



Provincia di Verona

Comune di Pescantina

Settore Lavori Pubblici

Via Madonna n.49 - 37026 Pescantina - T. 045 6764226-230

OGGETTO:

**SOSTITUZIONE SERRAMENTI ESTERNI SCUOLA
SECONDARIA PER ADEGUAMENTO PRESTAZIONE
ENERGETICA E ACUSTICA**
in frazione Ospedaletto di Pescantina, Via Montindon

IL PROGETTISTA:

ING. MATTEO SALVETTI

IL R.U.P.:

ING. BRUNO FANTINATI

ELABORATO:

**Valutazione Previsionale dei Requisiti
Acustici Passivi di Progetto**

N. ELABORATO:

**19.PE
RAP.01**

CODICE IDENTIFICATIVO GARA (C.I.G.)

Z5B375EE20

DATA

sett 2022

REV

1



Via Sardegna, 19
37139 Verona
Tel. +39 045 8905560
Fax +39 045 8917826
info@studiosalvetti.it
matteo.salvetti@ingpec.eu



**Comune di Pescantina
Provincia di Verona**

**SOSTITUZIONE SERRAMENTI ESTERNI SCUOLA SECONDARIA IN FRAZIONE
OSPEDALETTO PER ADEGUAMENTO PRESTAZIONE ENERGETICA E ACUSTICA**

PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO

STUDIO DI PREVISIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI
D.M. 11/10/2017 – UNI 11367:2010



Elaborazione a cura di:



via sardegna, 19 - verona
info@studiosalvetti.it



Committente: **COMUNE DI PESCANTINA
VIA MADONNA, 49
37026 PESCANTINA (VR)**

Studio incaricato: **ING. SALVETTI MATTEO
VIA SARDEGNA, 19
37139 VERONA**

Team di lavoro -
Tecnici operatori e redattori
del documento: **ING. MATTEO SALVETTI
TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA N° 935 ENTECA**
**DOTT. CARLO ADAMI
TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA N° 523 ENTECA**

Oggetto: **STUDIO DI PREVISIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI
D.M. 11/10/2017 - UNI 11367:2010**

Incarico Pubblica
Amministrazione:

Data: **22 Settembre 2022**

PREMESSA

Il Comune di PESCANTINA ha dato incarico all'ing. Matteo Salvetti per l'analisi previsionale delle caratteristiche di isolamento acustico di facciata dell'edificio scolastico di OSPEDALETTO nell'ambito dei "LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA SCUOLA SECONDARIA IN FRAZIONE OSPEDALETTO DI PESCANTINA: Installazione nuovi serramenti in alluminio a taglio termico con vetri di sicurezza basso emissivi".

La scuola è oggetto di un progetto di ristrutturazione e riqualificazione energetica nella quale è prevista la sostituzione di tutti i serramenti esterni e quindi si configura una modifica sostanziale, in termini di prestazione acustica delle facciate.

Allo scrivente viene fatta richiesta di studiare, in via previsionale, le prestazioni acustiche delle facciate dei locali nei quali si prevede la presenza e permanenza di persone per lunghi periodi (aule, uffici, studi ed affini).

In particolare, viene chiesto di fornire le caratteristiche acustiche dei serramenti, espresse come potere fonoisolante R_w , affinché le prestazioni di isolamento acustico delle facciate, nel loro complesso, rispettino il requisito di legge.

Per quanto attiene al parametro legislativo, le norme di riferimento da considerare sono:

- a) D.P.C.M. 5/12/1997 che impone un requisito di facciata D_{2mnTw} almeno pari a 48.0 dB o, in alternativa
- b) Criteri Ambientali Minimi (CAM) con riferimento al D.M. 11/10/2017 il quale, richiamando la norma UNI 11367:2010, chiede un requisito di facciata D_{2mnTw} almeno pari a 43.0 dB.

Sul punto, l'Amministrazione Comunale di Pescantina ha espressamente richiesto la conformità delle prestazioni di isolamento acustico di facciata con riferimento specifico al D.M. 11/10/2017, e pertanto lo studio che segue avrà come obiettivo la dimostrazione del requisito di facciata D_{2mnTw} almeno pari a 43.0 dB.

Mediante procedure analitiche, ovvero con applicazione di modelli di calcolo dedicati, si provvederà a determinare, in via previsionale:

- le caratteristiche acustiche delle strutture edilizie e degli elementi che compongono le facciate dei locali adibiti a permanenza di persone (aule ed uffici). È esclusa la palestra, non oggetto di intervento.
- le caratteristiche di comfort acustico all'interno dei locali ad uso didattico di una stanza campione in 4 scenari di possibile correzione tenendo in considerazione le soluzioni esistenti.

Oltre a quanto sopra si è ritenuto opportuno effettuare un monitoraggio acustico della sonorità complessiva dell'area nella quale si trova l'edificio scolastico al fine di valutare il clima acustico esistente.

Al momento della redazione alcuni dettagli non sono ancora stati completamente definiti, in forma esaustiva e completa; pertanto, tale documento può essere considerato come relazione di pianificazione acustica sui requisiti acustici passivi dell'edificio di progetto nella quale vengono riportate delle indicazioni tecniche vincolanti ed altre da discutere nel dettaglio in fase di realizzazione.

La fase di posa dei serramenti è un elemento essenziale nel trasferire quanto di seguito studiato in via previsionale in concreto nell'opera finita. L'applicazione di quanto contenuto nelle norme serie UNI 11673 ed in particolare UNI 11673-1:2017 - "Posa in opera di serramenti – Parte 1: Requisiti e criteri di verifica della progettazione" ed UNI 11296:2018 Acustica in edilizia – Posa in opera di serramenti, diventa elemento essenziale per la buona riuscita dell'intervento.

L'elaborazione dei dati e le relative considerazioni si basano sull'analisi degli elaborati grafici forniti dal progettista.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO E MATERIALI

La normativa di riferimento considerata è la seguente:

Legge 26 ottobre 1995 n. 447 - Legge quadro sull'inquinamento acustici.

D.P.C.M. 5 dicembre 1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.

DM 11/10/2017 - Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

UNI 11532-2:2020 - Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico.

UNI 11673-1:2017 - "Posa in opera di serramenti – Parte 1: Requisiti e criteri di verifica della progettazione".

UNI 11296:2018 Acustica in edilizia – Posa in opera di serramenti.

UNI EN 12354-2017 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti.

UNI 11175-1 e -2 - Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Parte 1: Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale. Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Parte 2: dati di ingresso per il modello di calcolo

ECHO 8.2 - Software per la previsione dei requisiti acustici passivi realizzato da ANIT.

SIMBOLOGIA

<i>R</i>	Potere fonoisolante di un elemento [dB]
<i>R'</i>	Potere fonoisolante apparente [dB]
ΔR_i	Incremento del potere fonoisolante mediante strati aggiuntivi per l'elemento <i>i</i> [dB]
<i>R_w</i>	Indice di valutazione del potere fonoisolante (EN ISO 717-1) [dB]
ΔR_w	Indice di valutazione dell'incremento del potere fonoisolante (EN ISO 717-1) [dB]
<i>R'_w</i>	Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (EN ISO 717-1) [dB]
<i>C</i>	Termine di adattamento allo spettro 1 (EN ISO 717-1) [dB]
<i>C_{tr}</i>	Termine di adattamento allo spettro 2 (EN ISO 717-1) [dB]
<i>T₆₀</i>	Tempo di riverberazione in cui l'energia sonora decresce di 60 dB dopo lo spegnimento della sorgente sonora [s]
<i>L_n</i>	Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato [dB]
<i>L_{n,w}</i>	Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato [dB]
<i>L'_{n,w}</i>	Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato, in opera (EN ISO 717-2) [dB]
<i>L'_{nT,w}</i>	Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, in opera [dB]
ΔL_n	Attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato di un rivestimento di pavimentazione [dB]
$\Delta L_{n,w}$	Indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato dovuto ad un rivestimento di pavimentazione (EN ISO 717-2) [dB]
<i>C_i</i>	Termine di adattamento allo spettro per il rumore da calpestio (EN ISO 717-2) [dB]
<i>D_{nT,w}</i>	Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione [dB]
<i>D_{2m,nT,w}</i>	Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione (EN ISO 717-1) [dB]
<i>D_{n,e}</i>	Isolamento acustico normalizzato di piccoli elementi di edificio [dB]
<i>D_{n,e,w}</i>	Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di piccoli elementi di edificio [dB]
<i>K</i>	Termine di correzione per la trasmissione laterale [dB]
<i>STI</i>	Speech Transmission Index - indice di trasmissione del parlato
<i>C 50</i>	L'indice di Chiarezza è definito nella norma ISO 3382-1

VALORI DI RIFERIMENTO PER ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

Con il decreto 11 ottobre 2017 "Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili. (GU Serie Generale n.23 del 28-1-2017)" il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare all'art. 1 adotta i criteri ambientali minimi per l'«Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici» (allegato 2) andando quindi ad aggiornare e sostituire i criteri ambientali minimi pubblicati in allegato al decreto ministeriale del 24 dicembre 2015.

REQUISITI ACUSTICI PASSIVI - isolamento acustico di facciata

In particolare, si legge nel testo, *gli ospedali, le case di cura e le scuole devono soddisfare il livello "prestazione superiore" riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A alla norma UNI 11367:2010.*

I valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio devono altresì rispettare i valori caratterizzanti come "prestazione buona" nel prospetto B1 dell'Appendice B alla norma UNI 11367:2010.

Con riferimento al solo requisito di isolamento acustico di facciata, la normativa sui CAM prevede il rispetto di un valore D_{2mnTw} almeno pari a 43.0 dB che risulta essere 5 dB inferiore rispetto al valore fissato dal DPCM 5/12/1997.

L'Indice di valutazione utilizzato, D_{2mnTw} , è lo stesso indicato dal DPCM 5/12/1997.

Nella tabella riportata nella pagina successiva si riassumono i valori di riferimento previsti alla normativa tecnica UNI 11367:2010. Con sfondo giallo è stato evidenziato il requisito di facciata oggetto di analisi.

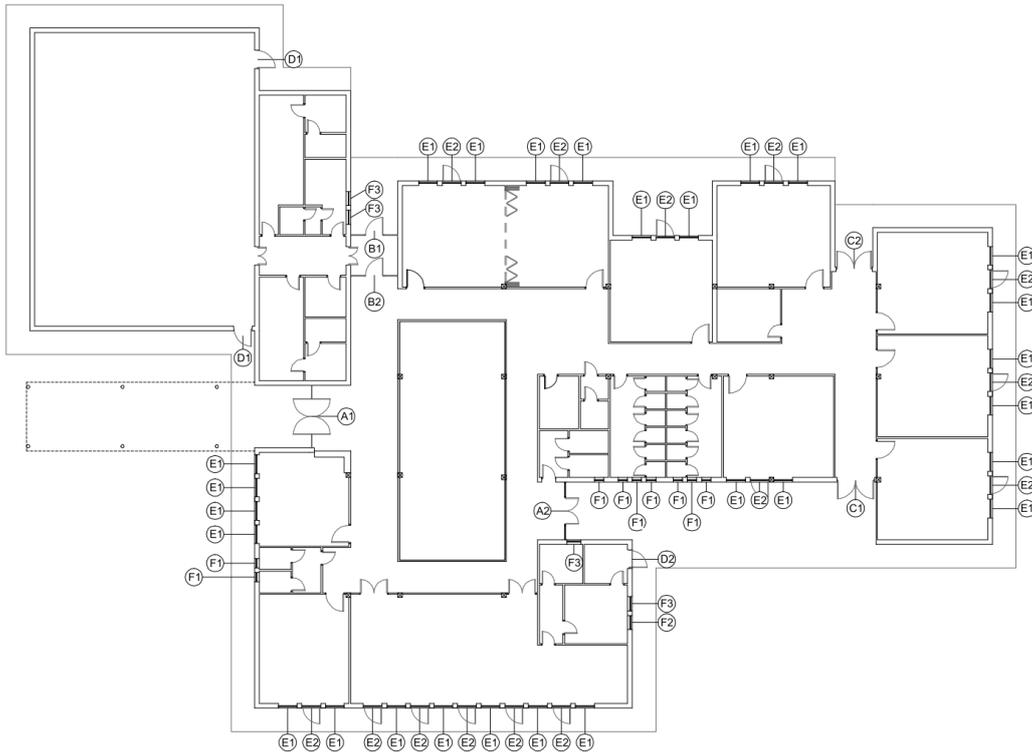
DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento riguarda il progetto di ristrutturazione e riqualificazione energetica e comprende la sostituzione dell'intero parco serramenti. Lo studio di previsione riguarda quindi il calcolo teorico dell'isolamento acustico di facciata $D_{2m,Tw}$ relativamente ai locali uffici ed aule.

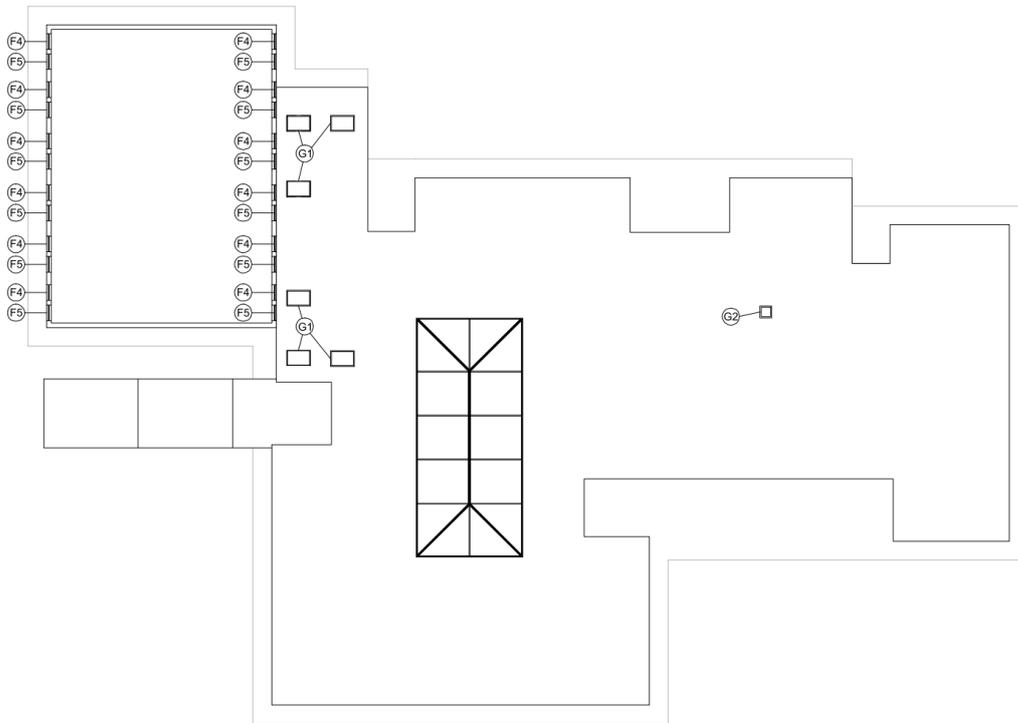
Si riportano di seguito gli elaborati grafici di progetto.



ORTOFOTO CON INDIVIDUAZIONE IMMOBILE - fuori scala



PIANO TERRA



PIANO PRIMO

MODALITA' ANALITICHE DI PREVISIONE

L'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, con misura in esterno effettuata a 2 metri di distanza della facciata ($D_{2m,Tw}$), caratterizza la capacità della facciata, relativamente ad una singola stanza o locale, di abbattere il rumore proveniente dall'esterno.

Tale indice dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata, dalla forma esterna della facciata e dalle dimensioni della stanza in esame.

L'indice $D_{2m,Tw}$ viene calcolato con la seguente formula

$$[1] \quad D_{2m,Tw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6T_0 S_{tot}} \right) \text{dB}$$

dove:

- R'_w è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della facciata [dB]
- ΔL_{fs} è il termine correttivo che quantifica l'influenza delle caratteristiche della facciata [dB]
- V è il volume interno del locale considerato [m^3]
- T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento, assunto pari a 0,5 s
- S_{tot} è la superficie di facciata vista dall'interno [m^2]

L'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (R'_w) della facciata è calcolato sulla base dei valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante (R_w) dei singoli elementi che la costituiscono (elementi opachi, serramenti) e sulla base degli indici di isolamento acustico (D_{new}) dei piccoli elementi presenti su di essa.

Per piccoli elementi si intendono gli elementi di edificio, con l'eccezione di porte e finestre, con area minore di 1 m^2 . Ad esempio, vengono considerati piccoli elementi le bocchette di ventilazione, gli ingressi d'aria ed i cassonetti delle tapparelle. Nel caso in esame non vi è la presenza di piccoli elementi.

Per lo studio di previsione delle prestazioni di isolamento acustico di facciata si è fatto riferimento al modello ECHO 8.1 di ANIT. Si tratta di un software sviluppato da ANIT che, note le caratteristiche acustiche degli elementi che compongono la facciata, permette di stimare il requisito di isolamento acustico ad opera realizzata.

ELEMENTI DI FACCIATA

Le soluzioni progettuali di seguito proposte sono finalizzate al rispetto in opera del limite di legge relativo all'indice di isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w} \geq 43 \text{ dB}$ derivante dalla normativa sui CAM sopra descritta.

E' opportuno rilevare che i dati tecnici contenuti della presente relazione tecnica di previsione dell'edificio oggetto di studio, rappresentano una stima, formulata a livello teorico, delle prestazioni acustiche dei sistemi costruttivi (materiali e modalità costruttive) di futuro impiego che saranno installati.

Il risultato prestazionale ad opera ultimata, in ragione di quanto proposto, sarà funzione della corretta scelta delle tecniche costruttive e delle modalità di posa in opera dei materiali impiegati (già richiamate norme UNI 11673-1:2017 - "Posa in opera di serramenti – Parte 1: Requisiti e criteri di verifica della progettazione" e UNI 11296:2018 Acustica in edilizia – Posa in opera di serramenti).

L'analisi previsionale proposta, quindi, non può essere intesa quale garanzia certa del rispetto del requisito di legge ad opera ultimata.

La determinazione dell'isolamento acustico di facciata di una parete tiene conto di tutti i suoi componenti, in particolare:

- superficie e volume del locale interno a cui la singola facciata si riferisce;
- dipendenza dalla forma della facciata;
- stratigrafia della parete divisoria tra ambiente esterno/interno (parte opaca);
- tipologia del serramento (infisso e vetratura).

Quanto di seguito riportato ha quindi valore prescrittivo circa le prestazioni acustiche minime che questi elementi dovranno avere al fine di ottemperare ai requisiti richiesti dalla legislazione vigente.

Superficie e volume del locale interno a cui la singola facciata si riferisce

Il calcolo della superficie e del volume dei locali protetti dalle singole facciate, le tipologie di infissi installate e la superficie totale trasparente relativa agli infissi sono riportati nelle schede relative ai risultati.

Forma della parete perimetrale di facciata

Il requisito $D_{2m,nT,w}$ dipende, oltre che dalle prestazioni acustiche dei vari elementi che costituiscono la facciata, dalla conformazione di eventuali aggetti esterni alla facciata, quali balconi e cornicioni.

L'influenza della forma della facciata, che può essere positiva o negativa, viene quantificata mediante il termine correttivo ΔL_{fs} , definito dalla seguente relazione:

$$\Delta L_{fs} = L_{1,2m} - L_{1,s} + 3 \text{ dB}$$

dove:

- $L_{1,2m}$ è il livello medio di pressione sonora rilevato a 2 m dal piano di facciata;
- $L_{1,s}$ è il livello medio di pressione sonora rilevato, effetto di riflessione incluso, sulla superficie esterna della facciata.

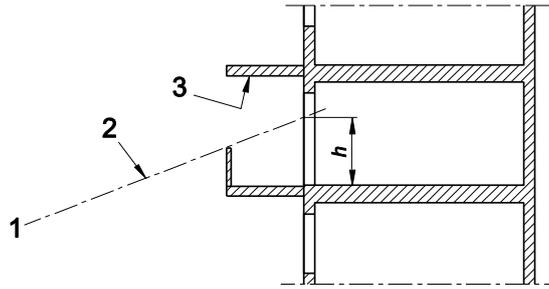
Nel prospetto seguente sono riportati alcuni esempi di ΔL_{fs} correlati alle caratteristiche di facciata, all'assorbimento acustico delle superfici di sotto-balcone ed al modo d'incidenza delle onde sonore.

La forma della facciata è definita dalla sua sezione verticale, in cui sono riportati solo gli schermi acustici significativi, ovvero, per esempio, i parapetti dei balconi a sezione piena, privi cioè di aperture rilevanti. L'assorbimento α_w si riferisce all'indice di valutazione dell'assorbimento acustico come definito dalla UNI EN ISO 11654. Il valore massimo di $\alpha_w = 0,9$ si applica anche qualora sia assente una superficie riflettente sopra la parte di facciata considerata.

La direzione dell'onda sonora incidente sulla facciata si caratterizza mediante l'altezza definita dalla intersezione tra la linea di veduta dalla sorgente ed il piano di facciata come illustrato in figura.

Legenda

- 1 Sorgente
- 2 Linea di veduta
- 3 Assorbimento α_w



Elementi opachi verticali esterni – isolamento per via aerea

Per quanto riguarda i tamponamenti verticali esterni le murature esistenti sono realizzate:

- Murature in laterizio semipieno da 30 e cappotto da 4 cm

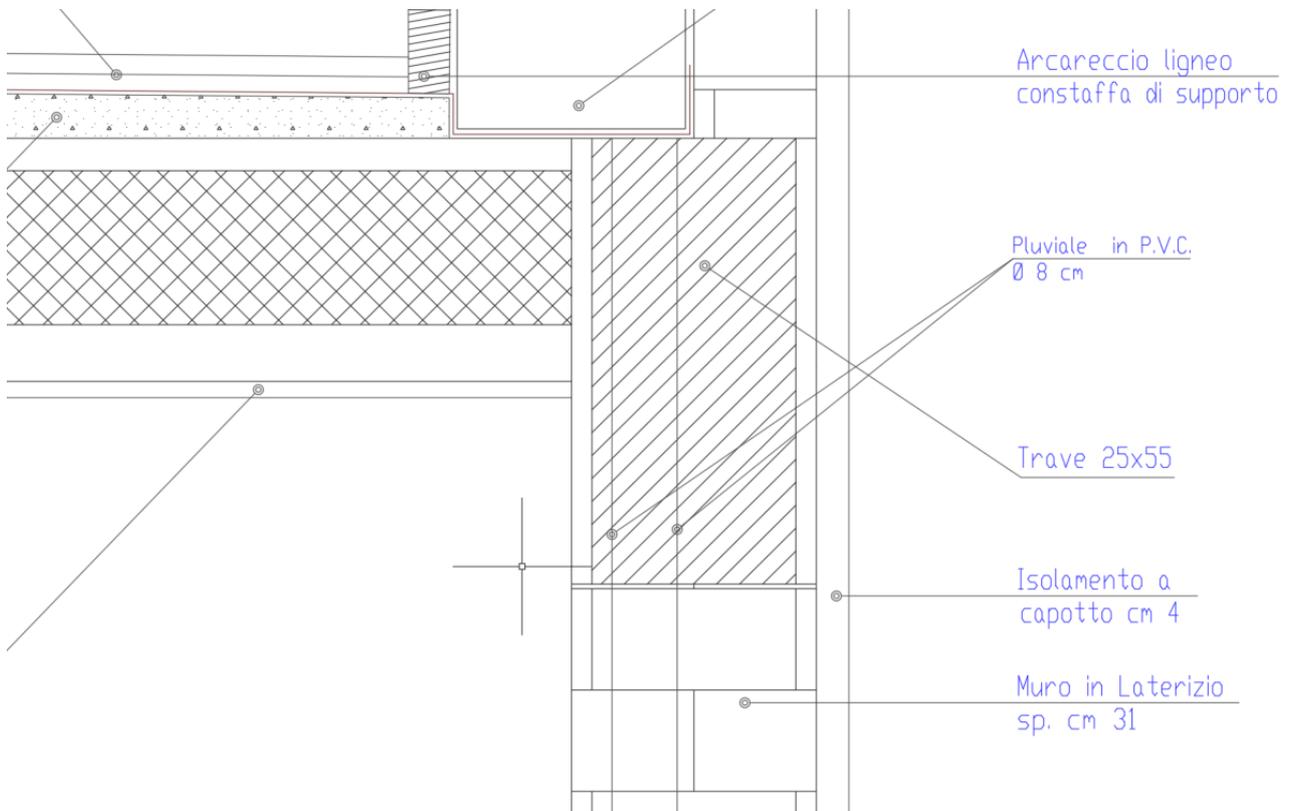


Fig. 1: stratigrafia muratura perimetrale

Per tali pareti è stata considerata una massa aerica stimata tra 350 Kg/m².

Applicando le più diffuse formulazioni empiriche, tra cui la relazione di cui alla norma UNI EN ISO 12354 - 2017:

FORMULE DA UNI EN ISO 12354:2017

Pareti monostrato ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 37,5 \log(m') - 42$ [dB]
Pareti monostrato Austria ($m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 32,4 \log(m') - 26$ [dB]
Pareti monostrato Francia ($m' \geq 150 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 40 \log(m') - 45$ [dB]
Pareti monostrato Gran Bretagna ($m' \geq 50 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 21,65 \log(m') - 2,3$ [dB]
Pareti monostrato Italia ($m' \geq 80 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 20 \log(m')$ [dB]
Germania ($65 \text{ kg/m}^2 \leq m' \leq 720 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 30,9 \log(m') - 22,2$ [dB]
Questa formula viene utilizzata in Germania per:	
<ul style="list-style-type: none"> • pareti omogenee in cemento, blocchi calcio silicato, mattoni • solai in cemento 	

La parete come sopra indicata ha una prestazione di isolamento acustico, espresso come Indice di valutazione del potere fonoisolante, stimato pari a

Rw = 50 dB per il muro usato nei calcoli come un 46 per mancanza di dati precisi.



Descrizione del serramento (infixo e vetratura)

L'inserimento di finestre, porte-finestre, vetrate nella parete perimetrale causa una perdita di isolamento, poiché trattasi di sistemi acusticamente "deboli".

Di conseguenza, i serramenti dovranno essere "ad alta tenuta acustica" opportunamente certificati dal produttore con un indice di isolamento teorico adeguato e riferito al serramento nel suo complesso (telaio + vetratura).

Il progetto prevede la presenza di finestre e portefinestre di dimensioni molto variabili. Lo studio di previsione che segue considera l'impiego di serramenti aventi le seguenti caratteristiche:

Test eseguiti	Norme tecniche di riferimento	Classificazione del serramento
Permeabilità all'aria	EN 1026 – UNI EN 12207	4
Tenuta all'acqua	EN 1027 – UNI EN 12208	E1050
Resistenza al vento	EN 12211 – UNI EN 12211	C4

La progettazione dovrà prevedere un vetro ad elevate prestazioni acustiche, costituito da due o tre lastre stratificate, di diverso spessore, accoppiate con film acustico in PVB, caratterizzate da un potere fonoisolante indicato dal costruttore:

Rw = 49-51 dB

Questa è solo una indicazione iniziale in quanto è l'intero serramento determinante nella riuscita del progetto.

Si ricorda infatti che anche i serramenti devono sottostare alla Marcatura CE secondo la norma tecnica UNI EN 14351-1 la quale prescrive, tra le altre, l'obbligatorietà (cogente dal 01/02/2010) dell'indicazione delle prestazioni acustiche.

Nella posa in opera degli infissi sarà fondamentale installare tutti i serramenti con idonei accorgimenti tecnici, come la chiusura su guarnizioni ad elevata tenuta e con battuta sui 4 lati e prevedere il loro montaggio con sigillanti (es. con nastri autoespandenti multifunzione) con specifiche caratteristiche acustiche (saranno da evitare sigillature con schiume poliuretatiche standard perché queste ultime sono caratterizzate da ottime caratteristiche termiche ma da pessime proprietà acustiche). A tal proposito, dovrà essere posta estrema cura nella realizzazione, nella posa e nella sigillatura delle casse morte, essendo spesso proprio l'interfaccia muratura-cassa morta il punto acusticamente più delicato che può vanificare il potere fonoisolante di una parete anche molto efficiente acusticamente.

Si consiglia l'utilizzo sigillanti con caratteristiche specifiche per la posa dei moderni serramenti. Prodotto per uso professionale che possono permettere di ottemperare ai requisiti di isolamento termico e acustico in relazione alle recenti normative sulla marcatura dei serramenti.

In linea teorica per quanto riguarda le prestazioni dei sigillanti, l'indice del potere fonoisolante R_s dei materiali di sigillatura e riempimento deve essere determinato ai sensi dell'Appendice J della norma UNI EN ISO 10140-1, ripreso dalla UNI 11673-1:2017 e UNI 11296:2018.

Prestazioni minime dei sigillanti

R_w del settamento (dB)	R_s del sigillante secondo l'appendice J della UNI EN ISO 10140-1 (dB)
33	≥ 45
36	≥ 50
39	≥ 55
≥ 40	≥ 58

Per il caso in esame dovranno essere impiegati sigillanti certificati (nastri multifunzione autoespandenti + schiuma poliuretana a saturazione) aventi valore certificato minimo $R_{s,t,w} \geq 58$ dB (ultimo punto della tabella sopra).

Rispetto al calcolo sotto riportato è stato considerato un prodotto con isolamento acustico $R_{ST,w} = 61$ dB

Per quanto riguarda la compatibilità tra le tipologie di sigillanti fluidi e i substrati si fa riferimento alla norma UNI 11296, di cui si riporta un estratto del prospetto 4 UNI 11673-1:2017.

prospetto 4 Compatibilità tra tipologie di sigillanti fluidi e substrati

Tipo di supporto	Tipo di sigillante
Alluminio/Alluminio	Siliconico acetico (se alluminio anodizzato) Siliconico neutro (se alluminio verniciato) Poliuretano (se protetto dagli UV) Butilico MS Polimero
Alluminio/Vetro	Siliconico acetico (se alluminio anodizzato) Siliconico neutro Poliuretano (se protetto dagli UV) Poliisolfurico MS Polimero
Alluminio/Muro (mattoni, CLS)	Siliconico neutro Poliuretano (se protetto dagli UV) Poliisolfurico Acrilico MS Polimero
Vetro/Vetro	Siliconico acetico (se vetro senza coating) Siliconico neutro (se vetro con coating) Poliuretano (se protetto dagli UV) Poliisolfurico
Vetro/Legno	Siliconico neutro Acrilico (se legno non verniciato) Poliuretano (se protetto dagli UV) Poliisolfurico MS Polimero
Materie plastiche/Materie plastiche	Siliconico neutro Poliuretano (se protetto dagli UV) MS Polimero
Pietre naturali (marmi, graniti, ecc.)/Pietre naturali (marmi, graniti, ecc.)	Siliconico neutro specifico MS Polimer Altri sigillanti: solo se dichiarati compatibili dal fabbricante degli stessi
Rame - ottone - lamiere zincate/verniciate	Siliconico neutro Poliuretano (se protetto dagli UV) MS Polimero
Acciaio/Acciaio inox	Siliconico acetico Siliconico neutro Poliuretano (se protetto dagli UV) Poliisolfurico Butilico MS Polimero
Muro (mattoni, CLS, ecc.)/Muro (mattoni, CLS, ecc.)	Siliconico neutro Poliuretano (se protetto dagli UV) Poliisolfurico Acrilico MS Polimero

Infine, le porta-finestre e le finestre dovranno essere accuratamente registrate prima dell'eventuale verifica in opera finale.

Al fine del rispetto in opera del parametro D_{2mnTw} sarà fondamentale realizzare con cura il nodo serramento/muro. La figura seguente rappresenta, schematicamente, il tipico ponte acustico che si può determinare tra muratura e serramento quando il serramento è montato "in luce".

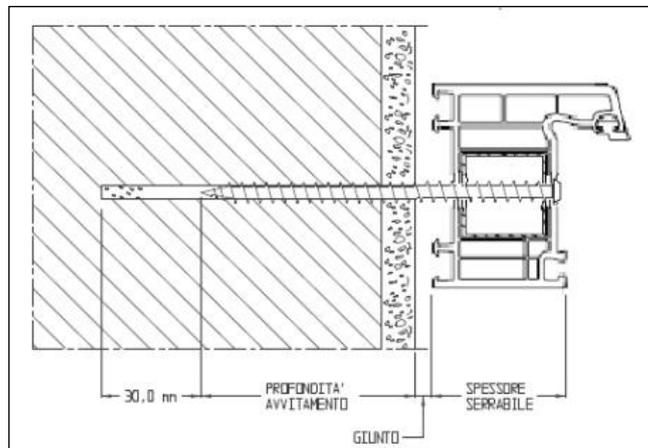


Fig. 2: serramento montato in luce

Al fine di ottimizzare la resa acustica del serramento e quindi la prestazione acustica della facciata, è fondamentale l'eliminazione del ponte acustico.

La soluzione del serramento montato in battuta è sicuramente più performante dal punto di vista acustico.

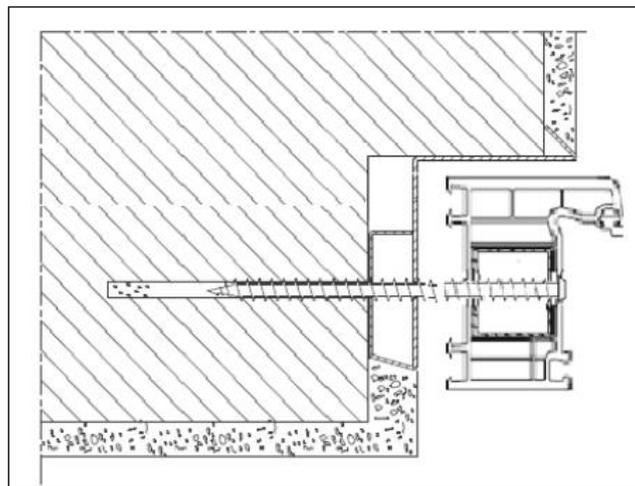


Fig. 3: serramento montato in battuta

La direzione lavori, unitamente all'impresa costruttrice, dovranno adoperarsi allo scopo di adottare sistemi costruttivi in grado di eliminare il ponte acustico in oggetto. Per il raggiungimento del requisito di legge oltre alle prestazioni dei singoli componenti, è necessaria una posa degli elementi eseguita a regola d'arte secondo le prescrizioni della norma UNI 11673-1:2017 dal titolo "Posa in opera di serramenti – Parte 1: Requisiti e criteri di verifica della progettazione" e UNI 11296:2018 Acustica in edilizia – Posa in opera di serramenti.

La dimensione dei giunti d'installazione è fondamentale per prevenire inconvenienti nella posa dei serramenti e non comprometterne le prestazioni. Tali dimensioni possono essere anche fissate dal capitolato, dalle prescrizioni del fabbricante e/o da altri documenti contrattuali.

La progettazione dei giunti di installazione deve considerare l'alloggiamento del serramento, nonché gli isolamenti e le sigillature sui seguenti tre piani funzionali:

- 1) piano di tenuta agli agenti atmosferici;
- 2) piano di permeabilità all'aria interna dell'edificio;
- 3) piano di isolamento termo-acustico e di fissaggio meccanico.

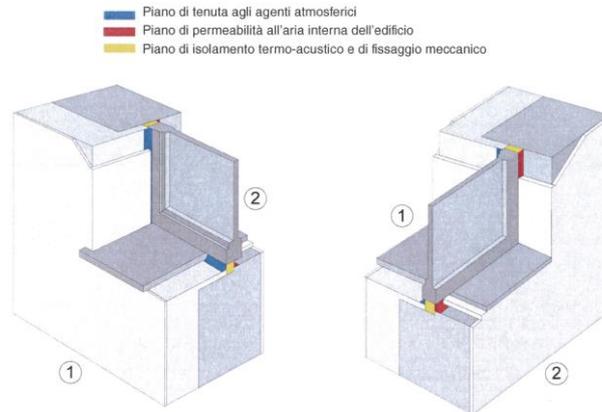


Fig. 4: UNI 11673-1:2017 – Rappresentazione schematica dei piani di tenuta

Il "piano di isolamento termo-acustico e di fissaggio meccanico" è in posizione intermedia tra i due piani aria e agenti atmosferici e deve contribuire all'isolamento termico-acustico e al trasferimento dei carichi al vano. Alcuni esempi di configurazioni di posa sono riportati nella UNI 11296:2018, si seguito viene riportato l'esempio di posa del telaio in battuta.

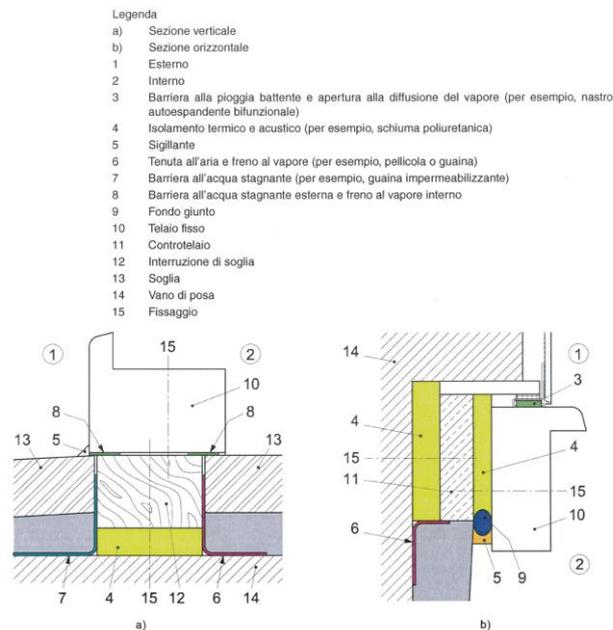


Fig. 5: UNI 11296:2018 – Esempio di posa del telaio in battuta

Tornando all'aspetto di calcolo, rispetto a quanto riportato dalla **UNI TR 11175-2005 - Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale**, il potere fonoisolante di progetto, $R_{wRfinestra}$ del serramento viene valutato partendo dal valore medio del potere fonoisolante, R_w del serramento corretto dai coefficienti di aggiustamento mediante la seguente relazione:

$$R_{wRfinestra} = R_w + K_p + K_{RA} + K_{DS} + K_{FG} + K_{F1,5} + K_{F3} + K_{GB} \quad (\text{dB})$$

dove:

K_p = K_p finestre = -2 dB; K_p porte = -5 dB;

K_{RA} = per telai <30% rispetto alla superficie totale del serramento: K_{RA} vedere prospetto B.10;

K_{DS} = per serramenti con doppio telaio mobile e senza montante centrale: K_{DS} vedere prospetto B.10;

K_{FG} = per serramenti con telaio non in vista e con maggiore superficie trasparente: K_{FG} vedere prospetto B.10;

$K_{F1,5}$ = per serramenti con superficie <1,5 m²: $K_{F1,5}$ vedere prospetto B.10;

K_{F3} = per serramenti con lastre di vetro ≥3 m²: K_{F3} = -2 dB;

K_{GB} = per serramenti a nastro: K_{GB} vedere prospetto B.10.

Il prospetto B.10 prevede già un calcolo del valore medio del potere fonoisolante di laboratorio del serramento partendo proprio da un vetro con potere fonoisolante da 49 dB:

prospetto B.10 **Valore medio del potere fonoisolante di laboratorio del serramento** (Continua)

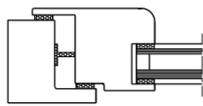
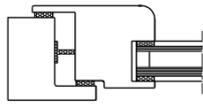
Sezione orizzontale serramento	Descrizione serramento	Classe di permeabilità all'aria UNI EN 12207	$R_w (C, C_2)$	Aggiustamenti				
				K_{RA} (dB)	K_{DS} (dB)	K_{FG} (dB)	$K_{F1,5}$ (dB)	K_{GB} (dB)
	Serramento con vetrocamera avente potere fonoisolante misurato sperimentalmente uguale o maggiore di 46 dB e con guarnizione centrale e guarnizione esterna in corrispondenza della battuta dei telai (caso A) o con guarnizione centrale e guarnizione interna (caso B).	>2	43 (-2; -4)	0	-2	0	-1	-2
	Serramento con vetrocamera avente potere fonoisolante misurato sperimentalmente uguale o maggiore di 49 dB e con guarnizione centrale e guarnizione esterna in corrispondenza della battuta dei telai (caso A) o con guarnizione centrale e guarnizione interna (caso B).	>2	44 (-1; -4)	0	-2	+1	-1	-2

Fig. 6: UNI TR 11175:2005 – Estratto prospetto B.10

Ne risulta che partendo da una vetratura come quella indicata dalla Progettazione e quindi da un R_{wvetro} pari a 49 dB, l' R_w del serramento sarà pari a 44 dB; a tale valore la norma prevede l'applicazione di eventuali correzioni secondo i parametri sopra riportati.

K_p prevede di ridurre di 2 o 5 dB rispettivamente se si considera una finestra o una porta (alla quale è assente la battuta al piede). Inoltre, con superfici superiori a 3 m² ci si aspetta una ulteriore riduzione di 2 dB e per superfici inferiori a 1,5m² una riduzione di 1 dB.

Ne risulta che in applicazione della norma UNI TR 11175, rispetto all'unico dato di partenza noto (R_{wvetro}), la finestra, con un R_w del vetro di 49 dB avrà un **$R_{wRfinestra}$ compreso tra 40 e 42 dB**. In tale situazione, rispetto ai calcoli effettuati, il sistema garantirà un livello di isolamento sul limite di legge relativo all'indice di isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w} \geq 43$ dB derivante dalla normativa sui CAM sopra descritta.

In conclusione, di questo aspetto risulta importante farsi rilasciare il certificato di laboratorio del fornitore che in ragione dei calcoli sotto riportati, mantenendo un minimo margine di sicurezza, deve prevedere un R_w dei serramenti certificato pari ad almeno 43-44 dB.

Di seguito viene riportato l'abaco degli infissi considerati.

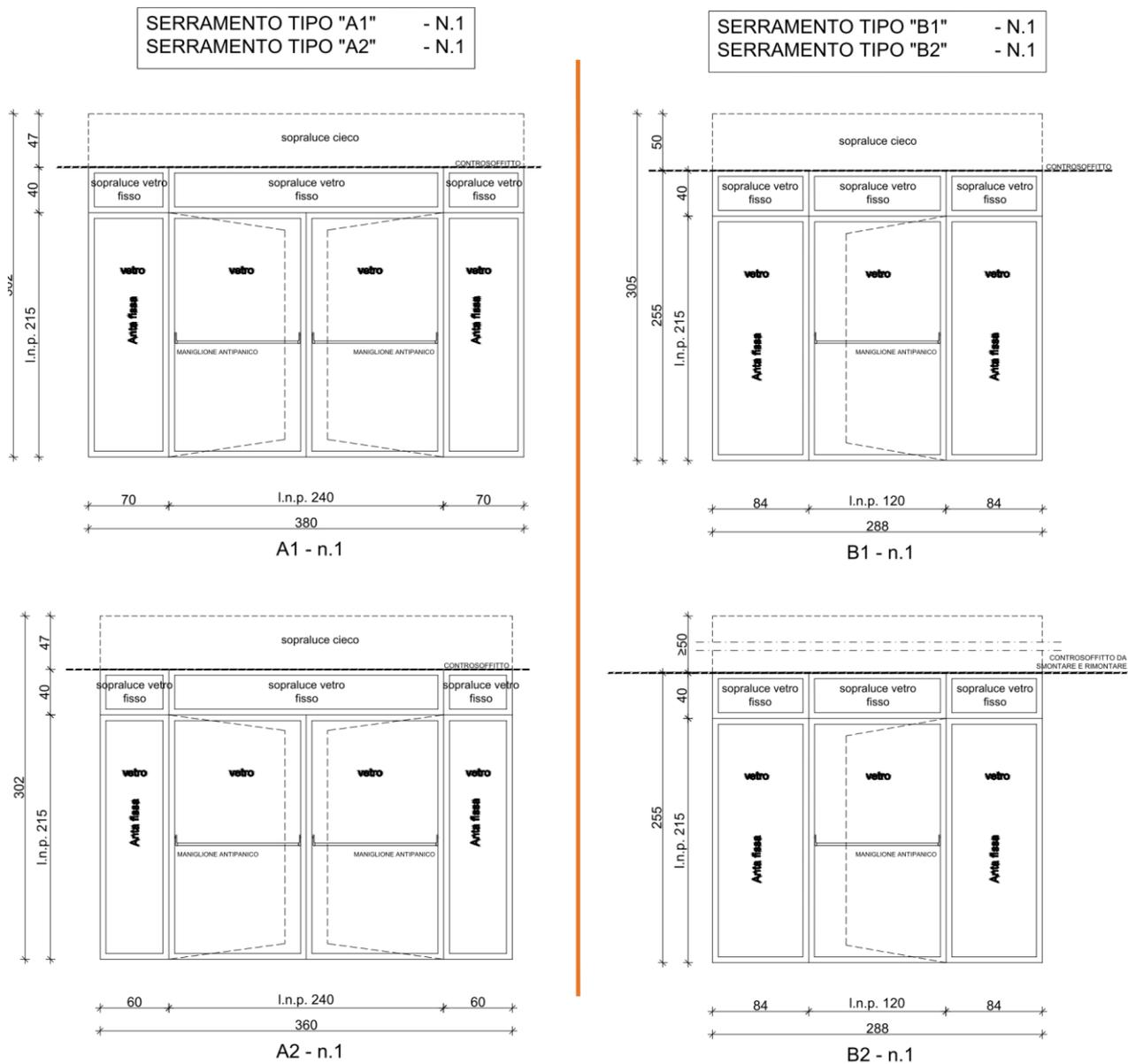
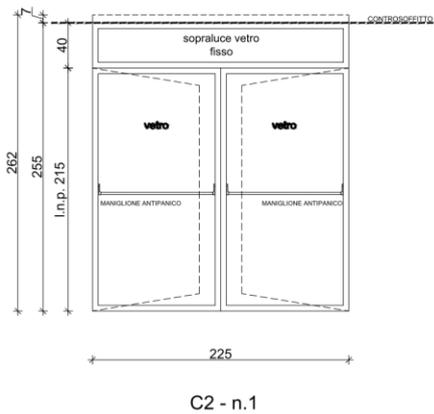
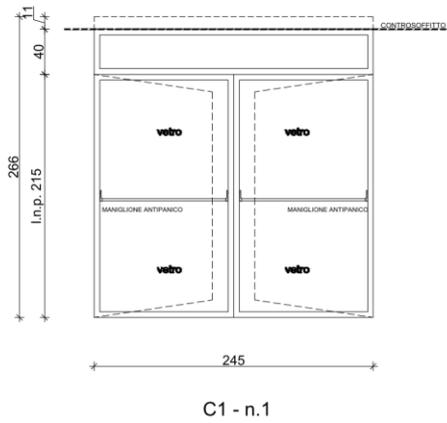
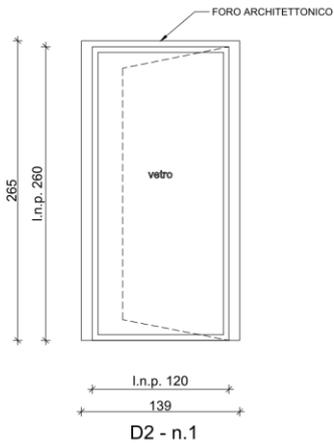
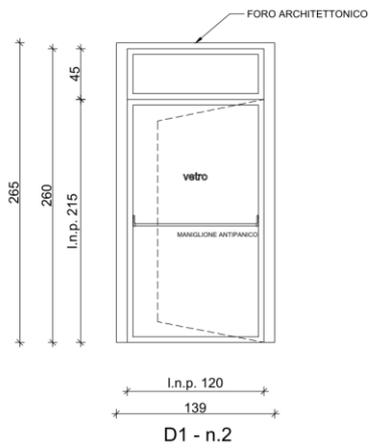


Fig. 7: Abaco Serramenti

SERRAMENTO TIPO "C1" - N.1
SERRAMENTO TIPO "C2" - N.1



SERRAMENTO TIPO "D1" - N.2
SERRAMENTO TIPO "D2" - N.1



SERRAMENTO TIPO "E1" - N.27
SERRAMENTO TIPO "E2" - N.14

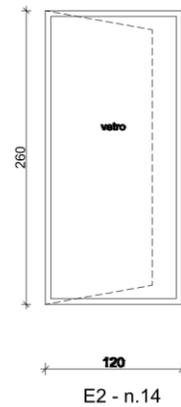
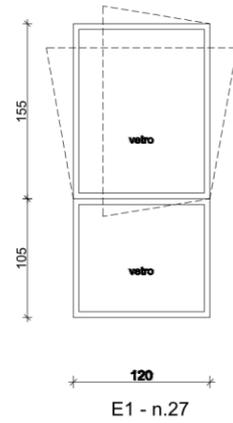
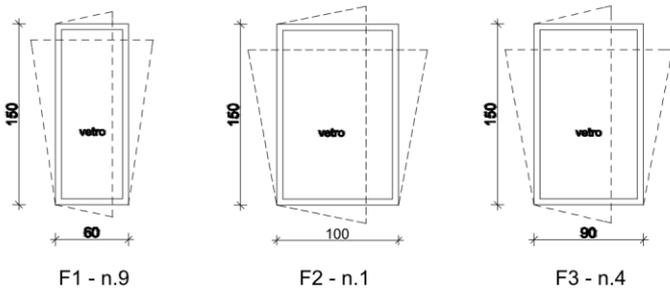
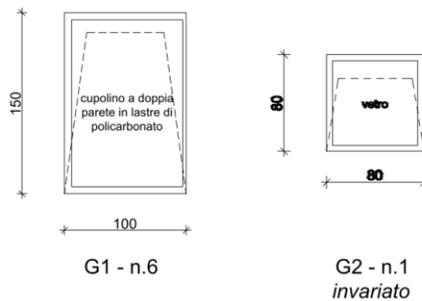


Fig. 7: Abaco Serramenti

SERRAMENTO TIPO "F1" - N.9
 SERRAMENTO TIPO "F2" - N.1
 SERRAMENTO TIPO "F3" - N.4



SERRAMENTO TIPO "G1" - N.6
 SERRAMENTO TIPO "G2" - N.1



SERRAMENTO TIPO "F4" - N.12
 SERRAMENTO TIPO "F5" - N.12

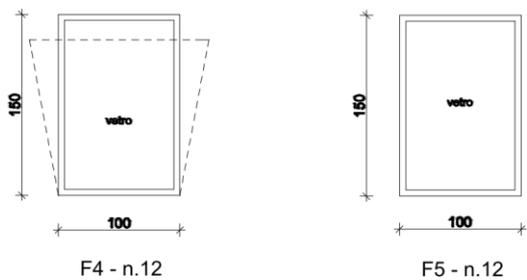
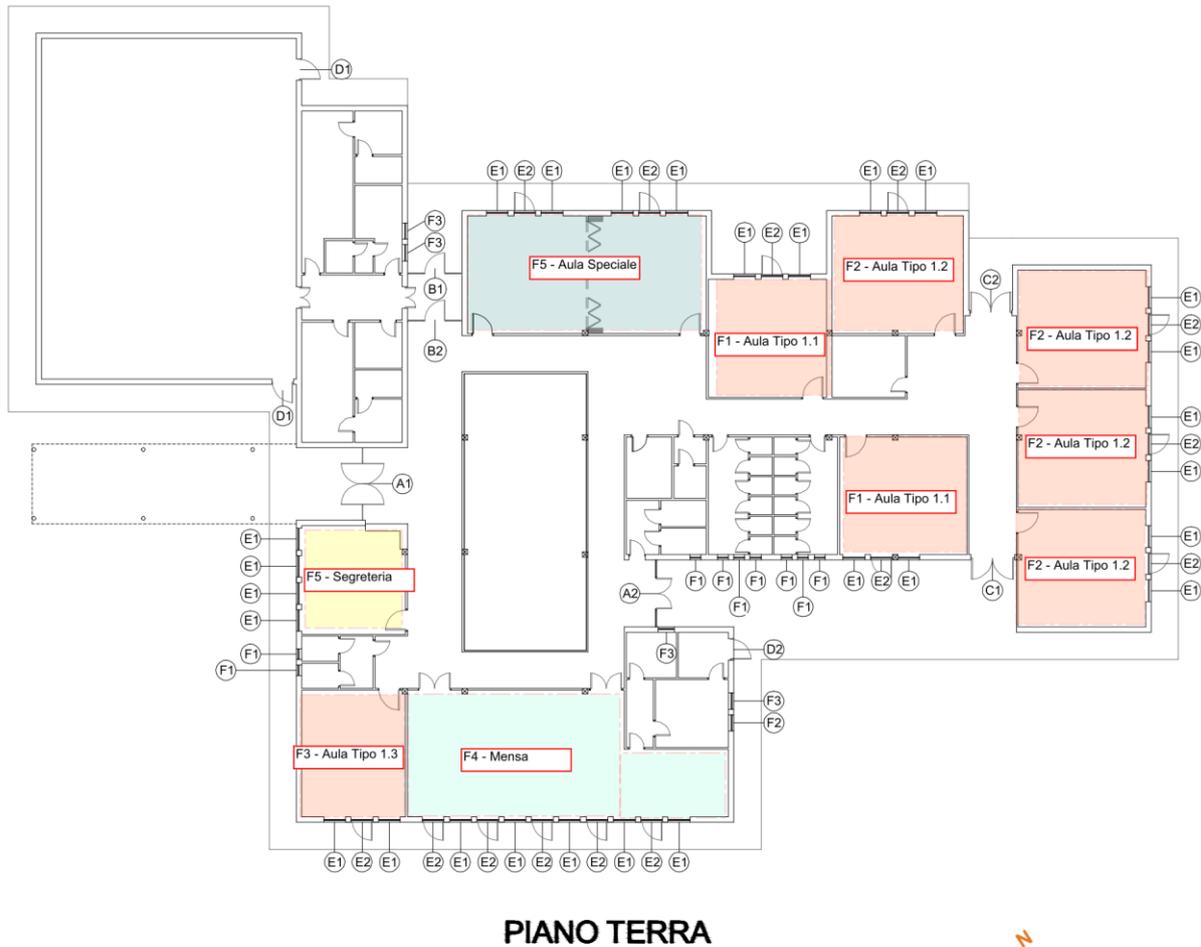


Fig. 7: Abaco Serrament.

CALCOLO PREVISIONALE

Tenendo conto della composizione della parete perimetrale esterna, dei serramenti e di quanto appena descritto si riportano i risultati delle prestazioni di isolamento acustico standardizzato di facciata, $D_{2m,nT,w}$, ottenute dal calcolo previsionale. **Le stanze sono state studiate a campione prendendo a riferimento una stanza (esse sono individuate in pianta con il retino).**

Fig. 8: individuazione delle stanze studiate



L'applicazione del modello di calcolo, relazione porta ad ottenere i valori di previsione di seguito riportati.

	Facciate	nr elementi	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	REQUISITO DI PROGETTO $D_{2m,nT,w} \geq 43$ dB
1	F1 - Aula Tipo 1.1	1	45,4	RISPETTATO
2	F2 - Aula Tipo 1.2	1	45,7	RISPETTATO
3	F3 - Aula Tipo 1.3	1	45,5	RISPETTATO
4	F4 - Mensa	1	43,6	RISPETTATO
5	F5 - Segreteria	1	45,0	RISPETTATO
6	F6 - Aula Speciale	1	45,4	RISPETTATO

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA F1 - Aula Tipo 1.1

Volume dell'ambiente 130,80 m³
Superficie della facciata 20,10 m²

Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R_w / D_{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma $R_{st,w}$ pari a 61	22,80	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	10,80	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	

Correzioni

Trasmissione laterale $K = 2$ dB

Forma di facciata $DL_{fs} = 0$ dB

Indice di valutazione dell'isolamento di facciata

R'_w 42,2 dB

$D_{2m,nT,w}$ 45,4 dB

Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010

$D_{2m,nT,w}$ minimo 43,0 dB

Limite verificato

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA F2 - Aula Tipo 1.2

Volume dell'ambiente 136,50 m³
Superficie della facciata 19,40 m²

Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R _w / D _{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma R _{st,w} pari a 61	22,80	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	10,10	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	

Correzioni

Trasmissione laterale K = 2 dB
Forma di facciata DL_{fs} = 0 dB

Indice di valutazione dell'isolamento di facciata

R'_w 42,2 dB
D_{2m,nT,w} 45,7 dB
Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010
D_{2m,nT,w} minimo 43,0 dB

Limite verificato

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA F3 - Aula Tipo 1.3

Volume dell'ambiente 119,50 m³
Superficie della facciata 17,00 m²

Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R _w / D _{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma R _{st,w} pari a 61	22,80	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	7,70	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	

Correzioni
Trasmissione laterale $K = 2 \text{ dB}$
Forma di facciata $DL_{fs} = 0 \text{ dB}$
Indice di valutazione dell'isolamento di facciata
 R'_w 42,0 dB

 $D_{2m,nT,w}$ 45,5 dB

Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010

 $D_{2m,nT,w}$ minimo 43,0 dB

Limite verificato
CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA
F4 - Mensa
Volume dell'ambiente 244,90 m³
Superficie della facciata 52,60 m²
Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R_w / D_{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma Rst,w pari a 61	76,00	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	21,60	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	
6	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
7	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
8	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
9	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	
10	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	
11	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	
12	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	

Correzioni
Trasmissione laterale $K = 2 \text{ dB}$
Forma di facciata $DL_{fs} = 0 \text{ dB}$
Indice di valutazione dell'isolamento di facciata
 R'_w 41,9 dB

 $D_{2m,nT,w}$ 43,6 dB

Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010

 $D_{2m,nT,w}$ minimo 43,0 dB

Limite verificato

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA F5 - Segreteria

Volume dell'ambiente 123,60 m³
Superficie della facciata 18,40 m²

Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R _w / D _{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma Rst,w pari a 61	30,40	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	6,00	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
6	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	

Correzioni

Trasmissione laterale K = 2 dB
Forma di facciata DL_{fs} = 0 dB

Indice di valutazione dell'isolamento di facciata

R'_w 41,6 dB
D_{2m,nT,w} 45,0 dB
Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010
D_{2m,nT,w} minimo 43,0 dB

Limite verificato

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA F6 - Aula Speciale

Volume dell'ambiente 256,20 m³
Superficie della facciata 39,20 m²

Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R _w / D _{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma Rst,w pari a 61	45,60	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	20,60	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	

6	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	43,00	
7	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	
8	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	43,00	

Correzioni
Trasmissione laterale $K = 2$ dB

Forma di facciata $DL_{fs} = 0$ dB

Indice di valutazione dell'isolamento di facciata
 R'_w 42,2 dB

 $D_{2m,nT,w}$ 45,4 dB

Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010

 $D_{2m,nT,w}$ minimo 43,0 dB

Limite verificato

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA
F1 - Aula Tipo 1.1 - RW minimo

Volume dell'ambiente 130,80 m³
Superficie della facciata 20,10 m²
Elementi che compongono la facciata

	Elemento	Area [m ²] / Lunghezza [m]	R_w / D_{new} [dB]	
1	Sigillatura con schiuma $R_{st,w}$ pari a 61	22,80	61,00	
2	56 - OA - 2022 SCUOLA MEDIA DI OSPEDALETTO - Parete Esterna	10,80	46,00	
3	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	40,00	
4	SERRAMENTO TIPO "E1"	3,10	40,00	
5	SERRAMENTO TIPO "E2"	3,10	40,00	

Correzioni
Trasmissione laterale $K = 2$ dB

Forma di facciata $DL_{fs} = 0$ dB

Indice di valutazione dell'isolamento di facciata
 R'_w 40,2 dB

 $D_{2m,nT,w}$ 43,4 dB

Categoria dell'edificio Norma UNI 1367:2010

 $D_{2m,nT,w}$ minimo 43,0 dB

Limite verificato

L'ipotesi di lavoro sopra esposta presenta alcuni elementi sui quali porre la giusta attenzione con riferimento particolare ai locali nei quali la superficie vetrata ha un'estensione rilevante rispetto la superficie dell'intera facciata.

CONCLUSIONI

Al termine dello studio, si può concludere come segue:

- 1) La Committenza ha espressamente richiesto la conformità delle prestazioni di isolamento acustico di facciata con riferimento specifico al D.M. 11/10/2017, e pertanto lo studio ha preso come obiettivo la dimostrazione del requisito di facciata D_{2mnT_w} almeno pari a 43.0 dB.
- 2) Mediante procedure analitiche, ovvero con applicazione di modelli di calcolo dedicati, si è proceduto in via previsionale a determinare:
 - a) le caratteristiche acustiche delle strutture edilizie e degli elementi che compongono le facciate dei locali adibiti a permanenza di persone (aule ed uffici);
 - b) le caratteristiche di comfort acustico all'interno dei locali ad uso didattico di una stanza campione in 4 scenari di possibile correzione, tenendo in considerazione le soluzioni esistenti;
 - c) verificare il clima acustico dell'area effettuando un monitoraggio acustico della sonorità complessiva dell'area nella quale si trova la scuola al fine di valutare il clima sonoro esistente.

Rispetto alle facciate va segnalato che gli infissi dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- **vetro ad elevate prestazioni acustiche, costituito da due o tre lastre stratificate, di diverso spessore, accoppiate con film acustico, caratterizzate da un potere fonoisolante indicato dal costruttore: $R_w = 49-51$ dB;**
- **infisso con certificato di laboratorio $R_w = 43- 44$ dB;**
- **posa del telaio in battuta;**
- **sigillanti certificati aventi valore certificato minimo $R_{s,t,W} = 61$ dB;**

La fase di **posa dei serramenti** è un elemento essenziale nel trasferire quanto di seguito studiato in via previsionale in concreto nell'opera finita. L'applicazione di quanto contenuto nelle norme serie UNI 11673 e in particolare UNI 11673-1:2017 - "Posa in opera di serramenti – Parte 1: Requisiti e criteri di verifica della progettazione" e UNI 11296:2018 Acustica in edilizia – Posa in opera di serramenti, diventa elemento essenziale per la buona riuscita dell'intervento.