oppure tra le guide di scorrimento dell'ascensore ed

i setti strutturali dell'edificio che a loro volta sono connessi rigidamente alle partizioni di un alloggio. In generale la trasmissione del rumore per giunzione rigida di sistemi edilizi avviene per propagazione strutturale delle vibrazioni di elementi sollecitati da urti o vibrazioni.
In presenza di vani scala e cavedi ascensore in strutture edilizie a telaio in cemento armato, si può prevedere un rivestimento con materiale elastico, andando così a realizzare una disconnessione rigida tra elementi edilizi, come ad esempio nel caso del rivestimento di un pilastro al fine di poter addossare una partizione senza creare tra i due elementi una connessione rigida e quindi un potenziale ponte acustico.

- Verifica della superficie di posa: la superficie di posa del materiale in gomma dovrà essere planare e priva di ogni eventuale detrito derivante da fasi di lavorazione precedenti o asperità, in maniera tale da consentire la stabilità meccanica ed il corretto funzionamento del materiale.
- Posa della fascia tagliamuro (o striscia sotto-parete): prima di iniziare la posa di tutte le tramezzature, compresa la partizione interna del muro perimetrale, si procede alla posa, sotto il primo corso, di una fascia tagliamuro o striscia sotto-parete che permette di desolidarizzare la parete stessa dalla struttura del solaio. L'elemento elastico deve avere caratteristiche di resistenza a compressione tali da non creare fessurazioni alla compressione alla parete finita per cedimento. La fascia tagliamuro dovrà avere larghezza tale da contenere l'intero pacchetto della parete compresi i relativi intonaci.
- La parete verrà realizzata sopra la striscia sotto-parete posandola su un letto di malta

Immagine 105 - *Posa della fascia tagliamuro*

Immagine 106 - *Posa della parete su di un letto di malta*

- Inserimento degli impianti: l'isolamento acustico di una parete è sempre calcolato a partire da una parete integra. In realtà in cantiere la gran parte dei divisori interni risultano attraversati da impianti, pertanto è indispensabile che ogni tipo di intervento venga realizzato in modo da evitare il più possibile tracce per il passaggio di canalizzazioni o cassette impiantistiche che assottiglierebbero lo spessore della parete massiva. Per ridurre tali criticità è necessario riempire gli scassi con attenzione evitando di lasciare vuoti all'interno della parete.

Una buona regola è realizzare gli impianti all'esterno delle partizioni tra diverse unità immobiliari, realizzando una contro-parete tecnica che non pregiudichi le prestazioni acustiche della partizione.

Immagine 107 - *Riempimento con malta delle tracce impiantistiche*

Immagine 108 - *Esempi di installazione impiantistiche nei divisori verticali*

2.1 - Applicazione di materiale isolante in intercapedine

L'applicazione in intercapedine è caratterizzata dall'interposizione di materiale isolante tra due pareti che possono essere massive (tecnica costruttiva "a umido"), o leggere (tecnica costruttiva "a secco").

2.1.1 - Parete doppia in elementi massivi

La parete doppia è la soluzione tradizionale per conciliare prestazioni acustiche e tradizione costruttiva con tecniche a umido. Viene normalmente utilizzata come partizione di separazione tra unità abitative o come sistema di tamponatura esterna. Lo spessore dell'intercapedine generalmente è compreso tra 5 e 10 cm.
Tipicamente questa parete viene realizzata con blocchi in laterizio o in calcestruzzo; tra le due pareti viene interposto il materiale isolante, così da creare uno strato fonoassorbente al fine di dare al sistema adeguate di fonoisolamento.

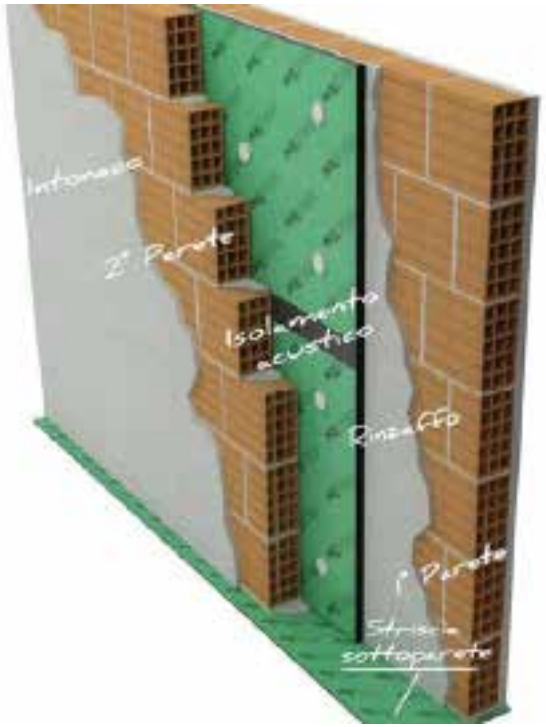


Immagine 109 - *Applicazione di isolante in parete doppia massiva*

Fasi di posa in opera

È consigliabile progettare il sistema utilizzando paramenti caratterizzati da masse superficiali diversificate, al fine di evitare che le due tramezzature, nel caso siano di pari massa, possano vibrare alla medesima frequenza di risonanza, andando così a creare un'inefficienza del sistema

partizione ad una specifica frequenza.
La prima parete che viene realizzata è generalmente la più pesante; è importante utilizzare blocchi integri, posizionarli su un letto di malta orizzontale e verticale in modo che i giunti tra i blocchi risultino ben sigillati.
È altresì consigliato utilizzare murature pesanti orientandosi sui laterizi porizzati (posati a fori verticali), semipieni o pieni, piuttosto che sul forato classico, scegliendo i pezzi migliori e non fessurati.
Qualora non fosse possibile differenziare le due pareti e garantire la necessaria ermeticità, è consigliata l'applicazione del "terzo intonaco" ovvero un rinzaffo interno di malta (sp.1 cm circa) che, oltre a rimediare ad errori di sigillatura dei giunti, consente di aggiungere circa 20 kg/m² in più ad una delle due pareti, sbilanciando così le masse ed impedendo che le due pareti vibrino alla medesima frequenza.

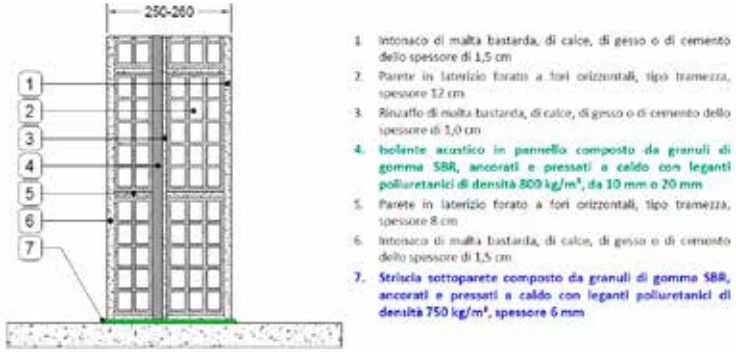


Immagine 110 - *Stratigrafia di parete con intercapedine*

Occorre porre attenzione alla chiusura superiore della parete, riempiendo con molta cura tutto lo spessore che rimane tra questa e l'intradosso del solaio per tutto lo spessore della parete stessa.
Nelle partizioni fonoisolanti verticali costruite con parete doppia, l'intercapedine collabora con i setti massivi cui è inglobata. Per svolgere queste funzioni l'intercapedine deve essere riempita di materiale isolante che, oltre a dover essere posato a regola d'arte, presenterà specifiche caratteristiche fisiche.
Condizione indispensabile per il corretto funzionamento è la permeabilità all'aria. È pertanto consigliabile impiegare materiali di natura porosa o fibrosa, i quali riducono le risonanze di cavità attraverso l'effetto dissipativo proprio di questi materiali che trasformano in calore l'energia sonora che li attraversa.

I principali materiali usati per l'isolamento termico, come XPS, EPS e materassini in genere a celle chiuse, non sono idonei dal punto di vista acustico ed in alcuni casi possono peggiorare le prestazioni acustiche della stratigrafia.
In formato standard sono disponibili numerose tipologie di pannelli o rotoli per l'assorbimento acustico in intercapedine.
Le modalità di posa in opera del materiale isolante possono essere di vario tipo in relazione alla tipologia e allo spessore dei pannelli o dei rotoli utilizzati. Si hanno pertanto le pareti doppie con posa "a colla", "a chiodi" e "a secco". Di seguito vengono descritte le tre differenti modalità applicative.

Posa del materassino "a colla"

La colla vien stesa sul pannello a terra in almeno cinque punti: ai quattro angoli ed al centro del pannello.

Immagine 111 - *Stesura di colla per punti sul pannello*

Successivamente il pannello viene incollato sul primo paramento della parete facendo una leggera pressione e ponendo attenzione a creare una superficie priva di discontinuità.

Immagine 112 - *Incollaggio del pannello alla parete*

Posa del materassino "a chiodi"

Il pannello viene appoggiato sulla parete ed vengono effettuati dei fori in corrispondenza degli angoli e del centro del pannello.

Immagine 113 - *Foratura del pannello mediante trapano da muro*

Applicare i chiodi in plastica nei relativi fori aiutandosi con un martello. Le caratteristiche tecniche degli elementi di fissaggio sono di seguito riportate in tabella 4.

Caratteristiche tecniche *Technical characteristics*		**Elementi di fissaggio chiodo** *Nail fixing elements*	**Elementi di fissaggio tassello** *Rawl plug fixing elements*
Lunghezza / *Length*	mm	83	110
Diametro punta / *Rawl plug tip*	mm	8	8
Diametro testa / *Rawl plug head*	mm	40	-
Spessore pannello / *Panel thickness*	mm	fino a / *up to 50*	fino a / *up to 50*

Tabella 4 - *Caratteristiche tecniche degli elementi di fissaggio dei pannelli*

Immagine 114 - *Applicazione dei chiodi nei relativi fori*

Per entrambe le modalità di posa descritte, si prosegue sigillando i pannelli tra loro con apposito nastro in tela politenata.

Immagine 115 - *Sigillatura dei pannelli tra loro con apposito nastro*

Posa del materassino "a secco"

In questo caso il secondo paramento della parete viene realizzato inserendo gradualmente in intercapedine il pannello, avendo cura di sigillare i giunti orizzontali e verticali fra i blocchi.

Immagine 116 - *Inserimento in intercapedine del pannello*

Immagine 117 - *Corretta sigillatura dei giunti orizzontali e verticali*

Infine, per tutte e tre le modalità di posa in opera, la parete viene ultimata con la realizzazione dell'intonaco e gli strati di finitura.

Immagine 118 - *Fasi di posa in opera di pannelli a tutta altezza*

Pannelli a tutta altezza

Per facilitare la fase di posa esistono pannelli per l'isolamento acustico di grande formato e dal peso contenuto che consentono un'unica posa e notevole velocità di installazione.

Fanno parte di questa categoria i pannelli isolanti preaccoppiati (ad esempio costituiti da una lamina fonoimpedente ad alta densità su una faccia del pannello accoppiata a fibre di poliestere o di lana di roccia) i quali, utilizzando materiale con caratteristiche fisiche differenti, presentano il vantaggio di svolgere la funzione di isolamento acustico e contemporaneamente ottemperano ai requisiti di tenuta all'aria e isolamento termico.

L'incollaggio del pannello termoacustico è ottenuto con una semplice procedura, usando acqua, colla di gesso in polvere e una spatola dentata o una cazzuola per stendere l'impasto così ottenuto.
La colla viene preparata mescolando la polvere con acqua fino ad ottenere una pasta densa,

che avrà una consistenza e una adesività tale da sostenere immediatamente, anche allo stato umido, il pannello sul muro senza dover attenderne la presa e senza dover prevedere l'uso di sostegni.
Il pannello viene incollato alla muratura con la faccia rivestita con la lamina rivolta verso l'operatore; è sufficiente stendere sulla faccia fibrosa una striscia di colla larga 15 cm circa sull'estremità superiore e un'altra nel mezzo per sostenere i pannelli.
Il pannello su cui si è steso l'adesivo viene appoggiato e leggermente pressato sulla parete con l'ausilio di un rullo da pittura, autosostenendosi da subito, e l'operatore può procedere con la posa del pannello successivo.
Ulteriore vantaggio di questa modalità di posa in opera è che il pannello può essere posato da un solo operatore che può procedere alla posa indipendentemente dalla costruzione del contromuro.
Infine, per garantire una migliore tenuta all'aria e al vapore acqueo, le linee di accostamento dei pannelli vengono sigillate con apposito nastro adesivo.

2.1.2 - Parete doppia a secco (parete leggera)

Sempre più spesso negli ultimi anni le soluzioni definite "leggere" o "a secco" stanno diventando una valida alternativa alle tipologie costruttive tradizionali, grazie alla grande flessibilità d'uso (maggiore libertà per la progettazione degli interni), alla notevole velocità di installazione (non è necessario attendere periodi di stagionatura) ed al bassissimo peso (importante in caso di riqualificazione di vecchi edifici).
Si tratta di un sistema di costruzione molto diffuso all'estero e molto usato nell'edilizia ricettiva, ospedaliera e negli edifici adibiti ad attività commerciali e ad uffici.

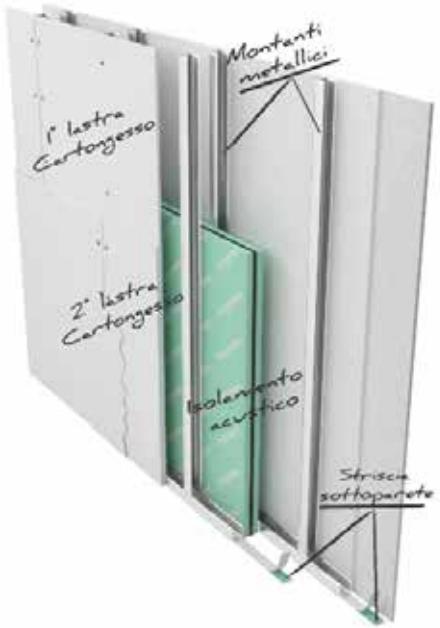


Immagine 119 - *Stratigrafia dell'applicazione di isolante in parete doppia "a secco"*

Dal punto di vista tecnico la parete doppia a secco è composta come segue. La struttura metallica (a singola o doppia orditura) è la struttura portante della parete, su cui vengono fissate le lastre (tipicamente di cartongesso o gessofibra) che corrispondono allo strato di finitura; tra le pareti alloggia il materiale isolante. Esistono vari spessori di montanti e il loro uso dipende dalla funzione che deve svolgere la parete.

In intercapedine viene interposto il materiale isolante, per creare uno strato assorbente al fine di dare al sistema un buon isolamento acustico.

Lo strato di finitura della parete è realizzato generalmente mediante una o più lastre di cartongesso, fissate alla struttura metallica; in base alla funzione che la parete deve svolgere si possono utilizzare diversi spessori delle lastre.

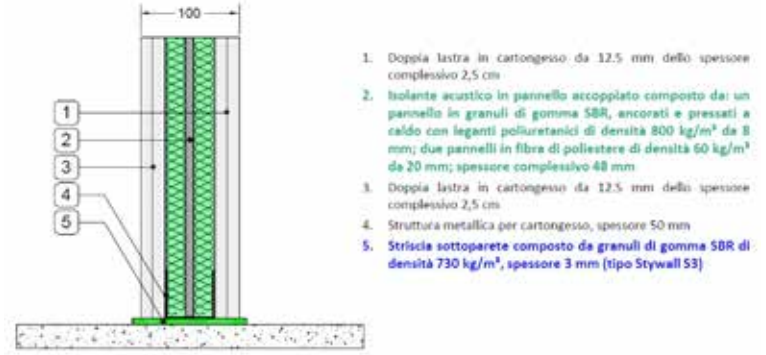


Immagine 120 - *Particolare costruttivo di una parete a singola orditura metallica*

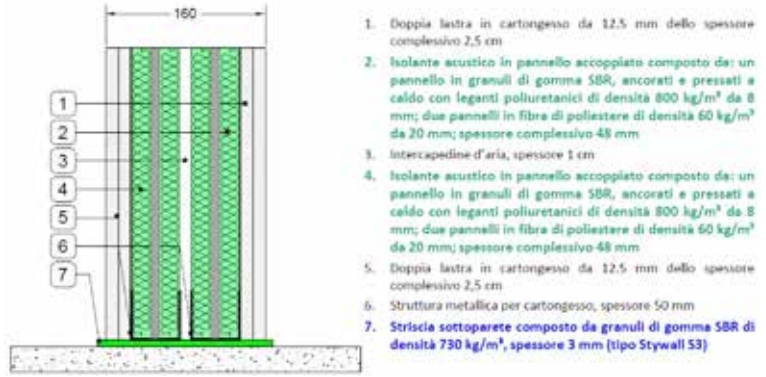


Immagine 121 - *Particolare costruttivo di una parete a doppia orditura metallica*

Un accorgimento importante per queste tipologie costruttive, che spesso vengono preferite per la possibilità di lavorare al di sopra della pavimentazione, è relativo alla loro prestazione in presenza di un massetto galleggiante. In queste condizioni il massetto galleggiante rischia di diventare un "ponte" acustico e di trasferire parte delle vibrazioni tra il locale disturbante e quello disturbato andando così a penalizzare la prestazione acustica.

Qualora non fosse possibile adottare la soluzione di incassare la parete nel massetto, per questioni economiche o di comodità dell'esecutore, sarà altresì possibile procedere andando a tagliare il massetto in corrispondenza della mezzeria della parete ed inserire un giunto flessibile che sia in grado di mantenere scollegati i massetti e limitare la trasmissione delle vibrazioni, come indicato in immagine 123.

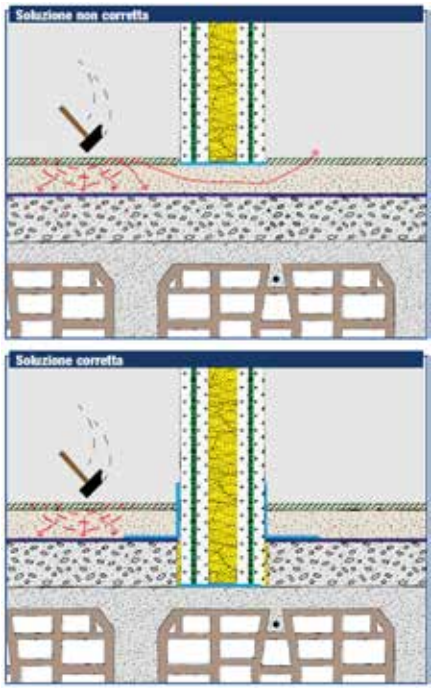


Immagine 122 - *Confronto tra soluzione di posa in opera corretta ed errata di una parete a secco*

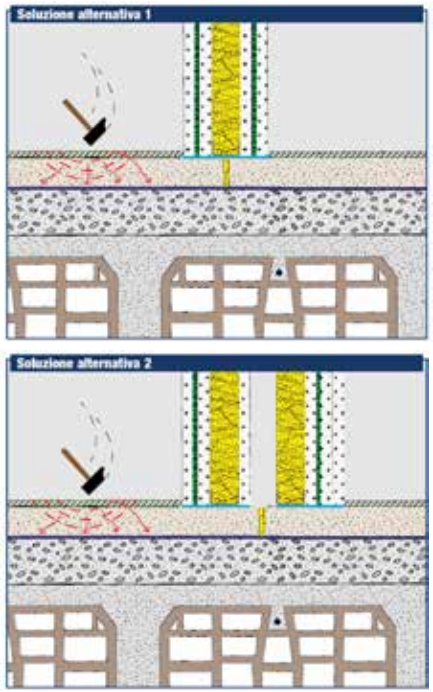


Immagine 123 - *Inserimento di giunto elastico in corrispondenza della parete a secco*

Fasi di posa in opera

Per la corretta posa in opera del materiale isolante è necessario incollare alle guide metalliche la striscia adesiva avente caratteristiche elastiche.

Immagine 124 - *Incollaggio di striscia adesiva alle guide metalliche*

Fissare le guide metalliche al solaio, alle pareti laterali e al soffitto.

Immagine 125 - *Fissaggio delle guide agli elementi strutturali*

Inserire i profili metallici e fissarli alle guide.

Immagine 126 - *Inserimento dei profili metallici e fissaggio alle guide*

Applicare le strisce adesive sui profili per aumentare l'effetto isolante della parete.

Immagine 127 - *Applicazione di strisce adesive sui profili*

Fissare le lastre di cartongesso da un lato.

Immagine 128 - *Fissaggio delle lastre di cartongesso*

Inserire i pannelli tra un profilo e l'altro.

Immagine 129 - *Inserimento dei pannelli*

Completare l'inserimento del prodotto tra i profili.

Immagine 130 - *Completamento della parete leggera*

Applicare le strisce adesive sui profili per aumentare l'effetto isolante della parete.

Immagine 131 - *Applicazione delle strisce adesive sui profili*

Fissare le lastre in cartongesso sui profili metallici per chiudere la parete.

Immagine 132 - *Fissaggio delle lastre in cartongesso sui profili metallici*

Applicare il nastro in rete nelle giunzioni delle lastre e, infine, stuccare le giunzioni.

Immagine 133 - *Applicazione del nastro in rete e stuccatura delle giunzioni*

Nel caso di pareti a doppia struttura metallica occorre realizzare la seconda struttura metallica per creare una parete doppia.

Immagine 134 - *Realizzazione della seconda struttura metallica*

Per migliorare la parete fissare una seconda lastra di cartongesso al centro e ai lati con le apposite viti da cartongesso, sfalsando le lastre rispetto a quelle sottostanti.

Immagine 135 - *Fissaggio della seconda lastra di cartongesso sfalsata rispetto alle prime lastre sottostanti*

2.2 - Applicazione in placcaggio a parete

L'incremento di isolamento acustico dei rumori aerei apportato dalla presenza di una controparete dipende fortemente dalla tipologia adottata. In base al tipo di placcaggio possiamo distinguere i seguenti sistemi applicativi:

- placcaggio diretto su parete;
- placcaggio su orditura metallica o lignea.

2.2.1 - Placcaggio diretto su parete

Nel sistema "a placcaggio diretto" il rivestimento viene applicato alla muratura esistente tramite collante a base di gesso. Generalmente si tratta di un rivestimento composito formato da uno strato esterno e uno o più strati di materiale elastico, ad esempio gomma derivante dal recupero di PFU e un rivestimento fibroso di spessore variabile.
Questa soluzione sfrutta la tecnologia del cartongesso applicata alle pareti tradizionali massive, permettendo così di ottenere un incremento del potere fonoisolante del divisorio in funzione delle condizioni di partenza, il tutto con un esiguo aumento di spessore della partizione.
Il miglioramento dell'isolamento è tanto più netto quanto più la controparete leggera è scollegata dalla parete esistente e dalle pareti laterali lungo il proprio perimetro.

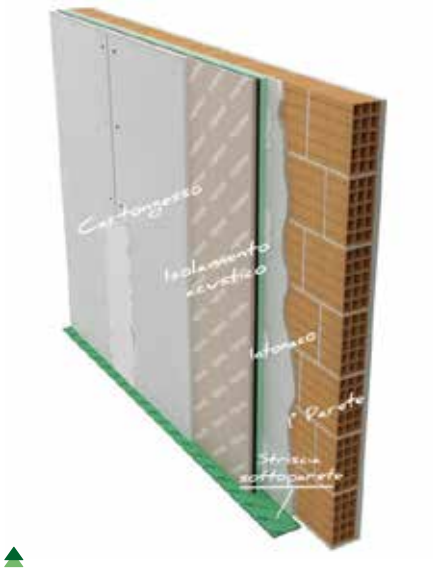


Immagine 136 - *Placcaggio diretto su parete*

Nelle immagini 137, 138 e 139 si riportano i particolari costruttivi riferiti rispettivamente ad un placcaggio da un lato su una parete in blocchi forati intonacati, placcaggio su due lati di una parete in blocchi forati intonacati e rifodera da un lato su parete in cemento armato.

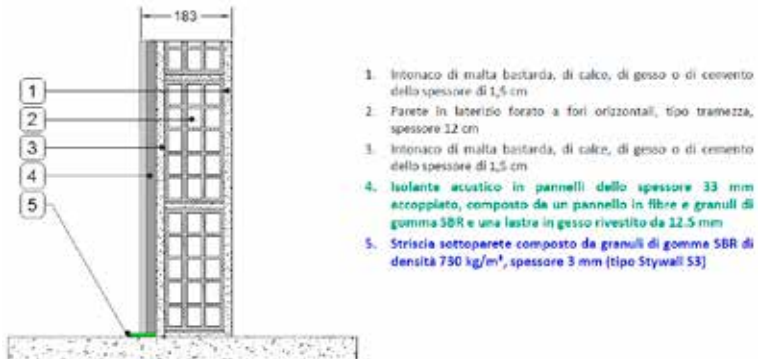


Immagine 137 - *Placcaggio su un lato di una parete in blocchi di laterizio forato*

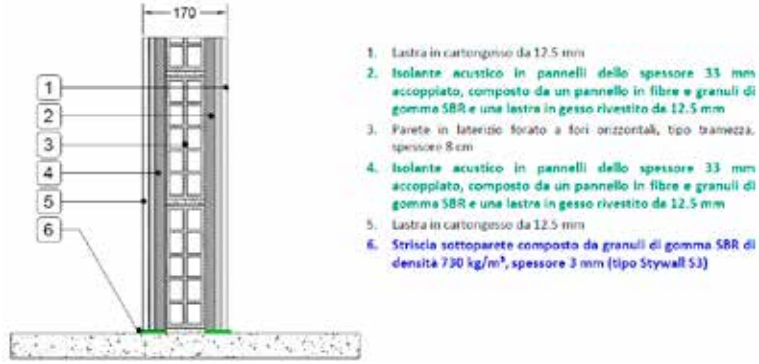


Immagine 138 - *Placcaggio su ambo i lati di una parete in blocchi di laterizio forato*

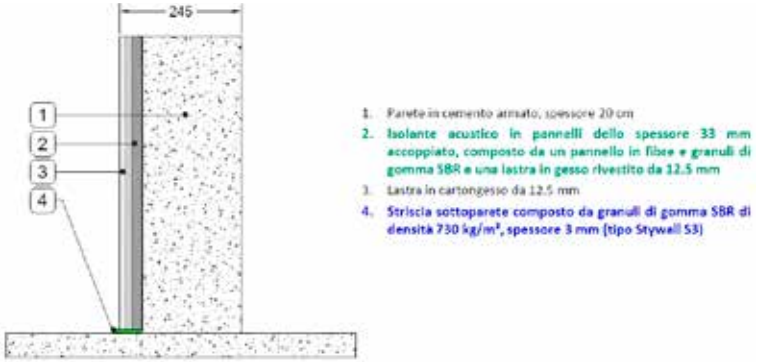


Immagine 139 - *Placcaggio di un setto in c.a.*

Fasi di posa in opera

I pannelli possono essere posati "a colla" o "a chiodi". Di seguito sono riportati entrambi i procedimenti.

Posa "a colla"

La prima fase prevede la posa di una striscia sotto-parete.

Immagine 140 - *Posa della striscia sotto-parete*

Viene successivamente stesa la colla a mucchietti sul pannello, localizzando la colla negli angoli ed al centro del pannello. È consigliabile un quantitativo di colla pari a circa 5 kg/m² per pannello.

Immagine 141 - *Posa della colla per punti sul pannello*

Il pannello viene poi fatto aderire alla parete attraverso una leggera pressione.

Immagine 142 - *Incollaggio del pannello sulla parete*

A distanza di 2/3 ore si può fissare la seconda lastra di cartongesso al centro e ai lati con le apposite viti "a doppio filetto", sfalsando le lastre rispetto a quelle sottostanti.

Immagine 143 - *Applicazione della seconda lastra di cartongesso sfalsandola rispetto alla prima*

Infine viene applicato il nastro in rete e sigillate le giunzioni.

Immagine 144 - *Applicazione del nastro e stuccatura delle giunzioni*

Posa "a chiodi"

Posare la striscia sotto-parete e successivamente forare il prodotto e la muratura sottostante nei punti prefissati con una punta di diametro 10 mm. Fissare il pannello con gli appositi tasselli.

Immagine 145 - *Fissaggio del pannello mediante tasselli alla parete*

Fra un tassello e l'altro incollare l'apposita fascia resiliente.

Immagine 146 - *Incollaggio della fascia tra i tasselli*

Fissare la seconda lastra di cartongesso con colla per punti o con apposite viti "a doppio filetto" posizionate al centro e ai lati dei pannelli. Sfalsare le lastre rispetto a quelle sottostanti.

Immagine 147 - *Fissaggio della seconda lastra di cartongesso sfalsandola rispetto alla prima*

Infine, applicare il nastro in rete nelle giunzioni delle lastre e stuccare le giunzioni.

2.2.2 - Placcaggio su orditura metallica

L'applicazione di un placcaggio su orditura metallica o di legno consente di ottenere ottimi valori di isolamento termico ed acustico anche con pareti di spessore e peso ridotto.
Per tali motivi questo è il sistema più utilizzato per correggere i difetti acustici delle pareti esistenti.
Il placcaggio su struttura metallica consente una maggior libertà progettuale perché si può variare la distanza dalla parete, il numero e la tipologia di pannelli, eventualmente accoppiati a materiali antivibranti, incrementando progressivamente il grado di isolamento. Questa soluzione rende, infine, più agevole l'inserimento dell'impiantistica.

Fasi di posa in opera

La posa in opera è del tutto simile a quella usata per realizzare le partizioni verticali in cartongesso.
Il telaio metallico autoportante offre un maggior grado di libertà in quanto non necessita di fissaggi alla parete ma solo di binari perimetrali avvitati al soffitto e al pavimento, opportunamente isolati con guarnizioni autoadesive, che ne garantiscono il disaccoppiamento e riducono le trasmissioni laterali. L'intercapedine fra le lastre e la parete viene riempita totalmente o parzialmente con i pannelli, che vengono infilati nell'apposita sede dei montanti verticali.
Successivamente vengono avvitate le lastre di cartongesso con uno o più strati.
Al fine di incrementare le prestazioni di fonoisolamento dei pannelli della controparete, questi possono essere accoppiati ad uno strato di materiale elastico pesante, come ad esempio la gomma SBR, che oltre a costituire uno strato antivibrante, determina un incremento della massa della controparete.
Le lastre vengono, infine, posate sfalsate tra loro e la sede delle viti e i giunti di accostamento vanno appositamente stuccati.

2.3 - Applicazione su pareti in legno

In base alle varie tipologie costruttive, le pareti interne le tamponature esterne delle costruzioni in legno possono essere progettate e costruite con travi di legno massiccio (tipologia "Blockhaus"), con pannelli in legno massiccio di tavole incrociate (tipologia "X-Lam") o con strutture intelaiate (tipologia "Platform frame").
In generale tali sistemi sono caratterizzati da montaggi accoppiati di differenti materiali attraverso connessioni a secco o collanti localizzati.
Nel prosieguo del capitolo vengono analizzati i seguenti sistemi costruttivi:

- pareti di tavole incrociate, tipo "X-Lam";
- pareti leggere intelaiate, tipo "Platform frame".

Immagine 148 - *Edificio totalmente realizzato in pannelli di tavole in legno incrociate (sinistra), dettaglio elementi in "X-Lam" (destra)*

2.3.1 - Parete a pannelli di tavole incrociate "X-Lam"

Questo tipo di sistema costruttivo rientra nella categoria degli edifici di tipo massiccio (cfr. Cap.1.2.2). Tale tecnica costruttiva permette di realizzare gli elementi in fabbrica con elevata precisione attraverso macchine a controllo numerico; e successivamente i pannelli vengono assemblati in cantiere.
Al fine di rispettare tutti i requisiti necessari la struttura portante "X-Lam" viene in generale rivestita sia nella parte interna sia in quella esterna.
Sulla superficie esterna viene realizzato normalmente un cappotto termico con rivestimento di finitura in aderenza oppure viene realizzata una parete ventilata con opportuna intercapedine d'aria. Generalmente la finitura superficiale interna è realizzata mediante una controparete in cartongesso, gessofibra, o pannelli di legno costituiti almeno da una doppia lastra sfalsata.
Le pareti di separazione tra due unità abitative vengono invece realizzate attraverso una doppia struttura portante con interposto un materiale isolante fibroso con funzione di assorbimento acustico (immagine 149c).

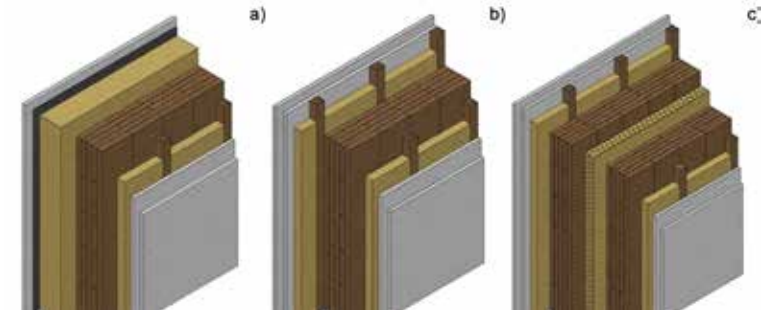


Immagine 149 - *Dettagli costruttivi pareti "X-Lam": a) semplice con cappotto esterno, b) con intercapedine tra impianti, c) divisoria tra unità abitative*

2.3.2 - Pareti leggere intelaiate "Platform frame"

La struttura delle pareti leggere intelaiate "Platform frame" è caratterizzata dalla possibilità di montaggio in cantiere del pannello portante, quindi dalla facilità di trasporto degli elementi e dalla possibilità di risolvere in fase di posagli eventuali errori di tolleranza (vantaggio che la struttura "X-Lam" non conente). Di seguito sono riportati gli aspetti costruttivi principali.
Inizialmente viene costruito il telaio in legno con listelli di sezione opportuna, fissati tra loro attraverso chiodatura o staffe metalliche. Successivamente, vengono fissati pannelli in OSB (*Oriented Strand Board*: pannelli a blocchetti orientati composti da trucioli di legno), legno multistrato, o pannelli in legno-cemento dello

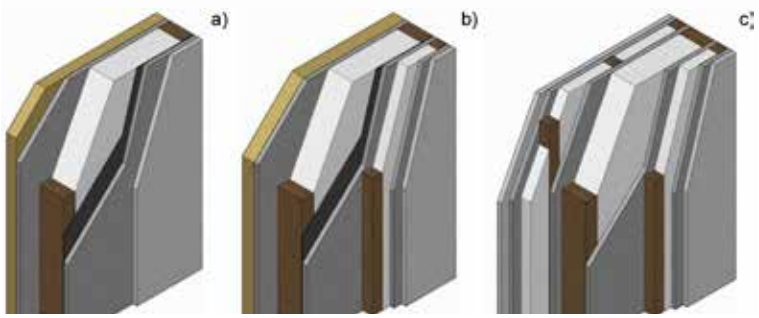


Immagine 150 - *Dettagli costruttivi pareti leggere intelaiate: a) semplice con cappotto esterno, b) con intercapedine per impianti, c) divisoria tra unità abitative*

spessore opportuno. I giunti tra le pannellature vengono nastrati al fine di migliorare la tenuta all'aria degli ambienti interni. All'interno del pannello viene creata una controparete per il passaggio degli impianti che può essere riempita di materiale isolante. All'esterno si applica l'isolante a cappotto e gli strati di finitura.
Il rivestimento esterno può essere sia in legno o altri materiali adatti all'ambiente esterno oppure di intonaco tinteggiato steso su rasatura con rete rinforzante.
Per quanto riguarda le pareti di separazione tra diverse unità abitative (immagine 150c) esse vengono realizzate in modo da separare e rendere indipendenti le due strutture portanti. Tale sistema consiste in una doppia parete con interposto materiale isolante.

3 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento delle fondazioni di un edificio

Le vibrazioni e i rumori percepiti all'interno degli edifici possono giungere dall'esterno, in particolare la vicinanza a infrastrutture stradali, ferroviarie e metropolitane può creare vibrazioni che, attraverso il terreno, vengono trasmesse alle strutture dell'edificio. Per ridurre tale disturbo è possibile intervenire isolando l'intero edificio a partire dalle fondazioni con adeguati sistemi antivibranti.
Occorre dimensionare il tipo di isolante in funzione della tipologia di carico: avremo un isolamento puntuale per fondazioni a plinto, un isolamento a fascia per fondazioni del tipo trave rovescia e un isolamento di tipo continuo per fondazioni a platea.
Le prime due tipologie sono trattate nel Cap.3.1 *Fondazioni puntuali e superficiali*; la terza nel Cap.3.2 *Fondazioni a platea*.
Restano escluse le fondazioni profonde (pali di fondazione) che devono rispettare severi vincoli statici.

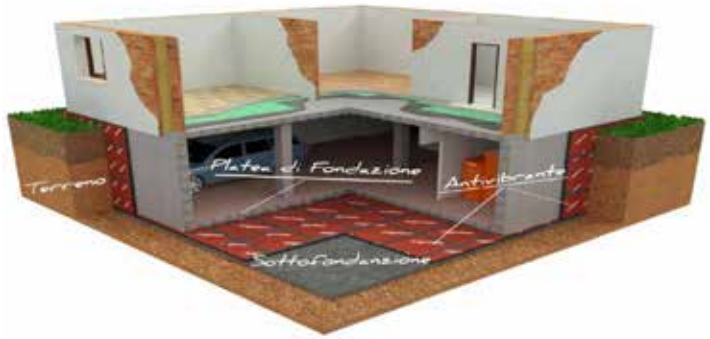


Immagine 151 - *.Applicazione isolante per l'isolamento delle fondazioni di un edificio*

Elementi di base da considerare

In genere prima di realizzare le fondazioni dell'edificio si provvede allo scavo e al successivo getto del magrone di fondazione per creare una base di appoggio.
Una volta gettato il magrone, prima della realizzazione del sistema di fondazione, sia sulla base che lateralmente allo stesso, è necessario prevedere l'inserimento dell'antivibrante.
Questo sistema permette di rivestire l'intera superficie di fondazione con uno strato di materiale antivibrante posizionato sul basamento o su appositi piatti di supporto. Lo strato resiliente di gomma deve essere rivestito con apposite pellicole protettive (es. polietilene) contro l'umidità del getto di calcestruzzo.
Successivamente si provvede alla realizzazione della fondazione secondo le normali procedure di cantiere.

3.1 - Fondazioni puntuali e superficiali

Di seguito vengono riportate le fasi di posa in opera per fondazioni a plinti e a travi rovesce.

Fasi di posa in opera

Per prima cosa occorre realizzare il getto del magrone, che costituisce la base per la fondazione dell'edificio.

Immagine 152 - *Realizzazione del getto del magrone*

La fase successiva riguarda la posa del materassino resiliente alla base di appoggio dei plinti o delle travi di fondazione. Per questa applicazione sono necessari strati resilienti in gomma molto resistenti a compressione, per sopportare il grande carico concentrato senza perdere le proprie caratteristiche di elasticità. Nel caso di fondazione a travi rovesce lo strato resiliente viene posato in strisce sia al di sotto che lateralmente, per separare gli elementi strutturali dal terreno.

Immagine 153 - *Realizzazione di strisce isolanti di fondazione*

Esattamente come avviene per i massetti galleggianti, le giunzioni tra i pannelli devono essere nastrate con apposito nastro adesivo.

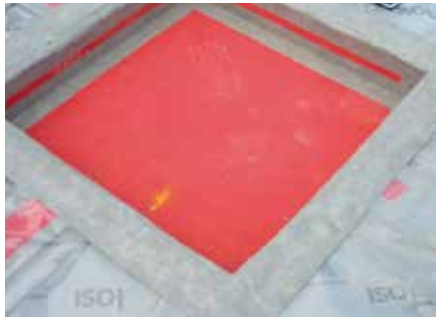


Immagine 154 - *Sigillatura delle giunzioni tra i pannelli con apposito nastro adesivo*

Vengono poi realizzati i plinti e le travi di fondazione. La posa può avvenire in opera ma anche con elementi prefabbricati. In ogni caso lo strato di gomma deve essere protetto, attraverso un film di polietilene contro l'umidità del getto di calcestruzzo.

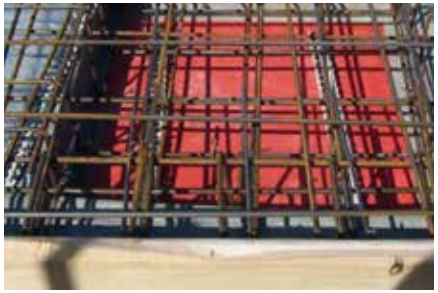


Immagine 155 - *Realizzazione dei plinti e delle travi di fondazione*

3.2 - Fondazioni a platea

In questo capitolo vengono riportate le fasi di posa in opera per le fondazioni a platea.

Fasi di posa in opera

La prima operazione da effettuare è quella di costruire la fossa di contenimento della fondazione, curando che le superfici della base e dei fianchi siano puliti e privi di asperità.

Immagine 156 - *Realizzazione della fossa di contenimento della fondazione*

Vengono poi posati i pannelli di materiale antivibrante, avendo cura di accostarli senza lasciare fessure o cavità lungo i bordi di giunzione.

Immagine 157 - *Posa dei pannelli antivibranti*

Come già ribadito, occorre sigillare bene le giunzioni tra i diversi pannelli mediante apposito nastro adesivo.

Immagine 158 - *Sigillatura delle giunzioni tra pannelli con apposito nastro*

Successivamente i pannelli vengono incollati sui fianchi della fossa con colle poliuretaniche, spalmando la colla su tutta la superficie o distribuendola per punti; i pannelli devono essere posati avendo cura di accostarli con precisione senza lasciare fessure o cavità lungo i bordi di giunzione e nastrati mediante apposito nastro adesivo.

Immagine 159 - *Incollaggio dei pannelli sui fianchi della fossa precedentemente realizzata*

Immagine 160 - *Sigillatura delle giunzioni verticali con apposito nastro*

Infine si può realizzare la fondazione in calcestruzzo direttamente sulla fossa rivestita.

Immagine 161 - *Realizzazione del getto di fondazione*

4 - Posa in opera degli isolanti gommati per l'isolamento degli impianti di un edificio

I materiali a base di gomma proveniente da riciclo di PFU vengono usati per la produzione degli antivibranti, che trovano largo impiego nell'isolamento di impianti ed apparecchiature meccaniche e nell'isolamento di impianti idraulici ed aeraulici.
Nel D.P.C.M. 05/12/1997 la tabella B dell'allegato A prescrive, per le diverse categorie di edifici classificati nella tabella A dello stesso allegato, i livelli massimi di rumore ammissibili dagli impianti a servizio dell'edificio, suddividendoli in:

- impianti a funzionamento discontinuo;
- impianti a funzionamento continuo.

4.1 - Impianti a funzionamento discontinuo

Sono impianti a funzionamento discontinuo gli ascensori, i canali di scarico dei servizi igienici, gli impianti idraulici con funzionamento intermittente e tutti quei sistemi che producono un rumore non continuo nel tempo.

4.1.1 - Ascensori

Gli ascensori sono raggruppabili in due tipologie:

- ascensori idraulici a pistone pneumatico;
- ascensori elettrici a fune.

La prima tipologia è la più silenziosa. Il sistema idraulico per produrre la giusta pressione al sistema pneumatico viene installato in un apposito locale, solitamente a livello del suolo, isolato attraverso l'appoggio su supporti antivibranti. Lo svantaggio di tale soluzione è l'elevato costo dell'impianto ed il limite riguardo il numero di piani raggiungibili.
Gli ascensori elettrici a fune sono trainati da un motore elettrico che è posto sopra il vano ascensore e le cui vibrazioni vanno isolate con opportuni supporti antivibranti.
Le pareti ed il soffitto del vano tecnico in cui è posta la macchina dovrebbero essere opportunamente isolati. Di seguito si riportano alcuni esempi di soluzione tecnica per isolare il vano ascensore. La muratura del vano in cui scorre l'ascensore dovrà essere pesante (almeno 250 kg/m2) e, all'interno degli appartamenti confinanti, a questa verrà addossato un contromuro in laterizio di almeno 8 cm con una intercapedine di 6 cm isolata con almeno 5 cm di materiale fonoassorbente.
In alternativa la controparete potrà essere costituita da una parete leggera in lastre di gesso-fibra ancorate ad un telaio metallico con intercapedine riempita di materiale isolante. Sul telaio verrà avvitata una prima lastra di materiale antivibrante (es. gomma) ricoperta da una seconda in cartongesso da 13 mm.
Per limitare ulteriormente la trasmissione di rumori in fase di progetto è opportuno prevedere un massetto galleggiante su cui appoggiare i dispositivi di movimentazione dell'ascensore con apposito materassino antivibrante.

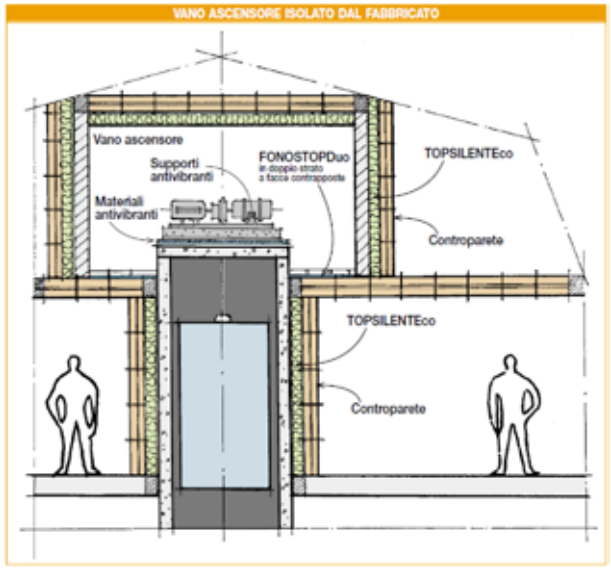


Immagine 162 - *Vano ascensore isolato dal fabbricato*

4.1.2 - Impianti idraulici

La rumorosità dell'impianto idrico-sanitario all'interno di un manufatto edilizio proviene principalmente dalle tubazioni dell'acqua, dalle tubazioni degli scarichi dei servizi e dagli apparecchi sanitari che lo costituiscono.
La fornitura di acqua potabile alle utenze private avviene attraverso un sistema di tubi di diametro commisurato alle esigenze. Il sistema di distribuzione dell'acqua può essere "a pressione" o "a caduta". Il primo sfrutta direttamente la pressione dell'acquedotto ed è integrato, nel caso di edifici molto alti, da pompe e/o autoclavi, posti generalmente al piano terra o nell'interrato. Un attento dimensionamento delle tubazioni tiene anche conto della velocità dell'acqua all'interno di questi; velocità elevate portano alla generazione di rumori ed in alcuni casi anche alla rottura dei dispositivi dell'impianto per sovrappressione.
L'autoclave affiancato da una pompa di circolazione dell'acqua, entra in funzione ogni qualvolta la pressione dell'impianto è insufficiente rispetto alle esigenze. Per queste macchine è opportuno prevedere sistemi di isolamento acustico che possono essere riconducibili alle tipologie di impianto per il riscaldamento ed il condizionamento di cui al par.4.2.

Le pompe devono essere dotate di supporti antivibranti e collegate alle tubazioni attraverso un manicotto di raccordo in gomma antivibrante in modo che le vibrazioni siano smorzate, nella loro totalità, alla base della sorgente stessa.
Sia la pompa che l'autoclave verranno posate su di un basamento di calcestruzzo posto sopra un materiale resiliente dotato di adeguate caratteristiche di resistenza a compressione.
I macchinari saranno situati in opportuni vani tecnici isolati come indicato nei paragrafi successivi, relativi alle soluzioni da adottare per gli impianti di riscaldamento.

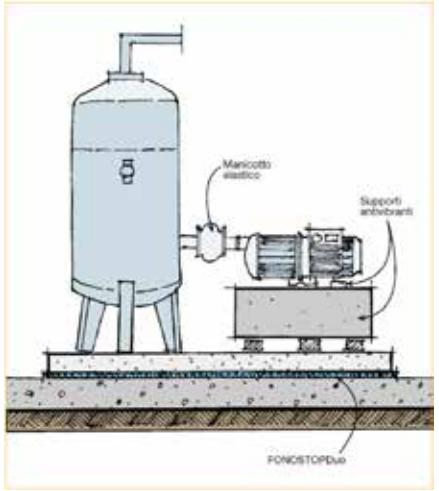


Immagine 163 - *Corretto isolamento di pompe ed autoclavi dal vano tecnico nel quale sono installate*

È inoltre opportuno prevedere un apposito cavedio tecnico in cui far passare le tubazioni. Un cavedio posizionato all'interno di una partizione divisoria tra due unità immobiliari genera un ponte acustico che pregiudica la prestazione di fonoisolamento della parete stessa. Il cavedio dovrà comunque essere completamente rivestito con materiale isolante.

Immagine 164 - *Divisorio tra appartamenti con vano tecnico*

Per migliorare l'isolamento acustico è necessario rivestire le tubazioni con prodotti elastici ad alta densità. Nel caso di tubazioni fissate con collari alle strutture, è necessario impiegare collari dotati di inserti elastici in grado di smorzare le vibrazioni, che altrimenti si propagherebbero verso le strutture a cui l'impianto è collegato.

Fasi di posa in opera

Rimuovere il film adesivo e incollare il prodotto antivibrante attorno alle tubazioni.

Inserire il tubo nell'apposito alloggiamento. I collari degli ancoraggi metallici alle murature che si stringono attorno alle tubazioni devono essere avvolti da materiali con proprietà elastiche.

Immagine 165 - *Inserimento del tubo nell'apposito alloggiamento*

Proseguire con l'applicazione del prodotto attorno alle tubazioni.

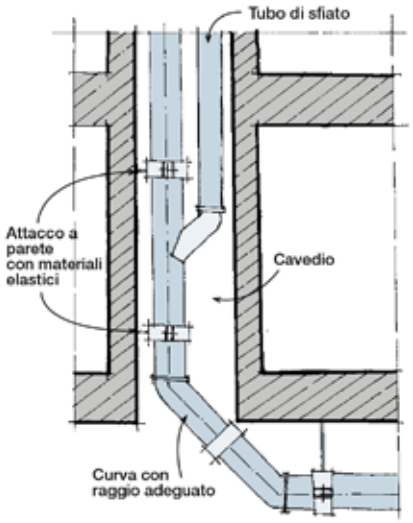
Immagine 166 - *Applicazione del prodotto in gomma riciclata attorno alle tubazioni*

Gli apparecchi sanitari producono rumore sia in fase di alimentazione che di scarico, a cui si aggiunge la rumorosità causata dall'urto di

Immagine 167 - *Stratigrafia dell'applicazione di isolante alle tubazioni*

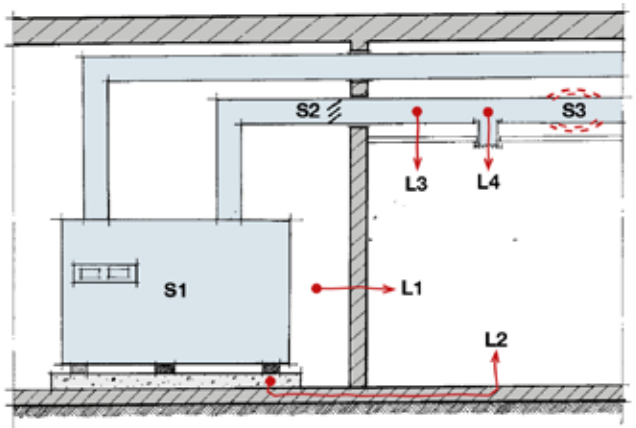
oggetti su di essi: per questo è importante che i rubinetti siano isolati dalle tubazioni come indicato in precedenza e che gli apparecchi siano isolati dalle murature a cui sono fissati per mezzo di materiali elastici.
La colonna di scarico dovrà essere inserita in un cavedio opportunamente isolato, prevedendo attacchi alle pareti mediante collari aventi inserti di gomma, evitando, se possibile, di posizionare gli impianti sui muri che dividono ambienti sensibili come la camere da letto.

Immagine 168 - *Cavedio nel quale viene inserita la colonna di scarico del WC*



4.2 - Impianti a funzionamento continuo

Sono impianti a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, condizionamento e aerazione e, in generale, tutti quei sistemi che producono un rumore costante.
La trasmissione del rumore avviene sia per via aerea, attraverso le componenti stesse dell'impianto (canalizzazioni, canne fumarie e tubazioni, partizioni orizzontali e verticali dell'edificio), che per via strutturale attraverso le vibrazioni dei macchinari.
A titolo di esempio, nello schema di installazione riportato in immagine 169 di un'ipotetica macchina per il condizionamento, le sorgenti del rumore S1 e S2 sono rispettivamente: il ventilatore, i punti singolari dell'impianto di distribuzione dell'aria come le griglie, le curve, le serrande, le variazioni di sezione ecc., a cui va aggiunta anche la vibrazione (S3) che il passaggio dell'aria genera nei condotti di una certa lunghezza.



I percorsi L1, L2; L3 ed L4 attraverso cui si propaga il rumore sono rispettivamente:
- L1 - per via aerea attraverso pareti e solai del locale dove è situata la macchina
- L2 - per via solida si trasmettono le vibrazioni del macchinario attraverso il solaio su cui è installato e le vibrazioni di tutti i componenti dell'impianto che sono collegate alle strutture murarie
- L3 - per via aerea per le vibrazioni generate dalla turbolenza dell'aria nei condotti
- L4 - propagazione del rumore delle sorgenti per via aerea lungo i condotti dell'aria, rumorosità che viene immessa direttamente nei diversi ambienti condizionati attraverso le diverse aperture dei condotti.

Immagine 169 - *Schema di installazione di una macchina dell'impianto di condizionamento*

Riguardo agli impianti di riscaldamento, le sorgenti di rumore sono costituite dal bruciatore, dalla caldaia, dalla pompa e dai collegamenti alla struttura muraria dell'impianto di distribuzione, dove si generano vibrazioni che vengono trasmesse direttamente a pareti e solai, mentre per via aerea viene trasmesso il rumore causato dal bruciatore, dalle pompe e dai vari dispositivi cui si compone l'impianto.
Le vibrazioni della caldaia e della pompa si trasmettono velocemente e a distanza anche lungo le tubazioni dell'impianto che si diramano in tutto il fabbricato e che però dovranno appoggiare su appositi supporti antivibranti. Pertanto le pompe e i camini dovrebbero essere collegati alle tubazioni e alla canna fumaria mediante appositi manicotti elastici e la canna fumaria alloggiata in un apposito cavedio tecnico.

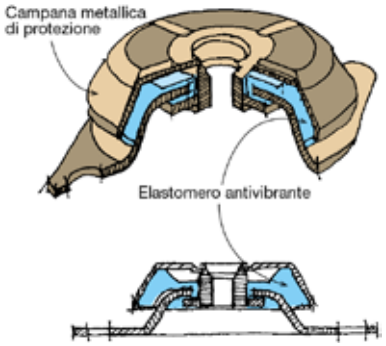


Immagine 170 - *Elastomero antivibrante*

Negli impianti con generatore di calore installato in centrale termica, il vano in cui è installata la caldaia (o l'apparecchiatura del condizionamento in genere), deve essere delimitato da pareti e solai dotati di una massa superficiale elevata. È consigliato un indice del potere fonoisolante, R_w, superiore a 55 dB, avendo accortezza di scegliere la giusta tipologia di parete alla luce del fatto che tali impianti sono caratterizzati da un elevato contenuto energetico in bassa frequenza. A tal proposito è consigliabile l'utilizzo di chiusure verticali e orizzontali massive. Inoltre, è consigliabile inserire materiali fonoassorbenti resistenti al fuoco, per evitare fenomeni di riverberazione all'interno di tale ambiente. Infine, per evitare la trasmissione delle vibrazioni al solaio di calpestio del vano tecnico, è opportuno realizzare un massetto galleggiante.
Negli stabilimenti industriali e nelle abitazioni civili, soprattutto nel caso di importanti complessi edilizi, è molto diffuso l'uso di macchine di rilevante dimensione che generano vibrazioni, quali ad esempio unità di trattamento aria, generatori e altri macchinari ad uso del fabbricato che, oltre a recare un disturbo a livello di rumore aereo, sono estremamente fastidiosi per le vibrazioni indotte alla struttura.
Esistono diversi modi di intervenire, tutti comunque basati sul principio di creare una desolidarizzazione mediante interposizione di uno strato resiliente tra la macchina e la base di appoggio al fine di tagliare le vibrazioni indotte. La scelta tra uno dei sistemi di seguito descritti è basata principalmente sul peso proprio del macchinario.

Immagine 171 - *Tipologie di isolamento di macchine vibranti dal resto dell'edificio*

- macchine leggere (a sinistra): la macchina appoggia direttamente sulla superficie attraverso piedini posati su elementi su elementi discontinui di materiale antivibrante;
- macchine su profilati (al centro): il basamento di sostegno della macchina in profilati in acciaio viene posizionato sopra ad due o più strisce continue di materiale antivibrante;
- macchine fissate a basamenti flottanti (a destra): la macchina viene fissata ad un basamento massivo svincolato dal solaio con un materiale continuo antivibrante.

Fasi di posa in opera

Di seguito sono riportate le fasi di posa in opera dei sistemi isolanti composti da gomma riciclata che sono utilizzati per le tipologie di macchine sopra menzionate.

Macchine leggere e macchine su profilati

Gli elementi o le strisce di materiale antivibrante vengono tagliati a misura (si veda l'apposita scheda di approfondimento riportata in *Appendice*) e appoggiati o incollati al supporto rigido a seconda delle necessità.

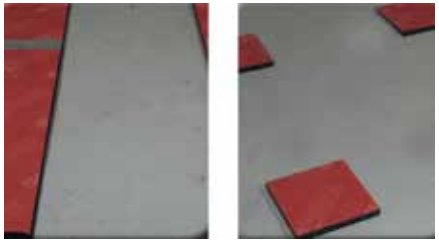


Immagine 172 - *Preparazione delle piastre o strisce in gomma riciclata*

La macchina viene posizionata facendo corrispondere i piedini o i profilati di sostegno rispettivamente alle piastre o alle strisce.

Immagine 173 - *Appoggio del macchinario direttamente sulle piastre o strisce*

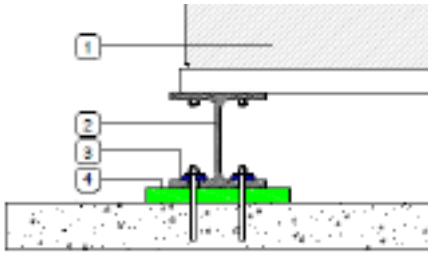


Immagine 174 - *Particolare costruttivo di macchina vibrante su profilato a sostegno*

Fasi di posa in opera

Macchine fissate a basamenti flottanti

La prima fase comprende la posa del supporto antivibrante sulla struttura di sostegno.

Immagine 175 - *Posa del materassino alla base*

I pannelli devono essere accostati con cura e nastrati opportunamente in modo da garantire la continuità del materiale.

Immagine 176 - *Sigillatura delle giunzioni con apposito nastro*

Qualora si debba creare una vasca di contenimento, occorre incollare il materiale antivibrante sulle pareti verticali e sigillare le giunzioni tra pannelli con il nastro.

Immagine 177 - *Incollaggio del materassino sulle pareti verticali*

Successivamente si predispone l'armatura nel cassero del basamento.

Immagine 178 - *Armatura nel cassero del basamento*

Viene quindi realizzata la gettata del basamento.

Immagine 179 - *Realizzazione del massetto sopra il materassino resiliente*

Infine viene posato il macchinario sul massetto flottante.

Immagine 180 - *Posa dell'U.T.A. sopra il massetto realizzato*

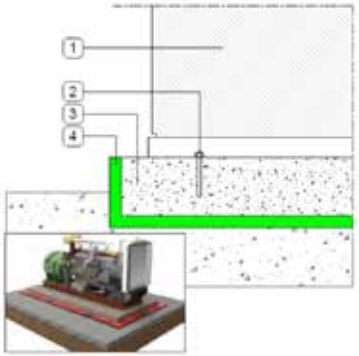


Immagine 181 - *Particolare costruttivo di una macchina vibrante fissata a un basamento flottante*

Appendice

Indicazioni specifiche per la posa in opera di prodotti a base di gomma riciclata da PFU

Nella presente appendice vengono riportate le indicazioni specifiche per la posa in opera dei materiali a base di gomma riciclata da PFU, non presenti nella manualistica oggetto di analisi. Tali indicazioni, suddivise in schede di approfondimento, sono il risultato di un ulteriore studio condotto mediante il confronto con i tecnici di alcune delle principali aziende coinvolte che hanno messo a disposizione la propria esperienza maturata in cantiere nel corso degli anni.

Scheda di approfondimento n. 1

Nastro adesivo specifico per prodotti a base di gomma riciclata da PFU

Immagine 182 - *Nastro adesivo per la sigillatura dei pannelli anticalpestio in gomma SBR nelle zone di sormonto*

I prodotti a base di gomma riciclata da PFU, per la particolare composizione fisico-chimica, necessitano di prodotti specifici con adeguate caratteristiche di potere adesivo e di resistenza meccanica. In particolare, per la nastratura dei pannelli a base di gomma riciclata da PFU si

Caratteristiche tecniche	**dim. Rotolo**	mm. 80x50mt
	rotoli per scatola	24
	supporto	film in poliestere
	colore	bianco
	tipo collante	gomma termoindurente
	adesività su acciaio	3.8 (N/cm)
	adesività dorso	2.2 (N/cm)
	allungamento a rottura	90%
	carico di rottura	40 (N/cm)
	tensione di perforazione	4.5 kV

consiglia di applicare un nastro adesivo telato di tipo americano, le cui principali caratteristiche sono un maggiore potere adesivo rispetto agli standard presenti in commercio e una maggiore resistenza meccanica a strappo. Tale nastro trova largo impiego nei cantieri per realizzazioni di tipo civile, ad eccezione di ambienti molto umidi (es. gallerie).

A titolo di esempio si riporta l'immagine (immagine 182) e la scheda tecnica di un prodotto presente in commercio avente caratteristiche tecniche adeguate. Il nastro adesivo in esame è costituito da un supporto in film di poliestere con collante in gomma termoindurente.

Scheda di approfondimento n. 2

Posa dei pannelli anticalpestio in gomma riciclata da PFU e della fascia perimetrale

In generale per i pannelli anticalpestio in gomma riciclata da PFU con spessore inferiore a 5 mm, al fine di eseguire una corretta desolidarizzazione del massetto galleggiante, è consigliabile sormontare tra loro i pannelli di almeno 10 cm e sigillare tali giunti con i nastri adesivi descritti nella precedente scheda di approfondimento.
Per spessori superiori a 5 mm non è consigliabile sovrapporre i pannelli ma accostarli ed effettuare la successiva nastratura.
Nell'accoppiamento di due pannelli con bordi irregolari o non rettificati a seguito di processi industriali possono generarsi fughe di dimensioni anche significative. Al fine di ripristinare e garantire la continuità del materiale si possono riempire tali fughe mediante granuli sfusi in gomma riciclata da PFU (generalmente di diametro compreso tra 0,8 e 2,2 mm). Nel caso di fughe di pochi millimetri, in alternativa alla soluzione appena descritta, si può usare il silicone per il riempimento degli interstizi. Successivamente all'operazione di riempimento delle fughe si può procedere con la nastratura.
La nastratura deve essere effettuata dopo la posa di due pannelli consecutivi, piuttosto che ad ambiente completato; ciò permette di evitare lo scorrimento dei pannelli e la conseguente generazione di fughe dovuto al passaggio del posatore durante le fasi di lavorazione. Il disaccoppiamento dei pannelli può comportare, al momento della posa del massetto di allettamento, la possibilità di infiltrazioni di malta cementizia negli interstizi, andando a collegare rigidamente il massetto di allettamento con il massetto porta impianti o il solaio nel caso di soluzione monostrato, vanificando di fatto l'efficacia acustica del sistema.
Quando si prevede che l'arco di tempo che intercorre tra la posa del materiale anticalpestio e il getto del massetto di allettamento sia significativo (indicativamente superiore a un mese), ad esempio per la realizzazione di grandi complessi residenziali, occorre verificare la tenuta della fascia perimetrale e della nastratura dei pannelli. Può accadere infatti che la banda laterale di disaccoppiamento perimetrale e le nastrature tra pannelli perdano la loro efficacia adesiva, generando di fatto un deterioramento del sistema di posa. Realizzando il getto del massetto di allettamento in tali condizioni, si perde completamente l'efficacia acustica del sistema. Tale problematica può essere risolta aggiungendo del collante nelle bande di disaccoppiamento perimetrali, e utilizzando un nastro adesivo realizzato in tessuto antistrappo sintetico che garantisca una maggiore resistenza.
La fascia perimetrale può essere realizzata sia in gomma che in polietilene, tuttavia, dato che per tale elemento non sono richieste particolari funzioni di resistenza di carico, viene spesso preferito il polietilene per le maggiori capacità adesivizzanti e per i costi di produzione delle fasce inferiori rispetto alla gomma.

Immagine 183 - *Sega da banco e flessibile per il taglio dei pannelli in gomma*

Per la fascia perimetrale adesiva un utile accorgimento è quello di inserire delle graffette di collegamento tra la fascia e la parete inserite negli ultimi centimetri di altezza, nella parte della fascia che a fine lavori verrà rimossa. A conclusione della posa in opera del pavimento, quando viene eseguita l'operazione del taglio della bandella perimetrale in eccesso, si provvederà alla rimozione delle graffette.
Una volta collocati i pannelli anticalpestio, la fascia perimetrale viene posata al di sopra del materassino acustico. Tale operazione permette l'incollaggio tra la fascia perimetrale e il materassino anticalpestio dovuto alla presenza di uno strato adesivo nella parte inferiore della fascia stessa, andando così a sigillare l'angolo durante la posa del massetto di allettamento.

Scheda di approfondimento n. 3

Taglio dei pannelli in gomma riciclata da PFU

Per pannelli in gomma riciclata da PFU con spessore inferiore a 5 mm il taglio può essere realizzato mediante un taglierino tradizionale. Quando lo spessore è compreso tra 5 e 10 mm è possibile impiegare un taglierino elettrico a lama circolare (tipo flessibile).
Per spessori superiori a 10 mm si utilizza una sega da banco o una smerigliatrice a velocità regolabile.
In generale tutti gli strumenti automatici impiegati per il taglio della gomma devono essere dotati di una lama a dentatura fine e una velocità regolabile. È importante mantenere una bassa velocità di rotazione della lama in considerazione del fatto che un'eccessiva velocità di rotazione può portare alla bruciatura della gomma e, di conseguenza, all'alterazione delle caratteristiche elastiche del materiale.

Scheda di approfondimento n. 4

Accorgimenti per massetti umidi

Nel caso di massetti umidi (sabbia-cemento, autolivellanti, ecc.), la malta cementizia tende ad infiltrarsi nelle fessure del materassino in gomma, compromettendo potenzialmente la prestazione acustica del sistema. Per ovviare a tale problematica si consiglia sempre di usare

un film in polietilene di spessore pari ad almeno 80 μm, al di sopra della gomma, consentendo la protezione del materiale in gomma durante le operazioni di posa del massetto di allettamento. Anche il film di polietilene deve essere opportunamente nastrato, esattamente come avviene per i pannelli accostati.

Scheda di approfondimento n. 5

Posa di prodotti anticalpestio su solaio sotto rivestimento di finitura: piastrella in materiale ceramico, lapideo e parquet multistrato incollato

Nel caso di materiale anticalpestio posato sotto un rivestimento di finitura in materiale lapideo o parquet incollato, si consiglia l'utilizzo di gomma, sughero o gomma-sughero. La scelta ricade sull'uno o sull'altro materiale in base alla reperibilità dello stesso.
I pannelli a base di gomma riciclata da PFU, nel caso specifico, hanno uno spessore di circa 3 mm. La gomma riciclata da PFU, a differenza del polietilene, presenta una maggiore resistenza meccanica a compressione e al carico concentrato, che possono portare alla rottura della pavimentazione per flessione della stessa. Inoltre i prodotti a base di gomma installati sotto il pavimento si ritengono idonei anche nel caso di sistema radiante, previa verifica della resistenza termica della pavimentazione secondo la norma UNI EN 1264.
Indipendentemente dal tipo di gomma utilizzato, si individuano due casi di installazione al di sotto del pavimento, come di seguito descritti:

- Per materiale ceramico o lapideo, il materassino di isolamento acustico in sughero e gomma riciclata da PFU deve essere incollato al massetto di allettamento mediante adesivi polimerici in dispersione acquosa. Posato il telo anticalpestio occorre passare un rullo di carico al fine di distribuire uniformemente l'adesivo sul suo rovescio. Successivamente si proseguirà con la posa in opera della pavimentazione mediante specifico collante cementizio sul materiale anticalpestio stesso. I dati tecnici presi come esempio per questo tipo di collante sono riportati nella tabella 5.

Caratteristiche tecniche	Dati identificativi del prodotto	
Spessore	2 mm	4mm
Peso (kg/m²)	1,36	2,70
Lunghezza (m)	30	20
Larghezza (m)	1	1
Resistenza termica R (m²K/W)	0,024	0,048
Materiale	ricomposto di sughero e gomma legato con poliuretano	
Colore	marrone-nero	
Packaging	rotoli	
EMICODE	EC1 Plus - a bassissima emissione	
Allungamento a rottura EN ISO 1798 (%)	20	
Resistenza a trazione EN ISO 1798 (n/mm²)	0,6	
Riduzione del rumore da calpestio ΔL_w secondo ISO 10140-3 (ex ISO 140-8)	10 dB* * n° PX213561-1	

Tabella 5 - *Dati tecnici relativi al tipo di adesivo utilizzato per l'incollaggio di ceramica o materiale lapideo su membrana in sughero e gomma riciclata*

- Per parquet multistrato incollato il materassino di isolamento acustico in sughero e gomma riciclata da PFU deve essere incollato al massetto di allettamento mediante un adesivo poliuretanico o ai sililati specifico per legno. Posato il telo anticalpestio occorre passare un rullo di carico al fine di distribuire uniformemente l'adesivo sul suo rovescio. Successivamente si proseguirà con la posa in opera del parquet mediante il medesimo adesivo impiegato per l'incollaggio del materassino. I dati tecnici presi come esempio per questo tipo di collante sono riportati nella tabella 6.

Caratteristiche tecniche		
	Dati identificativi del prodotto	
	Consistenza	pasta cremosa
	Colore	beige
	Massa volumica (g/cm³)	1,50
	Residuo solido (%)	100
	Monometro libero (%)	<0,1
	Viscosità Brookfield (mPa·s)	32.000 ± 4.000
	EMICODE	EC1 - a bassissima emissione
	Dati applicativi (a +23°C e 50% U.R.)	
	Temperatura di applicazione permessa	da +10°C a +35°C
	Tempo aperto (formazione pelle)	140 min
	Tempo di registrazione	4 h
	Pedonabilità	dopo 12 h
	Levigatura	dopo 3 gg
	Prestazioni finali	
	Durezza Shore A (7 gg a +23°C)	43
	Adesione legno-calcestruzzo (N/mm²)	1,8
	Adesione legno-ceramica (N/mm²)	1,3
	Allungamento a rottura (7 gg a+23°C)	225
	Temperatura di esercizio	da -10°C a +70°C

Tabella 6 - *Dati tecnici relativi al tipo di adesivo utilizzato per l'incollaggio di parquet multistrato su membrana in sughero e gomma riciclata*

Scheda di approfondimento n. 6

Posa di prodotti anticalpestio in solaio sotto rivestimento di finitura: parquet flottante

Nel caso di installazione in parquet flottante (montaggio con tecnica "a secco") possono essere impiegati diversi tipi di materiale. Nel caso del materassino in gomma, questo viene appoggiato sul massetto di allettamento senza l'utilizzo di collanti. Successivamente si procede alla posa della pavimentazione mediante il semplice appoggio del parquet sul materassino in gomma. Al fine di ridurre il passaggio o la risalita di vapore per via interstiziale, prima della posa del materassino in gomma è consigliabile applicare un film in polietilene che deve essere opportunamente nastrato.

Immagine 184 - *Appoggio del parquet "a secco" sul materassino in gomma*

Glossario

- ***Allungamento a trazione.*** Espresso in percentuale sulla dimensione iniziale del provino, indica quanto il materiale, sottoposto a trazione, può deformarsi prima di rompersi. Importante per valutare l'usura in situazione di cantiere.
- ***Carico statico permanente.*** Pressione esercitata dal peso complessivo degli elementi che poggiano sulla superficie dello strato resiliente. L'unità di misura è N/mm^2.
- ***Carico dinamico.*** Pressione esercitata dalle sollecitazioni d'esercizio dei carichi che gravano su uno strato resiliente. Indicata generalmente in merito alle sollecitazioni provocate dal movimento dei macchinari di impianti o industrie. L'unità di misura è N/mm^2.
- ***Coefficiente di conducibilità del vapore.*** Vedi "Permeabilità al vapore"
- ***Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore.*** Esprime quanto la resistenza al passaggio del vapore di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e temperatura. Rappresenta una caratteristica dei materiali da costruzione e va determinato secondo specifiche prove di laboratorio. Si indica con μ e per l'aria il suo valore è pari a 1. La resistenza al vapore è legata alla densità del materiale: materiali con maggiore densità esercitano una maggiore resistenza al passaggio del vapore. Il coefficiente di resistenza al passaggio del vapore è fondamentale per prevedere fenomeni di condensa interstiziale nei componenti edilizi.
- ***Comportamento a compressione.*** Indica la capacità di un materiale resiliente sottoposto a compressione di deformarsi elasticamente mantenendo gli spessori e le caratteristiche meccaniche originali nel tempo. Tale valore può essere stimato da prove di laboratorio eseguendo le indicazioni contenute nella norma UNI 12431, che permette di attribuire ai materiali una classe di comprimibilità, da

CP2 a CP5. In alternativa si può indicare il comportamento a compressione riportando il carico di compressione e la percentuale di deformazione dello spessore conseguente.

- ***Conduttività o conducibilità termica.*** Rapporto tra il flusso di calore ed il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore. L'unità di misura è W/(m·K). La conduttività esprime l'attitudine di una sostanza a trasmettere calore. È una proprietà che varia in base al tipo di materiale.
- ***Controparete.*** Parete costruita in addossamento ad una parete esistente. Sono definite "pesanti" quelle costituite da materiali da costruzione tradizionali, "leggere" quelle costituite da lastre di gesso rivestito, montate su strutture metalliche o incollate in accoppiamento con pannelli isolanti (placcaggio).
- ***Creep.*** Vedi "Scorrimento viscoso".
- ***Densità.*** Rapporto tra la massa di un corpo ed il suo volume. L'unità di misura è il kg/m^3.
- ***Desolidarizzazione.*** Azione o tecnica costruttiva (ideale per gli interventi di isolamento acustico dei fabbricati) in cui si mantengono isolati, introducendo materiali resilienti, elementi il cui contatto consentirebbe la trasmissione delle vibrazioni e quindi del rumore. Un esempio di questa tecnica è costituito dalle fasce tagliamuro.
- ***Elemento tecnico.*** Elemento costruttivo considerato nel presente documento per la valutazione dei requisiti acustici; in particolare sono assunti i seguenti elementi tecnici: le partizioni interne verticali, le partizioni interne orizzontali, le facciate che delimitano e conformano gli ambienti interni all'edificio, gli elementi di impianto a funzionamento continuo o discontinuo che servono gli ambienti interni.
- ***Frequenza di risonanza.*** In base alle dimensioni di ogni corpo soggetto ad una sollecitazione acustica, si ha il fenomeno della risonanza, al quale corrisponde una caduta del potere fonoisolante a determinate frequenze, denominate appunto "di risonanza". Per pareti pesanti le frequenze di risonanza possono essere talmente basse da non essere udibili, mentre per superfici vetrate la frequenza di risonanza è più alta.
- ***Impianto a funzionamento continuo.*** Impianto fisso il cui livello sonoro emesso nel tempo sia essenzialmente costante; rientrano in questa tipologia gli impianti di riscaldamento, climatizzazione, ricambio d'aria, estrazione forzata.
- ***Impianto a funzionamento discontinuo.*** Impianto fisso il cui livello sonoro emesso non è costante nel tempo e che è caratterizzato da brevi periodi di funzionamento rispetto al tempo di inattività durante l'arco di una giornata; rientrano in questa tipologia gli impianti sanitari, di scarico, gli ascensori, i montacarichi e le chiusure automatiche.
- ***Legge di massa.*** Legge usata per valutare il potere fonoisolante dei rumori aerei di pareti e solai omogenei, in cui l'aumento della massa areica determina un aumento dell'isolamento della partizione considerata.
- ***Livello di rumore da calpestio $L'_{n,w}$.*** Livello di rumore misurato in dB quando sul pavimento del solaio sovrastante è acceso un generatore di rumore normalizzato. Il D.P.C.M. 05/12/1997 determina i valori massimi di $L'_{n,w}$ per i solai di separazione fra unità immobiliari distinte.
- ***Massa superficiale o areica.*** Rapporto tra la massa di un elemento e la sua superficie unitaria, espresso in kg/m^2.
- ***Misura di laboratorio.*** Procedimento di misura eseguito in laboratorio conforme ai metodi di prova normalizzati, i cui risultati sono usati per la previsione progettuale dell'isolamento degli edifici.
- ***Misura in opera.*** Procedimento di misura eseguito nell'edificio per la verifica dei requisiti acustici secondo metodi di prova normalizzati.
- ***Modulo elastico o modulo di Young.*** Grandezza che descrive la tendenza di un corpo a deformarsi lungo un asse direzionale su cui è applicata una tensione. Si definisce come rapporto tra tensione e deformazione in condizioni di carico monoassiale di trazione e di comportamento del materiale di tipo elastico. Si misura in N/mm^2.
- ***Partizione.*** Insieme degli elementi tecnici orizzontali e verticali del sistema edilizio aventi funzione di dividere ed articolare gli spazi interni del sistema stesso delimitando le diverse unità immobiliari e gli ambienti accessori e di servizio di uso comune o collettivo.
- ***Permeabilità al vapore o coefficiente di conducibilità del vapore.*** Quantità di vapore (in kg) che attraversa lo spessore di 1m di un certo materiale con una superficie di 1m^2 per una differenza unitaria di pressione di vapore. Si indica con δ e si misura in kg/(m·s·Pa). Materiali con alti valori di permeabilità sono più facilmente attraversabili dal vapore.
- ***Potere fonoisolante R_w e potere fonoisolante* apparente *R'_w.*** Prestazione di isolamento acustico di una partizione dai rumori aerei generati all'interno dell'edificio, espresso in dB. Identificato dal simbolo R_w, rappresenta la prestazione della partizione misurata in laboratorio quando il rumore passa per sola trasmissione diretta attraverso di essa. Se invece è identificato dal simbolo R'_w rappresenta la prestazione della partizione inserita nel contesto edilizio, quando il rumore la attraversa sia per via diretta sia per via laterale attraverso le partizioni confinanti. Tra questi due valori R_w è quasi sempre maggiore di R'_w, perché la trasmissione laterale del rumore diminuisce la prestazione isolante della partizione. Il D.P.C.M. 05/12/1997 fissa i valori minimi di R'_w per gli elementi di separazione fra distinte unità immobiliari.
- ***Resistenza al flusso.*** Rapporto tra la differenza di pressione esercitata sulle due facce di un corpo e la portata d'aria del flusso che fuoriesce dal corpo sottoposto a tale sollecitazione. Rappresenta la resistenza che l'aria incontra al passaggio trasversale attraverso il materiale. È un parametro intrinseco di ogni materiale e si misura in Pa·s/m^2.
- ***Reazione al fuoco.*** Grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. Esso dipende da vari fattori come l'infiammabilità, la velocità di propagazione delle fiamme, il gocciolamento, la post-incandescenza, lo sviluppo di calore nel tempo, la produzione di fumo, la produzione di sostanze nocive. In base alla reazione al fuoco, ad ogni materiale è assegnata una classe di comportamento al fuoco. In Italia il D.M. 26 giugno 1984 stabilisce la presenza di classi da 0 a 5, in ordine crescente di infiammabilità con la classe 0 che comprende i materiali incombustibili. La normativa europea UNI EN 13501-1 invece classifica i materiali secondo classi dalla A alla F in ordine di infiammabilità. Un'ulteriore classificazione per determinare la reazione al fuoco è quella tedesca data dalla normativa DIN 4102 che suddivide i materiali in classe decrescente di infiammabilità da A1 a B3. Tra le diverse scale la normativa prevede una tabella di confronto.
- ***Resistenza a trazione.*** Caratteristica meccanica di un corpo. Esprime la capacità di un materiale di deformarsi sottoposto ad una sollecitazione di trazione prima di rompersi. Normalmente si esprime in kg/cm^2, ma all'interno delle schede tecniche

di strati resilienti per l'edilizia, si trova molto più spesso espressa in N/mm^2. Si ricorda comunque che 1 N/mm^2 corrisponde a circa 10 kg/cm^2.

- ***Resistenza termica.*** Inverso della trasmittanza della partizione. È il risultato della sommatoria delle resistenze termiche di ogni singolo strato che la costituisce, comprensiva delle resistenze laminari interna ed esterna. Dipende dal rapporto fra lo spessore di ogni strato e la conducibilità termica del materiale di cui è formato.
- ***Rigidità dinamica.*** Parametro intrinseco di un materiale resiliente, usato per il calcolo dell'attenuazione del livello dei rumori di calpestio ΔLw e rappresentato con s›. Rappresenta la costante elastica del materiale resiliente usato per i pavimenti galleggianti che costituisce la molla del sistema massa-molla. È legata direttamente alla frequenza di oscillazione libera del sistema ed è definita come il rapporto tra la forza dinamica e lo spostamento dinamico (variazione di spessore del provino); si misura in MN/m^3 e si calcola attraverso il procedimento descritto nella normativa UNI EN 29052/1 dopo aver determinato la rigidità dinamica apparente s'_t, conoscendo la resistenza al flusso d'aria del materiale resiliente. Le prestazioni isolanti sono maggiori con bassi valori di rigidità dinamica.
- ***Rigidità dinamica apparente.*** Indicata con s'_t, si misura in MN/m^3. Si ottiene per calcolo attraverso la norma UNI EN 29052/1 dopo la misura della frequenza di risonanza del sistema massa-molla analizzato. Si definisce "apparente" e non può essere usata per il calcolo previsionale perché contiene anche il contributo della rigidità dinamica dell'aria o del gas contenuto nel materiale.
- ***Risonanza acustica.*** Fenomeno per cui l'ampiezza delle vibrazioni di un materiale o di un sistema sollecitato da forze periodiche assume valori particolarmente elevati che determinano una caduta delle capacità di isolamento.
- ***Rumore aereo.*** Rumore che si genera nell'aria e viene trasmesso attraverso la variazione di pressione dell'aria (es. parlato, apparecchi, impianti). Nella valutazione acustica di un edificio si distinguono quelli provenienti dall'esterno, il cui isolamento riguarda la facciata del fabbricato, e quelli provenienti dall'interno per le attività svolte, il cui isolamento riguarda invece le partizioni verticali e orizzontali divisorie delle diverse unità immobiliari dell'edificio.
- ***Rumore degli impianti.*** Rumore determinato dal livello sonoro degli impianti a funzionamento continuo (es. terminali di condizionamento) ed a funzionamento discontinuo (es. scarichi, ascensore, ecc.). Viene misurato in dB in opera nell'ambiente maggiormente disturbato e deve rispettare i limiti fissati dal D.P.C.M. 05/12/1997.
- ***Scorrimento viscoso o creep.*** Differenza tra deformazione iniziale e deformazione nel tempo in seguito all'applicazione di un carico statico, misurata per un periodo non inferiore a 90 giorni. Una prova condotta per 120 giorni può consentire di estrapolare il valore di scorrimento viscoso sulla durata di circa dieci anni. Lo scorrimento viscoso si misura in mm.
- ***Smorzamento.*** Velocità con cui un impulso applicato ad un sistema viene completamente assorbito. Strati con alto smorzamento all'interno di un componente edilizio consentono di attenuare l'ampiezza dell'oscillazione trasmessa e ridurre la durata della vibrazione. Solitamente materiali con bassi valori di rigidità dinamica sono caratterizzati anche da bassi valori del coefficiente di smorzamento.
- ***Strato resiliente.*** Strato di separazione fra elementi rigidi la cui caratteristica principale è quella di non permettere la trasmissione attraverso la struttura dell'edificio delle vibrazioni causate da urti sulle sue partizioni.
- ***Temperatura di funzionamento.*** Espressa in °C, è la temperatura entro la quale il materiale riesce a mantenere le proprie caratteristiche fisiche e le proprie prestazioni. Nelle schede sono riportate la temperatura minima e la massima tra quelle dei prodotti raccolti.
- ***Trasmittanza.*** Esprime la potenza termica dispersa dalla superficie unitaria di una partizione edilizia quando la differenza di temperatura fra i due ambienti divisi dalla partizione è di 1°C. La trasmittanza termica è l'inverso della resistenza termica.

Riferimenti

Riferimenti legislativi e normativi

[1] D.P.C.M. 05/12/1997 “Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti”.

[2] UNI 9916: 2004 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”.

[3] UNI EN ISO 10140-2 “Acustica - Misurazione in laboratorio dell’isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Parte 2: Misurazione dell’isolamento acustico per via aerea”.

[4] UNI EN ISO 12354-1 “Acustica edilizia; Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Isolamento acustico tra ambienti interni”.

[5] UNI EN ISO 12354-2 “Acustica edilizia; Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Isolamento acustico al calpestio tra ambienti”.

[6] UNI EN ISO 12354-3 “Acustica edilizia; Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - isolamento acustico dal rumore esterno”.

[7] UNI EN ISO 12354-5 “Acustica edilizia; Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici”.

[8] UNI TR 11175 “Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale”.

[9] UNI EN ISO 13790 “Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”.

[10] UNI EN ISO 13789 “Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo”.

[11] UNI EN ISO 6946 “Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo”.

[12] D. Lgs. 19 agosto 2005, n. 192 “Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia”.

[13] Decreto interministeriale 26 giugno 2015 “Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”; “Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di

progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici"; "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

[14] UNI 10351 "Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore".

[15] UNI EN ISO 10211 "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati".

[16] UNI EN ISO 14683 "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento".

[17] UNI EN ISO 13788 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo".

[18] UNI 11516 "Indicazioni di posa in opera dei sistemi di pavimentazione galleggiante per l'isolamento acustico".

[19] UNI EN 1264-1:2011 "Riscaldamento a pavimento - Impianti e componenti - Definizioni e simboli".

[20] UNI EN 1264-2:2013 "Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento ed il raffrescamento integrati nelle strutture. Parte 2: Riscaldamento a pavimento: metodi per la determinazione della potenza termica mediante metodi di calcolo e prove".

[21] UNI EN 1264-5:2009 "Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento ed il raffrescamento integrati nelle strutture. Parte 5: Superfici per il riscaldamento e il raffrescamento integrate nei pavimenti, nei soffitti e nelle pareti - Determinazione della potenza termica".

[22] UNI EN ISO 140-11:2005 "Misurazione in laboratorio della riduzione del rumore di calpestio trasmesso da rivestimenti di pavimentazioni su un solaio leggero normalizzato".

[23] UNI EN 12825:2003 "Pavimenti sopraelevati".

Bibliografia

- AETOLIA VZ, “Catalogo Prodotti”, 04/2015.
- INDEX Construction Systems and Products, “Guida all’isolamento acustico dei fabbricati”, 2014.
- ISOLGOMMA, “Catalogo tecnico” 2015.
- ISOLGOMMA, “Soluzioni solai X-Lam”, 2015.
- ISOLGOMMA, “Manuale di posa”, 2006.
- EDILTECO, “Catalogo generale edilizia dB Red”, 06/2015.
- EDILTECO, “Posa in opera dB Red Piano Zero”, 11/2014.
- EDILTECO, “Sistema Piano Zero dB Red”, 11/2014.
- “Catalogo sistema DAMPER isolamento acustico” PROJECT FOR BUILDING.
- “Prestazioni acustiche passive degli edifici in legno: Risultati del collaudo in opera”, articolo a cura di A.Piffer, E.Resenterra.
- PETRAL, “Manuale tecnico”, 01/2014.
- MAPEI, Schede tecniche “Mapesonic CR” e “Ultrabond Eco P992 1K”, 08/2015.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano le seguenti aziende per aver fornito la documentazione necessaria dei prodotti impiegati per la stesura delle schede tecniche di approfondimento:

Aetolia vz (**www.aetoliavz.it**)
Edilteco (**www.edilteco.it**)
Isolgomma (**www.isolgomma.com**)
Mapei (**www.mapei.com**)
Petral (**www.petral.it**)
Project For Building (**www.projectforbuilding.com**)

Un ringraziamento particolare va alle aziende Aetolia VZ, Edilteco e Isolgomma per il supporto tecnico fornito per la definizione delle peculiarità di posa in opera dei prodotti a base di gomma riciclata da PFU.

Progetto grafico: *Peja Design;*
Fotografie: *ICP, Videoservice Italia, Gabriele Peja.*
Stampa: *TMB Stampa Roma.*
Finito di stampare nel mese di ottobre 2016.

Ti potrebbe interessare anche:

10
L'impiego della gomma riciclata in edilizia
Proprietà acustiche, termiche e strutturali

15
L'impiego della gomma riciclata in edilizia
Le prestazioni in opera degli isolanti gommati

Ecopneus Scpa
Via Messina, 38 Torre B
20154 Milano

Tel.: +39 02.92.970.1
Fax: +39 02.92.970.299

E-mail: info@ecopneus.it
Web: www.ecopneus.it