

Risanamento acustico con finestre antirumore ventilate: i primi risultati sperimentali in Italia.

Autori: Federico Rossi, Francesco Asdrubali, Franco Cotana

CIRIAF- Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici. Via G. Duranti 1-4/A, 06125 Perugia, Tel. 075-5852846, Fax 075-5848470, e-mail: rossi@ibm.isten.ing.unipg.it.

1. Introduzione.

Un elemento fortemente innovativo introdotto, dalla Legge Quadro 447 e relativi Decreti attuativi è il concetto di Bonifica Acustica. Nella Legge si prevedono infatti, a vario livello, interventi di tipo programmatico, politico amministrativo, tecnico e di polizia volti a ridurre le emissioni acustiche o, più in generale, il disturbo da rumore a cui è sottoposto il cittadino.

Gli interventi di bonifica acustica sono strumenti di tipo tecnico che si differenziano per l'azione svolta:

- 1) riduzione delle emissioni della sorgente;
- 2) protezione del ricettore dal rumore.

Gli interventi del secondo tipo sono, per ovvie ragioni, i più impiegati nel contenimento del rumore stradale e ferroviario; in tali casi, infatti, si adottano sistemi quali barriere acustiche, barriere vegetali, sistemi di assorbimento dell'energia (baffles fonoassorbenti), gallerie artificiali.

Tuttavia, tali soluzioni non sono sempre applicabili sia per motivi tecnici sia per motivi economici; i principali motivi tecnici sono:

- edifici molto vicini alla sede stradale o ferroviaria, con conseguente mancanza di spazio utile per l'installazione di barriere, baffles, gallerie;
- aree in cui l'installazione di sistemi di protezione compromette la sicurezza stradale o produce un sensibile impatto visivo-paesaggistico;

i motivi economici insorgono quando:

- il numero di cittadini esposti al rumore è ridotto rispetto al costo dell'opera;
- il beneficio, in termini di riduzione del disturbo, introdotto dall'opera è modesto rispetto al costo (una barriera di altezza pari a 3m, ha un costo di circa 1.000.000 di lire al metro lineare).

In tutti questi casi una soluzione praticabile è costituita dagli interventi di tipo 2 mediante finestre ventilate antirumore, che garantiscono un elevato fonoisolamento e contemporaneamente consentono un passaggio dell'aria sufficiente per le esigenze di ricambio e raffrescamento estivo.

Il CIRIAF ha messo a disposizione il proprio Laboratorio di Acustica per effettuare una campagna di misura su n° 12 diversi modelli di finestre ventilate antirumore, al fine di individuare le prestazioni acustiche e aerauliche in relazione alle caratteristiche costruttive delle diverse tipologie.

I risultati della campagna di misure costituiscono una utile base di sperimentazione per la scelta del tipo di finestra ventilata antirumore (f.v.a.), in funzione della particolare applicazione.

2. Le finestre ventilate antirumore

Le proprietà fonoisolanti delle f.v.a. sono dovute ai particolari materiali impiegati, al progetto acustico ed a specifiche modalità di costruzione e di installazione.

Il telaio è in genere realizzato con profilati in alluminio esterni ed interni, accoppiati mediante giunti elastici; il vetro è almeno doppio con intercapedine, riempita con speciali gas che ne migliorano le proprietà fonoisolanti (esafloruro di zolfo SF₆), i singoli vetri sono del tipo multistrato.

Le proprietà di ventilazione sono garantite da un aeratore insonorizzato, che permette il passaggio dell'aria limitando fortemente il passaggio del rumore. L'aeratore ha la forma di un *cassonetto* e viene installato, in genere, nella parte superiore della finestra.

A seguito della differenza di pressione fra l'ambiente esterno e quello interno, un flusso d'aria si instaura attraverso l'aeratore. L'aria passa all'interno di un condotto avente sezione e profilo particolari, secondo una struttura a labirinto. Le pareti interne del condotto sono ricoperte con materiale fonoassorbente.

L'aria entra nel condotto attraverso una bocchetta d'ingresso dotata, in genere, di filtro e sagomatura antipioggia; l'aria è immessa nell'ambiente attraverso una bocchetta provvista di una serranda per la regolazione del flusso.

Alcuni tipi di aeratori sono equipaggiati con ventilatore elettrico, al fine di garantire una ventilazione forzata anche in assenza di differenza di pressione sui due lati dell'infisso.

I modelli di finestre ventilate antirumore esaminati dal CIRIAF si differenziano in base al tipo di finestre (anta doppia, anta doppia ribalta), allo spessore del vetro camera, costituito da vetro interno, intercapedine, vetro esterno, ed in base alle proprietà fonoisolanti dell'aeratore.

In Tab. 1 sono riportate le f.v.a. esaminate dal CIRIAF con le relative caratteristiche.

3. Il laboratorio di Acustica del CIRIAF

3.1. Le camere riverberanti accoppiate

Il Laboratorio di Acustica del CIRIAF dispone di camere riverberanti accoppiate conformi alle ISO 140-1 (1990), costituite da due strutture scatolari in cemento armato, meccanicamente isolate tra di loro e dall'ambiente esterno (vedi Fig. 1). La copertura della camera emittente è costituita in parte da un solaio normalizzato asportabile ed in parte da un solaio fisso. In base alle specifiche della ISO 140/3 è stato verificato che, per ogni frequenza compresa nell'intervallo 100 Hz-5000 Hz, il tempo di riverberazione τ_{60} è inferiore a due secondi.

La parete di separazione fra la camera emittente e quella ricevente (denominata *Filler Wall* nella normativa ISO 140-3) è costituita da due strati indipendenti, di spessore 18 cm e superficie 10.5 m², realizzati in mattoni pieni (vedi Fig. 2) e strutturalmente vincolati alla camera ricevente. Fra i due strati è ricavata un'intercapedine di spessore medio 4 cm, riempita con lana di roccia; il rivestimento esterno della parete è realizzato con intonaco acusticamente riflettente ($\alpha = 0.095$). Nella parete è ricavata una apertura per l'inserimento del campione; l'apertura è disposta in posizione asimmetrica, secondo le indicazioni della ISO 140/3.

Tab. 1: *Elenco dei modelli esaminati con le rispettive caratteristiche.*

N°	FINESTRA			AERATORE		
	TIPO ANTA	SPESSORE VETRO [mm]	TIPO DI GAS INTERCAPEDINE	TIPO	R _w	PRESENZA VENTILATORE MOTORIZZATO
1	ANTA DOPPIA RIBALTA	10-20-10	SF6	N43	43	NO
2	ANTA DOPPIA RIBALTA	12-11-9	-	N38	38	NO
3	ANTA DOPPIA RIBALTA	12-11-9	SF6	F40	40	SI
4	ANTA DOPPIA RIBALTA	10-20-10	-	F40	40	SI
5	ANTA DOPPIA	10-19-10	SF6	N38	38	NO
6	ANTA DOPPIA	10-19-10	SF6	F38	38	SI
7	ANTA DOPPIA	11-15-9	Gas Inerte	N43	43	NO
8	ANTA DOPPIA	11-15-9	Gas Inerte	F40	40	SI
9	ANTA DOPPIA RIBALTA	12-20-12	Ar + SF6	N35	35	NO
10	ANTA DOPPIA RIBALTA	12-20-12	Ar + SF6	F40	40	SI
11	ANTA DOPPIA	12-12-9	Gas Inerte	N43	43	NO
12	ANTA DOPPIA	12-12-9	Gas Inerte	F40	40	SI

N = ventilazione naturale

F = ventilazione forzata

3.2. *Strumentazione per la misura del potere fonoisolante*

Si dispone di un sistema fonometrico costituito da un PC dotato di una scheda per l'acquisizione di segnali acustici (modello OROS AU22 della 0.1 dB). La scheda è gestita da uno specifico programma che consente la valutazione delle seguenti grandezze: potere fonoisolante, indici del potere fonoisolante, indice RASTI e STI. I microfoni impiegati sono il modello UC53A di RION. La sorgente sonora SONCIR 1 ha forma dodecaedrica, come specificato nella sez. C.1.3 della ISO 140-3. La sorgente è stata progettata e costruita nei laboratori del CIRIAF. Per l'alimentazione della sorgente si è utilizzato un amplificatore Technics mod. SU-A900. Il rumore viene generato da un registratore digitale che riproduce un segnale di rumore bianco. La potenza delle bande di 1/3 d'ottava del rumore bianco è stata equalizzata in modo da rispettare la condizione prevista dalla ISO140/3.

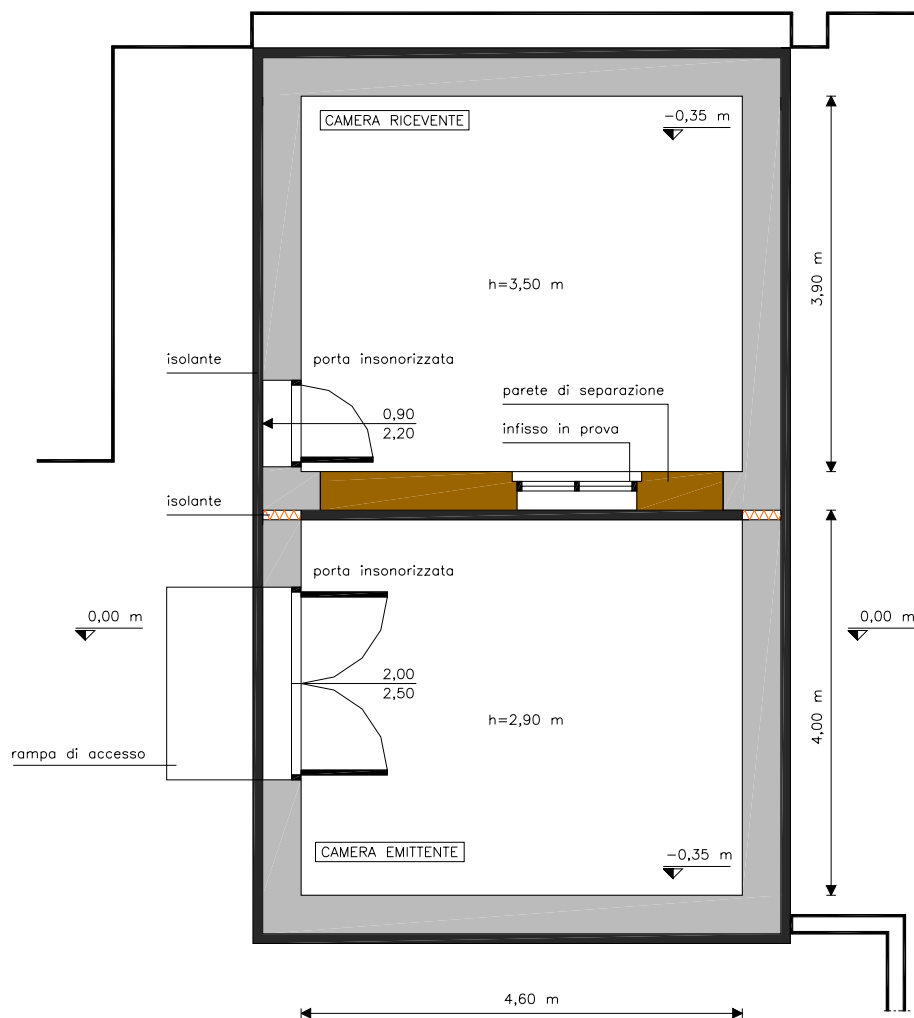


Fig. 1: pianta delle camere riverberanti accoppiate.

3.3. Strumentazione per la misura della portata di ventilazione.

Le camere riverberanti accoppiate sono utilizzate anche per la misura delle prestazioni aerauliche creando una differenza di pressione ΔP fra le due camere e misurando la portata d'aria G che transita attraverso l'infilso, in conseguenza della ΔP generata. La portata G è funzione di ΔP . In analogia alla situazione esistente per le finestre in opera, si è posta in depressione la camera ricevente. La differenza ΔP è ottenuta per mezzo dell'immissione forzata di aria a soffitto della camera emittente e contemporanea aspirazione di aria a soffitto della camera ricevente, secondo lo schema di Fig. 3. Il ventilatore centrifugo vc , montato a terra esternamente alle camere sui supporti antivibranti sav , aspira aria dalla camera ricevente, attraverso le bocchette di ripresa br . L'aria è ricircolata nel canale di ripresa cr e spinta dal ventilatore nel canale di mandata cm , quindi immessa nella camera emittente per mezzo della bocchetta di mandata bm . La portata d'aria è regolabile con la serranda manuale sr . Se l'apertura fra le camere è perfettamente

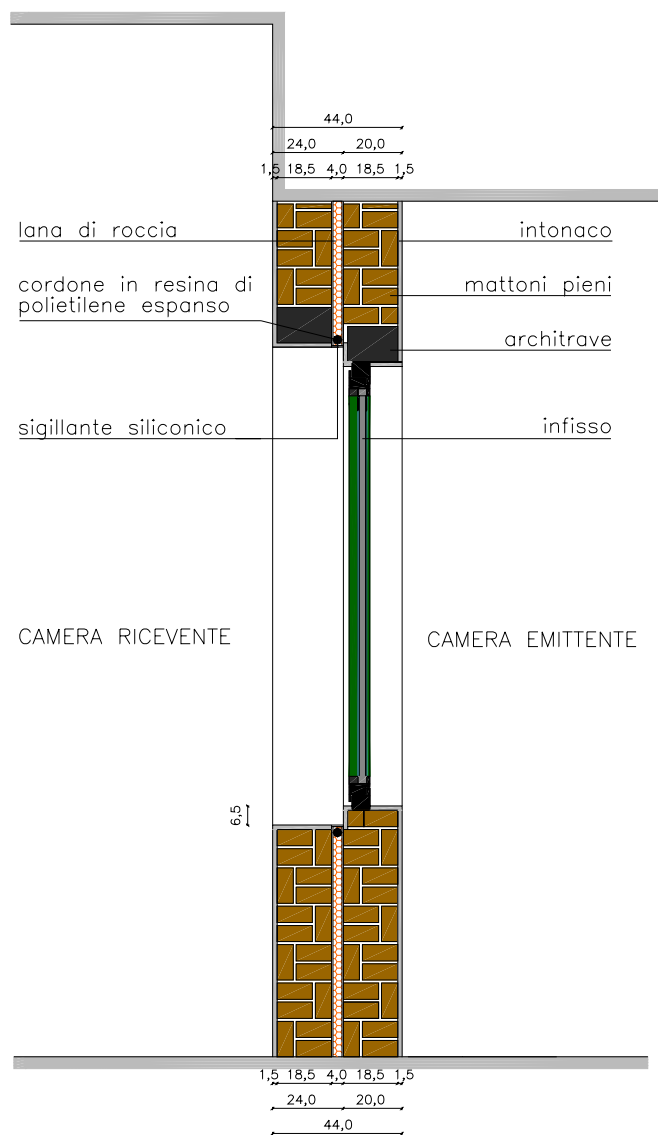


Fig.2: sezione della parete di separazione tra la camera emittente e la camera ricevente.

sigillata, la portata diventa praticamente eguale a zero e la differenza di pressione ΔP eguale alla ΔP a bocca chiusa del ventilatore.

La strumentazione di misura è costituita da:

- Ventilatore centrifugo;
- Manometro differenziale;
- Anemometro a ventolina.

LEGENDA

md	manometro differenziale	ma	mandata aria	vc	ventilatore centrifugo
a	anemometro	aa	aspirazione aria	sav	supporto antivibrante
sa	sonda anemometrica	bm	bocchetta di mandata	sr	serranda di regolazione
t	termometro	br	bocchetta di ripresa		
i	igrometro	cm	canale di mandata		
b	barometro	cr	canale di ripresa		
s	sonde				

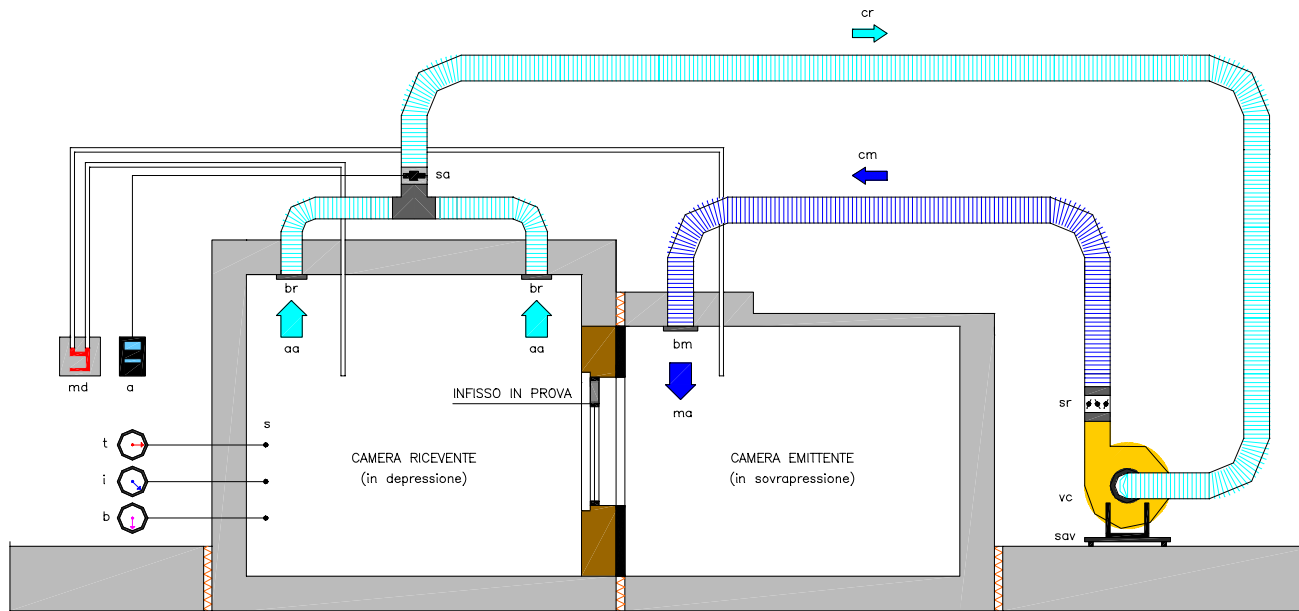


Fig. 3: disposizione sperimentale per la misura della portata d'aria.

4. Modalità di misura

4.1. Misura del potere fonoisolante

Per la misura del potere fonoisolante si è fatto riferimento alle specifiche della ISO 140/3-95.

I campioni sono installati nella apertura di prova e sono conservati, per le 24 ore precedenti la misura, alla stessa temperatura dell'ambiente di prova ($20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$).

La misura del potere fonoisolante prevede le seguenti operazioni:

1. apertura e chiusura della finestra per almeno cinque volte prima di iniziare la misura;
2. collocazione della sorgente e dei microfoni in una delle posizioni individuate in base ai criteri della ISO 140/3; per ciascuna posizione della sorgente si individuano 5 posizioni microfoniche;
3. calibrazione di entrambi i microfoni;
4. immissione nella camera emittente del rumore bianco. La potenza acustica del rumore bianco è tale da garantire un livello di pressione nella camera ricevente maggiore di almeno 15 dB rispetto al rumore di fondo in ogni banda di frequenza;
5. misura contemporanea del livello di pressione sonora nella camera ricevente e nella camera emittente: per ciascuna posizione del microfono si effettuano 2 rilievi distinti. Il tempo di integrazione per ogni singola misura è pari a 8 secondi per tutte le bande;
6. calcolo della media dei livelli relativi ai dei due rilievi relativi al rumore nella camera emittente ed a quello nella camera ricevente;
7. ripetizione delle operazioni 3, 4, 5 e 6 per tutte le prefissate posizioni dei microfoni relative ad una posizione della sorgente;
8. spostamento della posizione della sorgente in un'altra delle posizioni prefissate;
9. ripetizione delle operazioni 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 per le cinque posizioni della sorgente;
10. calcolo della media dei livelli di cui al punto 6 per ciascuna posizione della sorgente. Si ottiene così il livello di pressione sonora medio nella camera emittente, indicato con L_1 e quello nella camera ricevente indicato con L_2 ;
11. misura del tempo di riverberazione della camera ricevente;
12. calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w , secondo le modalità della norma ISO 717/2-82;
13. misura del potere fonoisolante della parete di separazione, ripetendo le operazioni da 2 a 12, dopo aver applicato un elemento di chiusura addizionale sull'apertura. Tale operazione ha lo scopo di correggere i valori del potere fonoisolante affetti da errori dovuti al fenomeno del fiancheggiamento;
14. calcolo delle eventuali correzioni del potere fonoisolante e indice di valutazione del potere fonoisolante e dei termini di adattamento.

4.2. Misura della portata di ventilazione

Scopo della prova è valutare la portata d'aria G che attraversa il campione, in funzione di una differenza di pressione ΔP tra la camera ricevente e la camera emittente.

Detta portata, infatti, in assenza di una normativa specifica, può essere ragionevolmente considerata un indice della portata di ventilazione che il campione sarà in grado di esibire in opera, per effetto della differenza di pressione di solito esistente fra esterno ed interno dell'edificio, dovuta all'azione dei venti o a fenomeni termici. Si sono considerate due condizioni di riferimento per la differenza di pressione, $\Delta P = 5 \text{ Pa}$ e $\Delta P = 10 \text{ Pa}$, paragonabili, come ordine di grandezze, alle condizioni in opera.

La portata G è funzione non solo della differenza di pressione ΔP , ma anche del tipo di finestra e del grado di apertura della bocchetta dell'aeratore (50% o 100%); ne consegue

che a ciascuna finestra, al termine della prova, sono associate due curve sperimentali, $G=G(\Delta P)$, caratteristiche dell'infisso stesso e relative alle due condizioni di apertura. Le operazioni di misura della portata di ventilazione sono le seguenti:

1. regolazione dell'apertura della bocchetta dell'aeratore al 100%;
2. chiusura ermetica delle camere;
3. accensione del ventilatore centrifugo;
4. regolazione della valvola a serranda del VC nel punto di massima apertura;
5. attesa delle condizioni di stazionarietà;
6. lettura dei valori di ΔP e v ;
7. ripetizione operazioni n. 4, 5, e 6 per quattro nuove posizioni della valvola a serranda del VC;
8. calcolo dei valori della portata G ;
9. regolazione dell'apertura della bocchetta dell'aeratore al 50%;
10. ripetizione operazioni n. 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8;
11. interpolazione delle coppie dei valori ΔP e G e redazione dei relativi diagrammi.

La regolazione di cui al punto 1 viene effettuata manualmente dall'operatore dall'interno della camera ricevente. In seguito all'operazione 1 le porte di accesso alla camera emittente e ricevente vengono entrambe chiuse ermeticamente per evitare perdite di tenuta. L'accensione del VC di cui al punto 3 è seguita dalla regolazione della valvola a serranda sulla massima apertura: ciò genera la differenza di pressione massima ΔP_{\max} tra le due camere. Per il raggiungimento delle condizioni di stazionarietà del flusso, l'operatore attende circa 20 secondi (punto 5): controllando che siano stabili i valori di ΔP e v . Una volta raggiunte le condizioni di stazionarietà, si effettua la lettura dei valori di ΔP e v mediante la strumentazione di cui al paragrafo 3. Dopo l'acquisizione della prima coppia di valori, si agisce sulla valvola a serranda (punto 7), raggiungendo un nuovo valore di ΔP , minore del precedente. Tale valore è scelto dividendo approssimativamente in quattro parti uguali l'intervallo $2 \div \Delta P_{\max}$ (identificando con 2 Pa il valore della ΔP_{\min} , che si ottiene in posizione di completa chiusura della valvola). Dopo l'attesa del raggiungimento delle nuove condizioni di stazionarietà del flusso, l'operatore avvia nuovamente il calcolo della velocità e trascrive la seconda coppia di valori. Si procede analogamente per altre tre posizioni della valvola a serranda fino a raggiungere la completa chiusura della stessa. Dopo l'acquisizione delle cinque coppie di valori ($\Delta P, v$), si calcolano le corrispondenti coppie ($\Delta P, G$) a partire dall'area della sezione del condotto di ripresa $A = 78.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Il ventilatore centrifugo viene quindi disattivato per consentire di regolare l'apertura dell'aeratore al 50% (punto 9) e dare inizio alla seconda ed ultima serie di misure sullo stesso infisso (punto 10), con la ripetizione di tutte le fasi di cui sopra. Per interpolazione dei valori puntuali misurati, si procede al tracciamento delle due curve $G=G(\Delta P)$ caratteristiche dell'infisso in esame.

5. Risultati delle misure

Per ciascun modello di finestre ventilate antirumore, il CIRIAF ha elaborato 2 certificati di prova; uno relativo al potere fonoisolante, uno relativo alla portata di ventilazione. I risultati delle misure riportati nei certificati sono quelli delle figure 4 e 5. Al fine di agevolare il confronto, con riferimento alla numerazione di tabella 1, sono state elaborate le tabelle 2 e 3, nelle quali sono evidenziati i risultati delle misure acustiche ed aerauliche.

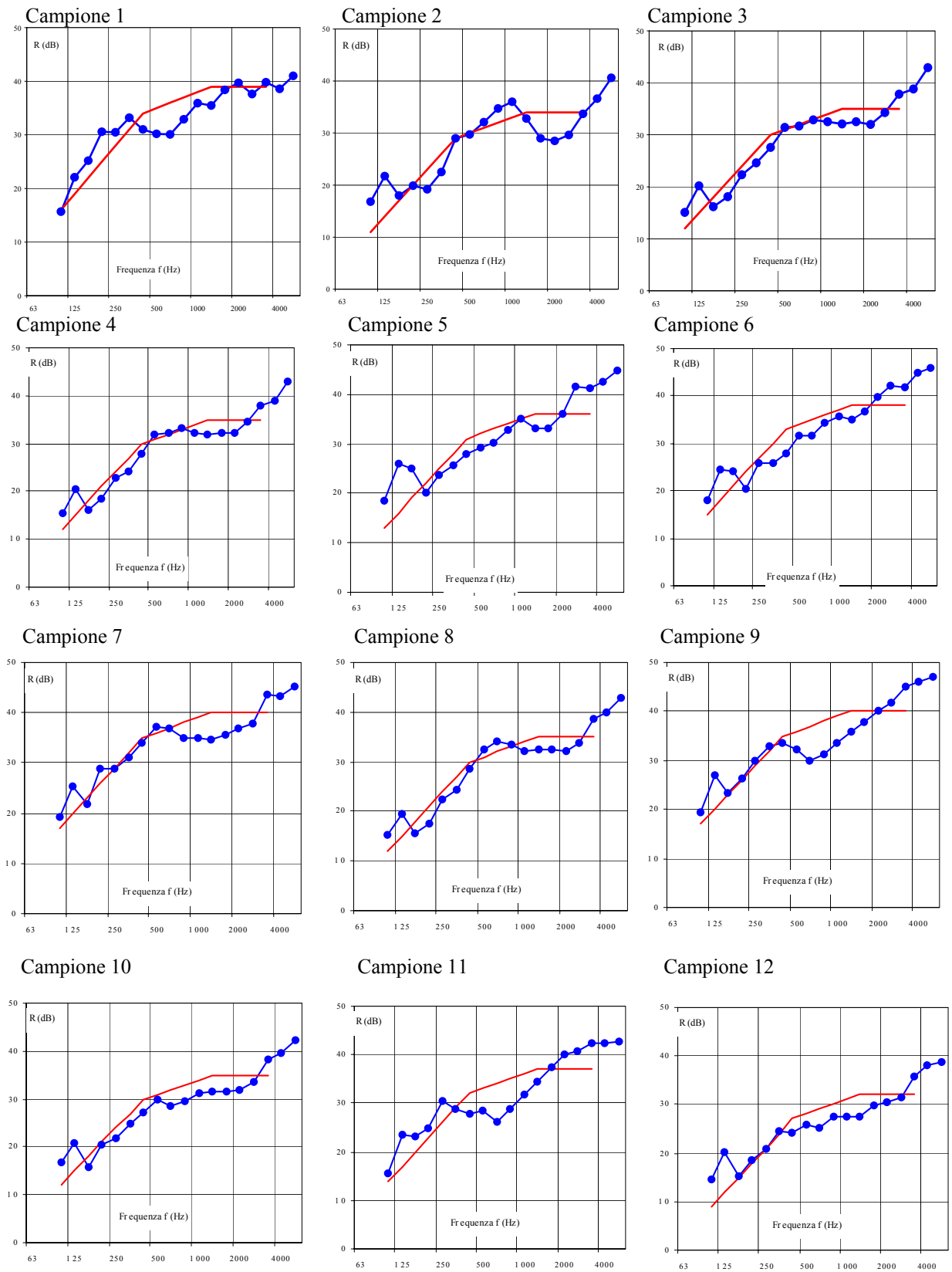


Fig. 4: andamento del potere fonoisolante R_w , in funzione della frequenza, per i campioni in esame. Ad ogni spettro è sovrapposta la curva di riferimento ISO 717/1.

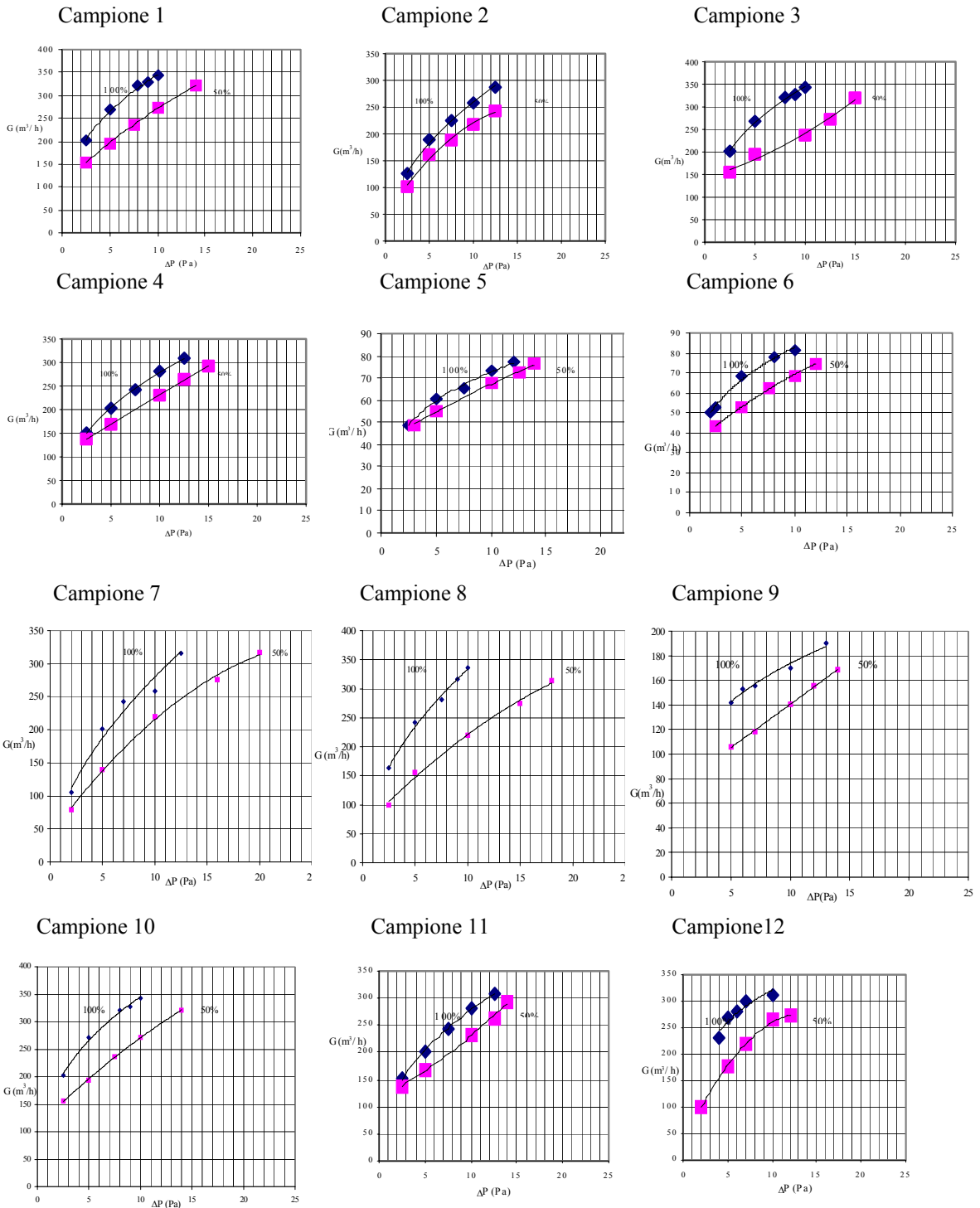


Fig. 5: andamento della portata di ventilazione G , in funzione della differenza di pressione ΔP , per i campioni in esame.

Tab. 2: Risultati delle misure acustiche: indice del potere fonoisolante R_w con bocchetta aeratore aperta al 100%.

CAMPIONE N°	R_w (dB)
1	35
2	30
3	31
4	31
5	32
6	34
7	36
8	31
9	36
10	31
11	33
12	28

Tab. 3: Risultato delle misure della portata di ventilazione.

CAMPIONE N°	PORTATA (m ³ /h)					NOTE
	APERTURA AERATORE 50%		APERTURA AERATORE 100%			
	$\Delta P=5$ Pa	$\Delta P=10$ Pa	$\Delta P=0$ Pa	$\Delta P=5$ Pa	$\Delta P=10$ Pa	
1	169	231	/	203	281	Non motorizzato
2	161	217	/	189	287	Non motorizzato
3	195	272	/	268	343	Aeratore spento
	/	/	272	/	/	Aeratore acceso
4	195	272	/	268	343	Aeratore spento
	/	/	272	/	/	Aeratore acceso
5	55	67	/	60	73	Non motorizzato
6	53	68	/	70	81	Aeratore spento
	/	/	238	/	/	Aeratore acceso
7	140	220	/	201	259	Non motorizzato
8	156	220	/	242	336	Aeratore spento
	/	/	251	/	/	Aeratore acceso
9	106	140	/	142	170	Non motorizzato
10	195	272	/	268	343	Aeratore spento
	/	/	272	/	/	Aeratore acceso
11	169	231	/	203	281	Non motorizzato
12	176	264	/	271	310	Aeratore spento
	/	/	264	/	/	Aeratore acceso

6. Conclusioni.

Per quanto riguarda le prestazioni acustiche delle f.v.a., dalla Tabella 2 si evince che le finestre provviste di aeratore motorizzato presentano in genere caratteristiche di isolamento acustico inferiori rispetto alle finestre che ne sono sprovviste.

I valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w con aeratore aperto sono compresi tra 28 e 34 dB per aeratori motorizzati e tra 32 e 36 dB per aeratori non motorizzati.

Per i dati aeraulici conviene distinguere, ai fini del confronto, le finestre dotate di aeratore motorizzato e non motorizzato; la distinzione è opportuna sia per uniformità con il confronto acustico, sia perché gli aeratori motorizzati necessitano di un confronto ulteriore a motore acceso.

Per il confronto a motore spento dalla tabella 3, considerando le condizioni 100% apertura e $\Delta P = 5\text{Pa}$; le portate sono comprese tra 70 e 271 m^3/h .

Per gli infissi con aeratore acceso si osserva che le portate sono circa uguali e comprese tra 238 e 272 m^3/h .

Per gli infissi con aeratore non motorizzato, dalla tabella 3 risulta che i valori della portata sono compresi tra 60 e 203 m^3/h .

Si può concludere che tutte le finestre esaminate offrono ottime prestazioni acustiche associate a portate di ventilazione che possono consentire, oltre al normale ricambio d'aria, anche un discreto raffrescamento nel periodo estivo.

7. Bibliografia

- [1] L. Q. 447 26.10.1995: *Legge Quadro sull'inquinamento acustico.*
- [2] DPCM 14.11.97: *Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.*
- [3] DPCM 05.12.97: *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.*
- [4] UNI 8270-1/82: *Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edificio. Requisiti dei Laboratori.*
- [5] ISO140-1/90: *Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edificio. Requisiti dei Laboratori.*
- [6] UNI EN ISO 140-3/97: *Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edificio. Requisiti dei Laboratori. Misura in Laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio.*
- [7] UNI EN 20140-10/93: *Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edificio. Requisiti dei Laboratori. Misura in Laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di piccoli elementi di edificio.*
- [8] UNI EN ISO 717-1/96: *Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento acustico per via aerea.*
- [9] UNI EN ISO 717-2/96: *Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento del rumore da calpestio.*
- [10] UNI EN 20354/93: *Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante.*
- [11] UNI 7170: *Vetri piani. Isolamento acustico.*
- [12] UNI EN 77: *Metodi di prova delle finestre, prova di resistenza al vento.*
- [13] UNI EN 42: *Metodi di prova delle finestre, prova di permeabilità dell'aria.*
- [14] UNI EN 86: *Metodi di prova delle finestre, prova di tenuta all'acqua sotto tenuta statica*
- [15] ISO 5221/84: *Rules to methods of measuring air flow rate in an air handling duct.*
- [16] UNI EN 78: *Metodi di prova delle finestre, presentazione del resoconto di prova.*
- [17] CEN/TC 156/WG6: *Ventilation for buildings: Design Criteria for the Indoor Environmental.*