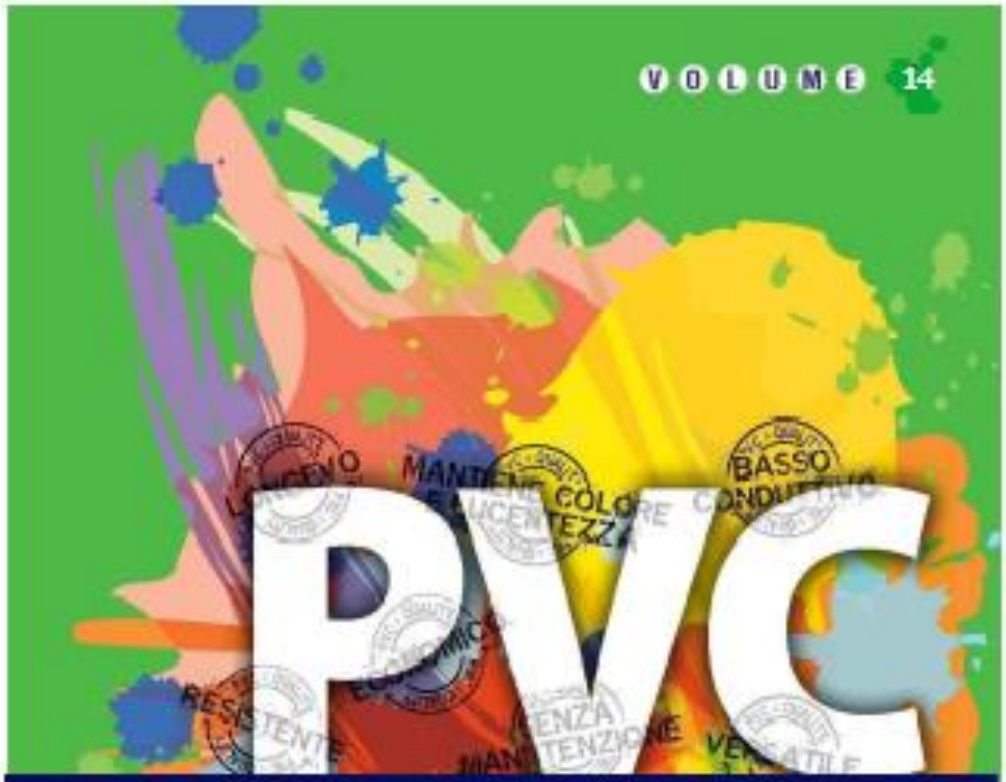
VOLUME 14



LA TRASMISSIONE SONORA NEI PROFILI IN PVC

PVC FORUM ITALIA
CENTRO DI INFORMAZIONE SUL PVC

VIBRARE e SUONARE

LA TRASMISSIONE SONORA NEI PROFILI IN PVC

PVC Forum Italia *- Centro di Informazione sul PVC*
è l'associazione che, in Italia, raggruppa i produttori di resina,
produttori di additivi, compoundatori, trasformatori e riciclatori.
Costituita nel 1996, l'associazione
ha l'obiettivo di promuovere la conoscenza del PVC
e dei suoi vantaggi applicativi e ambientali
tenendo conto anche dell'importanza socio –
economica dell'industria del PVC.

Diritti d'autore:
Il presente documento è proprietà intellettuale dell'autore e/o di PVC FORUM ITALIA.
Nessuna parte può essere riprodotta senza l'autorizzazione dell'autore

PVC FORUM ITALIA
a cura di
Marco Piana

Edizione 2020

Tel. +39-02-33604020 E-mail info@pvcforum.it
http://www.pvcforum.it

Sommario

ELEMENTI SOTTILI 7

ELEMENTI SNELLI 8

vibrazioni estensionali 8

vibrazioni flessionali 8

vibrazioni torsionali 9

ANALISI TELAIO E VETRO 11

ANALISI PROFILO 12

1. PROFILO IN ALLUMINIO 13

2. PROFILO IN LEGNO (ESSENZA DOUGLAS) 15

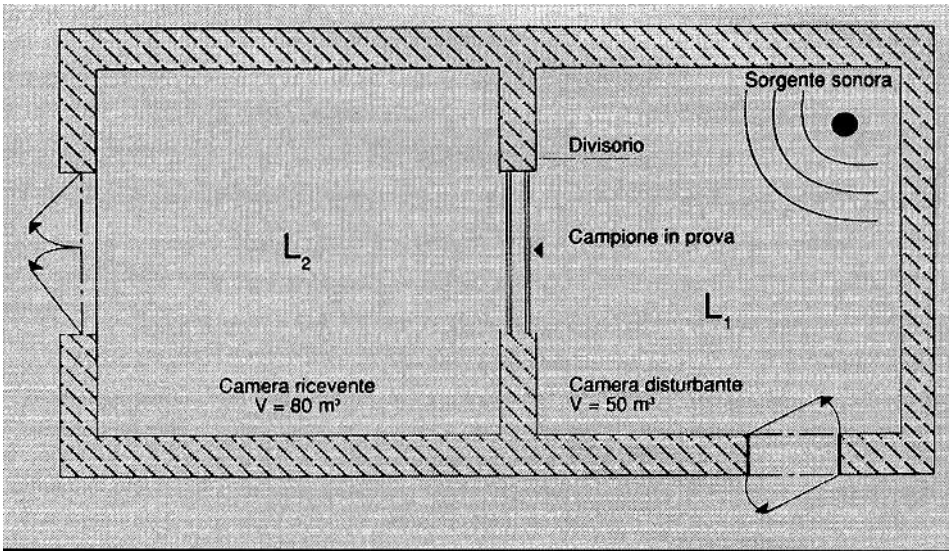
3. PROFILO IN PVC 17

Il binomio più importante nella società di oggi può essere identificato in: **uomo – edificio.**
Vita privata e lavoro si svolgono per gran parte di noi in ambienti chiusi e quindi il livello prestazionale della costruzione riveste un importante ruolo mediatore fra la realtà dell'ambiente esterno e la realtà dell'ambiente interno desiderato.
Per motivi di aerazione e di illuminazione l'edificio non può essere realizzato completamente con tamponamenti opachi e per tali motivazioni sono state realizzate in un primo momento semplici aperture (dal latino LUMEN) che ovviamente non presentavano problemi di telai, controtelai, vetrazioni, sigillanti ecc.
I passi successivi sono semplici dopo l'avvento di un materiale trasparente quale il vetro che in combinazione con il legno permise la realizzazione di finestre.
Essendo il tamponamento opaco di tradizione realizzato con materiali pesanti ne deriva intuitivamente un ottimo comportamento acustico. Mentre il serramento, essendo molto più leggero e realizzato con concessioni e giunti fra i diversi materiali che lo compongono, ha sempre presentato un punto problematico dell'isolamento acustico degli edifici.
Le tecniche di installazione, i materiali ed i processi costruttivi permettono oggi di giungere a livelli interessanti di isolamento acustico riducendo notevolmente il divario fra muro e finestra.
La caratteristica peculiare di aerazione dei locali che un tempo era demandata agli spifferi del serramento con conseguente passaggio di rumorosità può oggi essere realizzata con metodi alternativi sicuramente più interessanti e sicuri.
La funzione del serramento è duplice: isolare dall'esterno e isolare dall'interno.
I materiali che concorrono nel componente in esame sono suddivisi per classi:

- materiali trasparenti
- materiali opachi per la realizzazione dei telai
- guarnizioni e sigillanti
- elementi di fissaggio.

Le caratteristiche delle famiglie si combinano in modo quasi infinito, verranno quindi analizzati i componenti principali.
Il parametro che permette di identificare il grado di isolamento acustico di un materiale nel settore edile è senza dubbio l'isolamento acustico, valore riscontrato in laboratorio (fig. 1) con tecniche ed apparecchiature specifiche da cui ne scaturisce un indice che viene definito anche Potere Fonoisolante.

Fig. 1 - Ambienti di misura: il campione da caratterizzare è collocato nel divisorio



L'isolamento acustico è definito come: I = L1 – L2 (dB), la differenza fra il livello sonoro misurato nell'ambiente disturbante ed il livello dell'ambiente disturbato.
Il materiale che divide i due ambienti presenta caratteristiche fisiche ben precise che al variare della frequenza del suono presenta un determinato isolamento acustico. La relazione fra queste grandezze definisce l'isolamento acustico di un preciso materiale e la legge che le governa è definita Legge della Massa:

I = 20log10fxM – 42,5 (dB)
f = frequenza (Hz)
M = massa superficiale (kg/m2).

In realtà l'isolamento è minore di quanto si ottiene con la relazione teorica sopra descritta e comunque si accetta la seguente:
I = 18log10M + 12log10f – 25 dB (dB)
Come si può verificare da fig. 2, vi sono due zone in cui la legge della massa non può essere applicata: in corrispondenza della frequenza di risonanza e della frequenza di coincidenza.
I valori di isolamento per alcuni materiali sono riportati in fig. 3 e 4.
La frequenza di risonanza è la frequenza in cui l'elemento entra in vibrazione diventando quasi "trasparente" all'onda sonora incidente.
La frequenza di coincidenza è la frequenza alla quale si hanno vibrazioni dell'elemento con oscillazioni flessionali pari a quelle dell'onda eccitante.
Gli elementi che compongono un serramento possono essere suddivisi in due gruppi:

- elementi sottili (lastre trasparenti)
- elementi snelli (profili).

Questa suddivisione deve essere sottolineata in quanto il comportamento che si deduce è sostanzialmente differente nei due casi.

Fig. 2 - Scostamento dalla legge di massa dell'isolamento per effetto di risonanza normale e di coincidenza

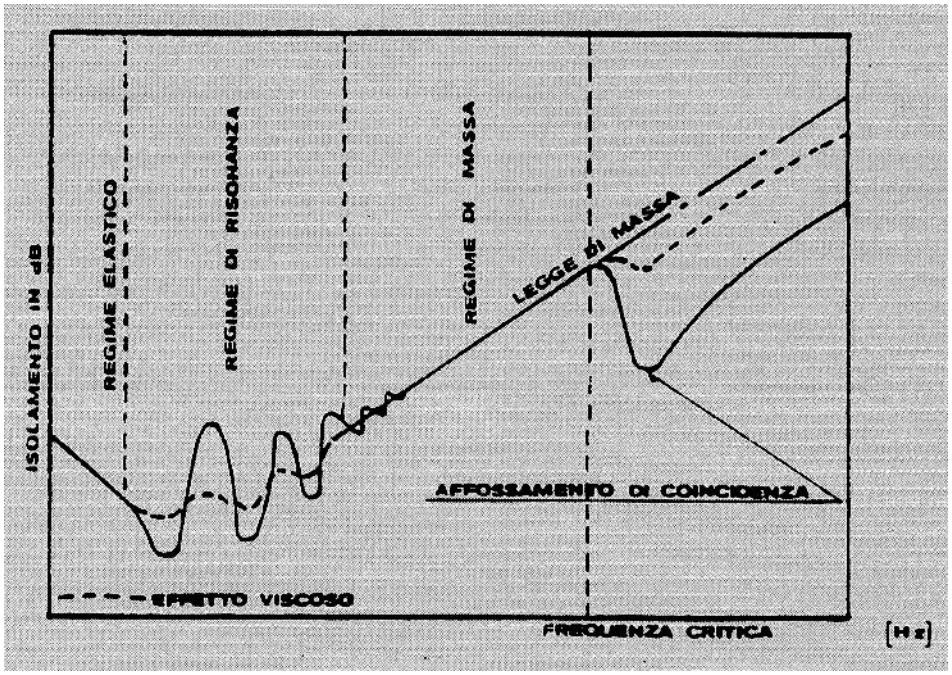


Fig. 3 - Isolamento acustico di pareti in funzione della massa a 500Hz.

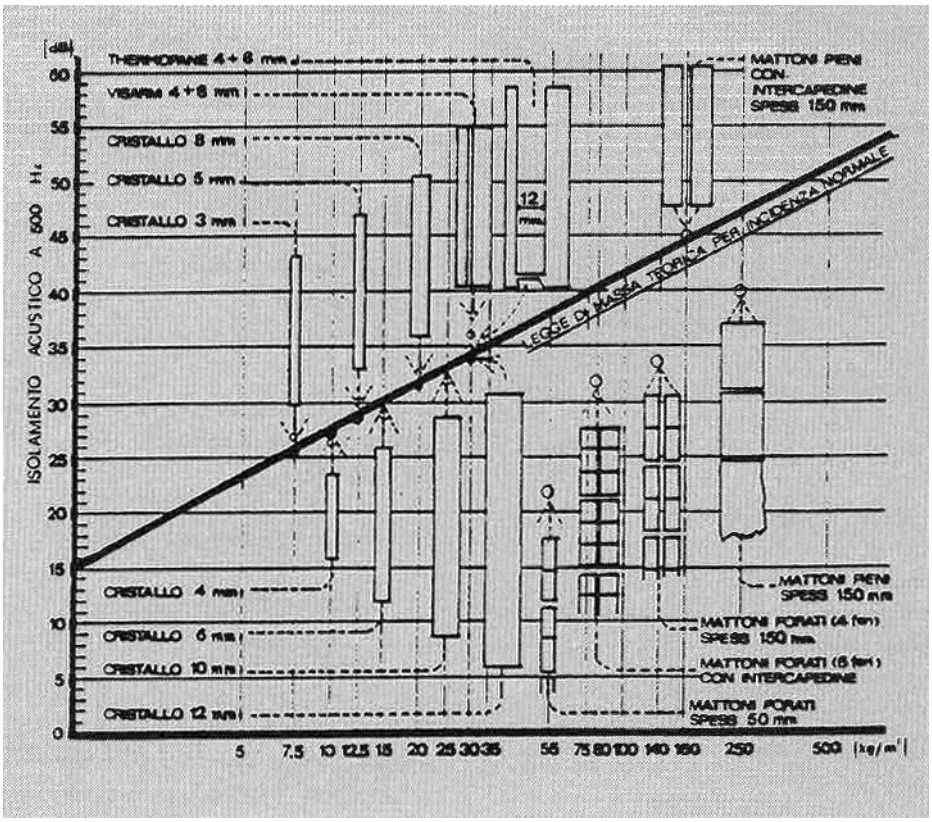
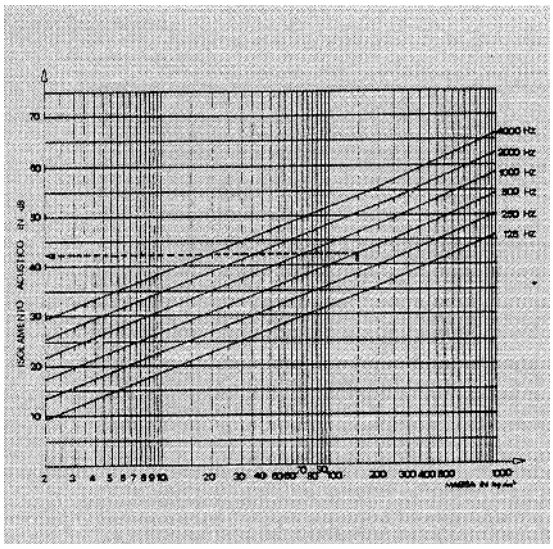


Fig. 4 - Isolamento acustico di pareti in funzione della massa e della frequenza



ELEMENTI SOTTILI

Le lastre utilizzate per le parti trasparenti possono essere considerate sottili in quanto le dimensioni della lastra sono notevolmente superiori allo spessore.

La lastra viene considerata in prima ipotesi come incastrata con frequenze flessionali date da:

$$f = 0{,}453h\left[\left(\frac{p}{a}\right)^2 + \left(\frac{p}{b}\right)^2\right]\sqrt{\frac{E}{y(1-\sigma^2)}}$$

h = spessore

a, b = lati lastra

q, p = coefficienti

E = modulo elastico

γ = densità materiale

σ = coefficiente Poissont

ELEMENTI SNELLI

I profili utilizzati per la realizzazione dei telai del serramento sono elementi definibili snelli in quanto le dimensioni della sezione sono notevolmente inferiori alla lunghezza.

Il profilo interagisce con la superficie trasparente a cui è sostanzialmente aderente oppure alla struttura ad esempio la muratura di fissaggio.

Prescindendo da tali considerazioni, in via preliminare, è possibile analizzare il comportamento di un profilo considerandolo incastrato agli estremi.

Vi possono essere tre modi di vibrare:

vibrazioni estensionali

quando sono in direzione parallela all'asse del profilo. Le frequenze proprie di vibrazioni sono date da:

$$f_e = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{E}{\gamma}} \quad (Hz)$$

n = numero intero

L = lunghezza profilo

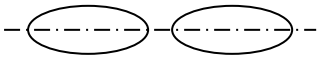
E = modulo elastico

γ = densità materiale

I modi possono essere, con incastri agli estremi, i seguenti:

n = 1

n = 2



n = 3

vibrazioni flessionali

La frequenza di vibrazioni fondamentale è data da:

$$f_f = 1028 \frac{h}{L^2}\sqrt{\frac{E}{\gamma}}$$

h = spessore profilo

vibrazioni torsionali

$$f_t = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{G}{\gamma}}$$

G = modulo elasticità trasversale

Quanto esposto deve essere corredato dei dati più importanti relativi ai singoli materiali.
Evitando di approfondire in modo eccessivo l'argomento è sufficiente riportare i dati relativi a due grandezze:

- velocità del suono del materiale
- impedenza acustica

La velocità del suono può essere definita in conseguenza a quanto detto in precedenza con tre diversificazioni:

1 - velocità di compressione piana longitudinale: C (importante per materiali elastici)
2 - velocità delle onde longitudinali: CL (la più utilizzata)

La realizzazione fondamentale per la determinazione è la seguente:

$$C_l = \sqrt{\frac{E}{\gamma}}$$

E = modulo elastico
γ = massa

3 - velocità delle onde trasversali: C_r

L'impedenza acustica è la seconda grandezza determinante il comportamento acustico del materiale.
È definita dalla relazione:
$A = \gamma C_r$
γ = massa (kg/m^3)
C_r = velocità onda sonora (m/s)

Questo parametro indica in modo diretto ed intuitivo il comportamento del materiale alle sollecitazioni di un'onda sonora che le colpisce e che si propaga in esso.

Più il valore di A è basso, minore sarà la propagazione dell'onda al suo interno ovvero i materiali smorzanti hanno valori di A bassissimi.

I valori delle due grandezze sopra ricordate per i materiali inerenti ai serramenti ed altri materiali come riferimento sono i seguenti:

MATERIALE	**γ Kg/m^3**	**C m/s**	**C_r m/s**	**C_L m/s**	**A m/s**
Alluminio	2700	6420	3040	5200	4.000.000
Acciaio	7800	5960	3235	5000	4.000.000
Piombo	11340	1690	690	1210	4.000.000
PVC	1300	2100	800	1200	1.500.00
Abete	500	-	-	3600	1.800.00
Mogano	700	-	-	4000	2.800.000
Gomma	900	1600	-	50	45.000
Polimetilmetacrilato	1180	2680	1100	1840	2.200.000
Vetro	2500	5100	2840	4540	11.350.000
Aria secca	1,20	341	-	-	410
Vapore acqueo	0,60	405	-	-	243

È possibile notare le differenze veramente sostanziali di comportamento alla trasmissione dell'onda sonora.

Inoltre si deve sottolineare, per quanto riguarda i profili per serramenti, che nel caso del componente in legno questi sono di sezione piena mentre per quelli in alluminio e PVC i profili sono cavi con pluricamere.

La presenza delle camere, con all'interno aria, crea andamenti delle onde sonore molto particolari e curiosi che verranno esposti successivamente.

L'analisi delle caratteristiche dei materiali per serramenti viene svolta mediante due metodologie:

2) analisi di telaio e vetro
3) analisi del solo profilo

ANALISI TELAIO E VETRO

Le verifiche sperimentali sono iniziate da poco tempo e quindi i risultati vengono espressi solo in modo parziale. Come si vede da Fig. 5 il telaio in prova viene appoggiato orizzontalmente su quattro supporti. Un eccitatore elettromeccanico viene posto al centro della lastra ed alcuni accelerometri rilevano le vibrazioni.

Viene ricercato l'andamento del decadimento della sollecitazione in base alle variabili seguenti:

materiale profilo (alluminio, legno, PVC)

tipo di lastra di vetro o di polimetilmetacrilato (vetro semplice e vetro camera, lastra semplice di polimetilmetacrilato).

In fig. 6 viene riportato un esempio di decadimento della sollecitazione impulsiva.

Le sollecitazioni sono di tipo impulsivo quindi di brevissima durata con frequenza ed intensità nata all'interno del campo 500 ÷ 4000 Mz.

I risultati che verranno rilevati saranno riportati in una pubblicazione dedicata al problema.

Fig. 5 - Schema a campione per prova serramento completo

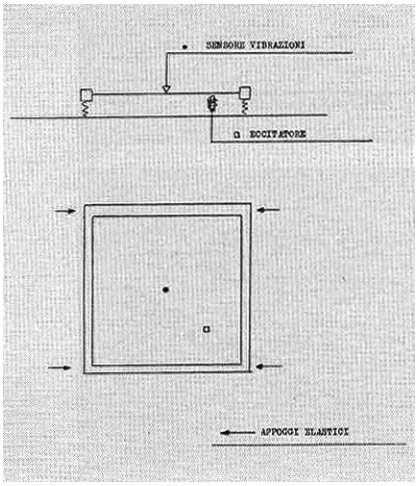
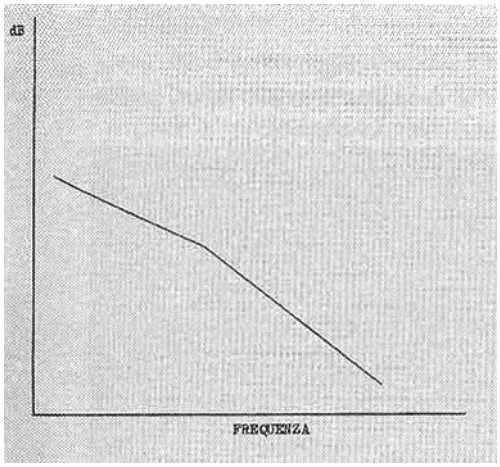


Fig. 6 - Andamento del decadimento tipo di un serramento



ANALISI PROFILO

L'analisi condotta permette di confrontare i modi di vibrare di tre diversi profili di lunghezza 1500 mm appoggiati a due supporti (fig. 7).

Viene posizionato il rilevatore che, collegato ad un analizzatore, permette di ottenere i dati necessari alla descrizione del fenomeno. I supporti sono realizzati con materiali a bassa rigidezza e sono posizionati in punti nodali del modo di vibrare del campione.

L'eccitatore è costituito da un martello dinamometrico collegato all'analizzatore in modo da giustificare il livello di eccitazione imposta.

Il metodo è stato derivato da quanto prescritto per il calcestruzzo dalla UNI 9771 (Determinazione della frequenza fondamentale di risonanza flessionale, estensionale e torsionale). I risultati ottenuti e le considerazioni derivabili sono decisamente eccessivi da riportare nel presente contesto.

Vengono quindi riportati solo due gruppi di dati relativi al modo di vibrare del campione ed al decadimento dell'onda di eccitazione in alcune frequenze fondamentali di evidente rilevanza.

L'esame è stato condotto con profili in alluminio, legno e PVC con le sezioni riportate in fig. 8 e posizionati con due modalità per il solo legno.

Quest'ultimo è stato appoggiato sui supporti con la faccia appartenente al piano ortogonale al piano della vetratura (fig. 8).

I risultati denotano un comportamento praticamente similare per i profili in PVC ed l'alluminio, mentre per il legno vi è una netta variazione sia nel piano orizzontale che verticale.

Fig. 7 - Schema di prova di profili

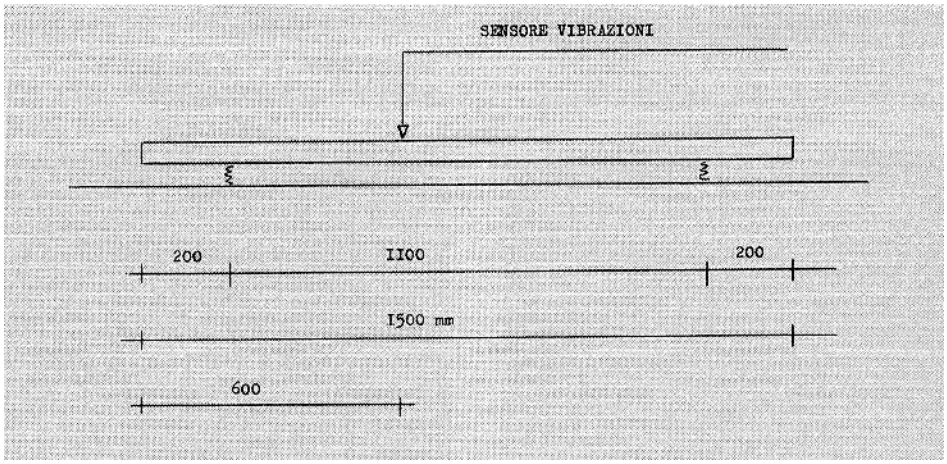
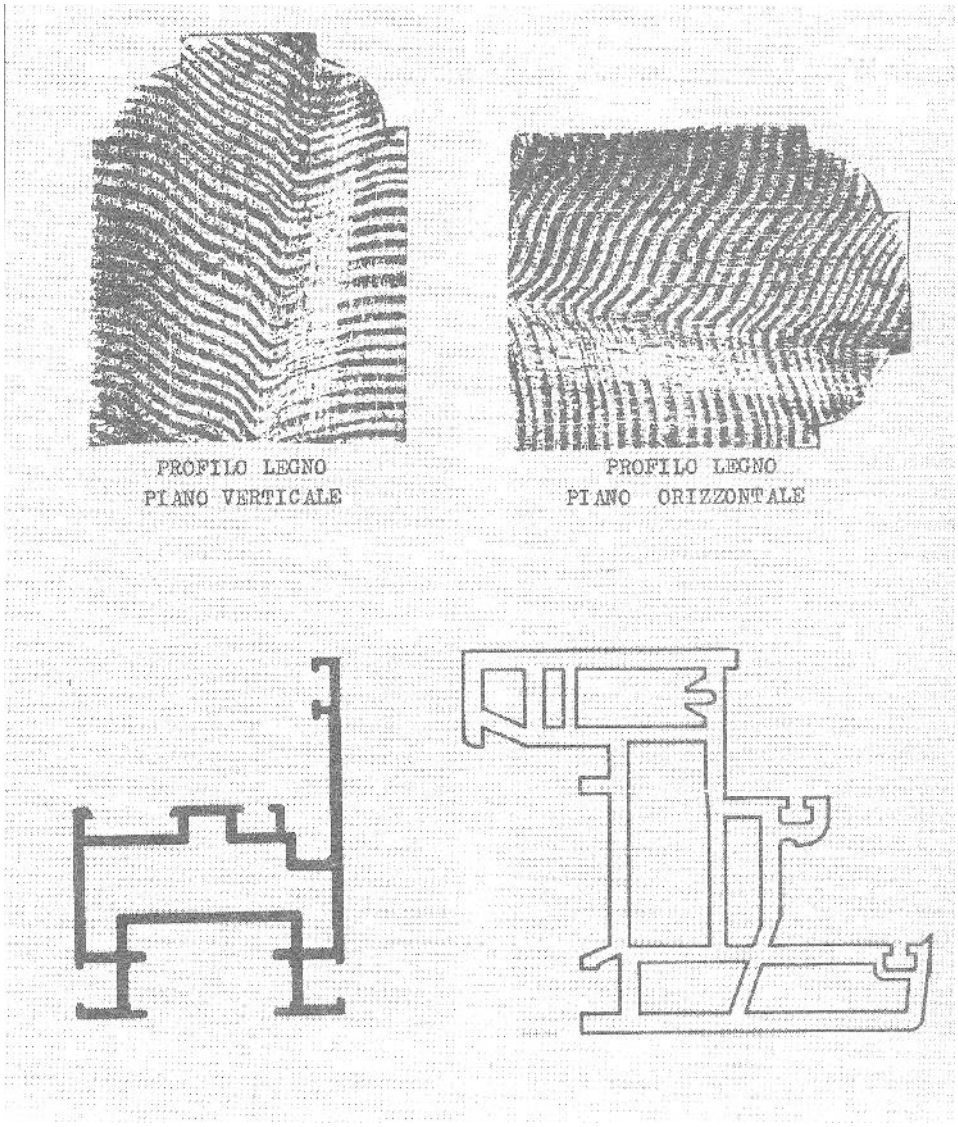


Fig. 8 - Sezione dei profili utilizzati per le prove di propagazione dell'onda sonora

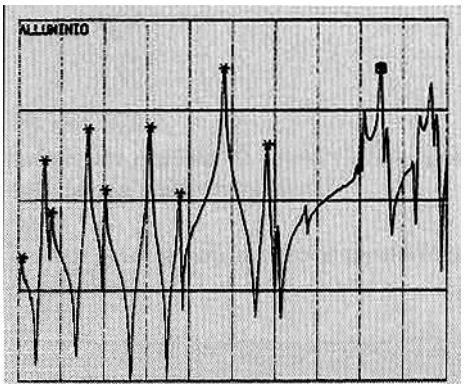


1. PROFILO IN ALLUMINIO

Campo di analisi in frequenza 0 ÷ 2000 Hz. Livello di eccitazione fornito come supporto fra la forza dell'eccitatore e l'accelerazione rilevata dalla sonda.

La fig. 9 riporta il dato analizzato ed elaborato in cui sono evidenziate anche le frequenze di importanza relativa.

Fig. 9 - Modi di vibrare del profilo in alluminio



Alcune di queste frequenze vengono analizzate come decadimento nel tempo ottenendo le figg. 10 – 11 – 12.

Fig. 10 - Curva di decadimento a 150 Hz del profilo in alluminio

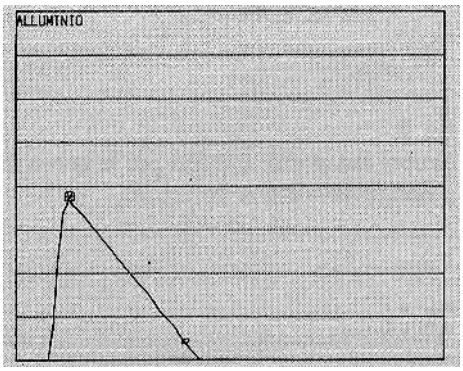


Fig. 11 - Curva di decadimento a 320 Hz del profilo in alluminio

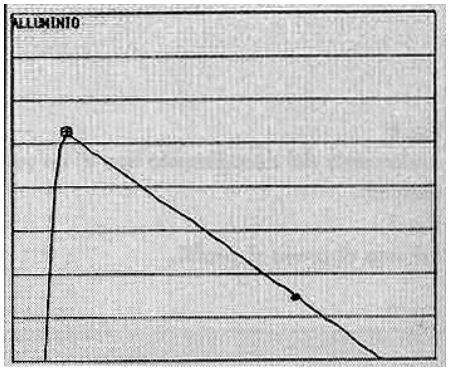
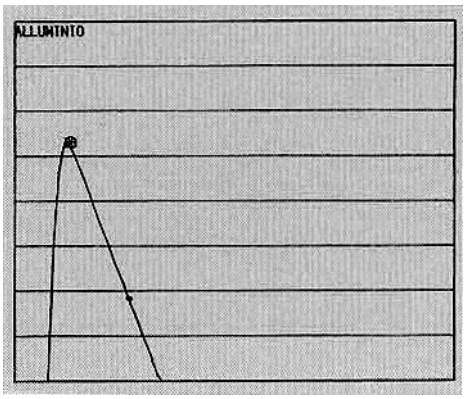


Fig. 12 - Curva di decadimento a 610 Hz del profilo in alluminio



Frequenza (Hz)	Decadimento (N/sec)
150	0,341
320	0,975
610	4,040

(Il valore del decadimento è elevato quando l'onda viene smorzata velocemente dal materiale).

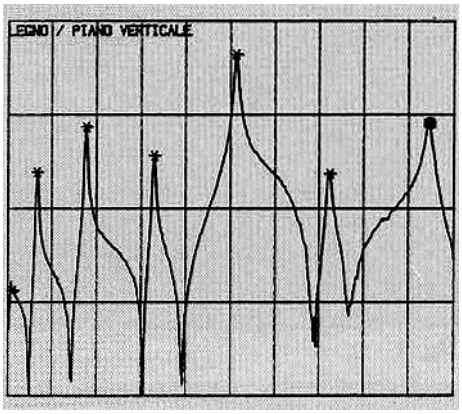
2. Profilo in Legno (essenza Douglas)

Campo di analisi in frequenza 0 ÷ 2000 Hz.

Livello di eccitazione fornito come rapporto fra la forza dell'eccitatore e l'accelerazione rilevata dalla sonda.

La fig. 13 riporta il dato analizzato ed elaborato in cui sono evidenziate le frequenze di importanza (picchi) di profilo con piano verticale.

Fig. 13 - Modi di vibrare del profilo in legno nel piano verticale



Alcune di queste frequenze vengono analizzate con decadimento nel tempo ottenendo le fig. 14 – 15 riferite a:

Frequenza (Hz)	Decadimento (N/sec.)
130	2,443
650	2,125

Fig. 14 - Curva di decadimento a 130 Hz del profilo in legno/piano verticale

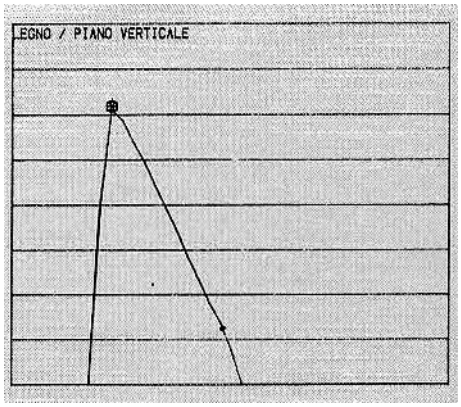
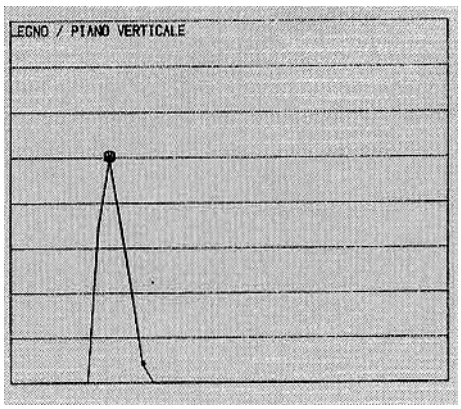


Fig. 15 - Curva di decadimento a 650 Hz del profilo in legno/piano verticale



Il profilo con piano orizzontale invece presenta l'andamento dei picchi in fig. 16 ed il decadimento fig. 17 nella frequenza di differenziazione rispetto al caso precedente di:

Frequenza (Hz)	Decadimento (N/sec.)
104,99	1,840

Fig. 16 - Modi di vibrare del profilo in legno nel piano orizzontale

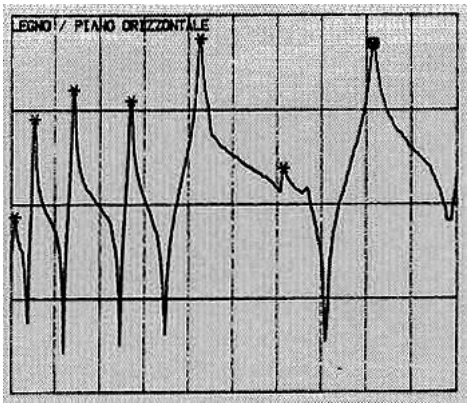
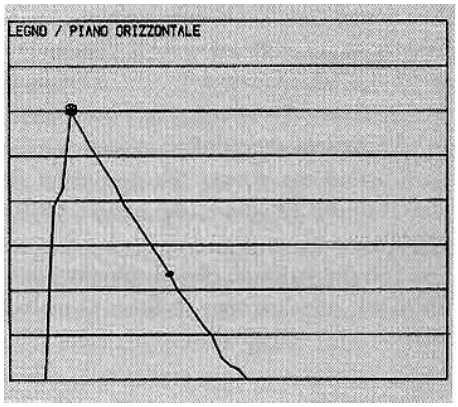


Fig. 17 - Curva di decadimento a 104 Hz del profilo in legno/piano orizzontale



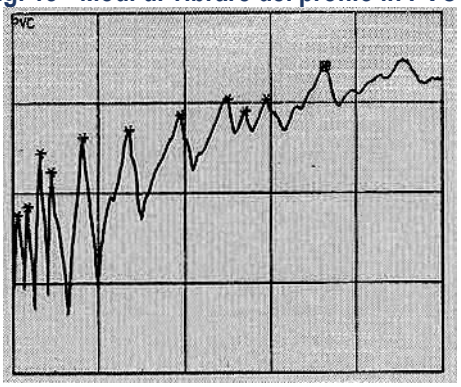
3. PROFILO IN PVC

Campo di analisi in frequenza 0 ÷ 1000 Hz.

Livello di eccitazione fornito come rapporto fra le forze dell'eccitatore e l'accelerazione rilevato dalla sonda.

La fig. 18 riporta il dato analizzato ed elaborato in cui sono evidenziate le frequenze di importanza relativa (picchi).

Fig. 18 - Modi di vibrare del profilo in PVC



Alcune di queste frequenze vengono analizzate come decadimento nel tempo ottenendo le fig. 19 – 20 – 21 – 22 riferite a:

Frequenza (Hz)	Decadimento (N/sec.)
65	1,050
162,5	1,074
267,5	0,974
497,5	2,747

Fig. 19 - Curva di decadimento a 65 Hz del profilo in PVC

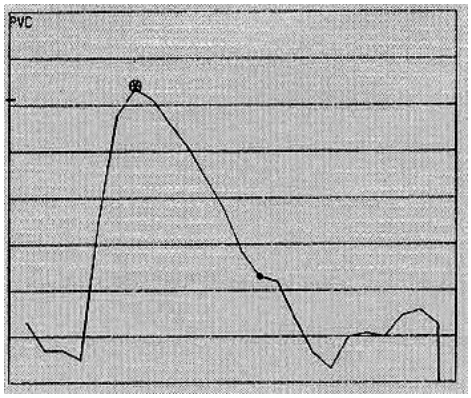


Fig. 20 - Curva di decadimento a 162,50 Hz del profilo in PVC

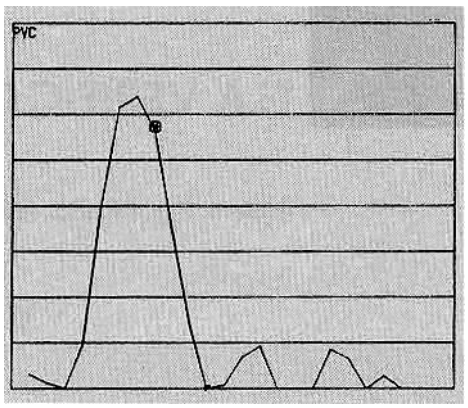


Fig. 21 - Curva di decadimento a 267,50 Hz del profilo in PVC

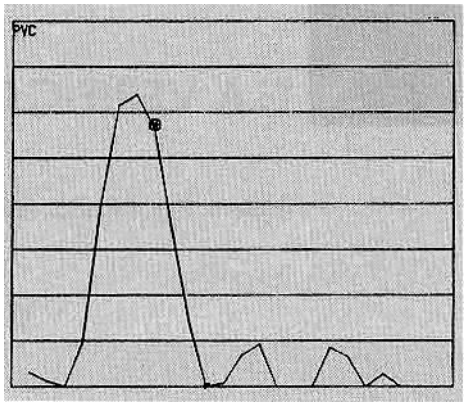
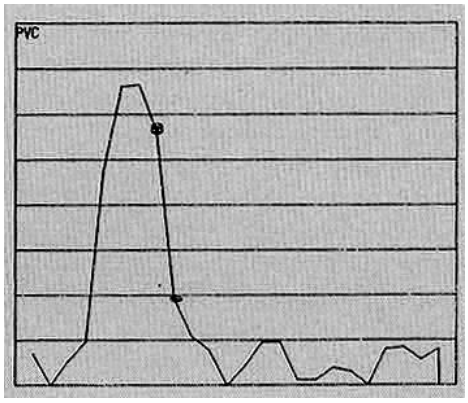


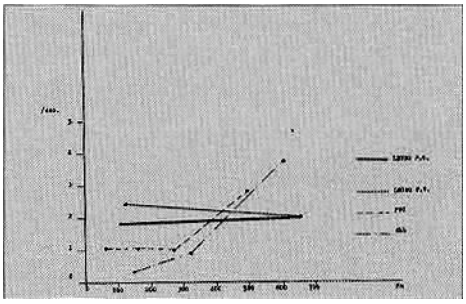
Fig. 22 - Curva di decadimento a 497,50 Hz del profilo in PVC



Quanto esposto è stato trasferito su grafico di fig. 23 in cui possono essere dedotte alcune interessanti considerazioni:

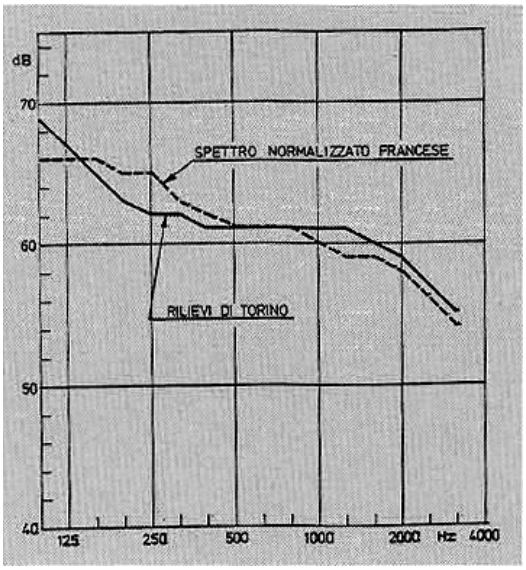
- il profilo in legno si comporta meglio alle medie e basse frequenze, mentre alle medio alte l'alluminio ed il PVC suonano maggiormente;
- alle medio basse frequenze il PVC si comporta in modo migliore dell'alluminio, alle medio alte invece i due materiali convergono;
- l'analisi è corretta se si confronta con un rumore disturbante quale ad esempio il rumore da traffico stradale.

Fig. 23 – Curve



In fig. 24 è riportato uno spettro normalizzato su cui si può notare come l'intensità maggiore è riferita alle frequenze medio basse e medio alte ovvero da 125 a 1000 Hz e quindi i materiali sono analizzati proprio nel campo di frequenza riportato.

Fig. 24 – Spettro della rumorosità dovuta al traffico veicolare



I risultati riportati mostrano una piccola parte della ricerca effettuata che procederà nell'analisi più approfondita dei parametri che possono interessare il comportamento acustico del serramento considerando diverse essenze legnose, differenti profili e diverse geometrie.