

# INFISSI VENTILATI ANTIRUMORE: DIMENSIONAMENTO DELLE PRESTAZIONI AERAILICHE IN UN EDIFICIO CAMPIONE DELLA CITTA' DI GENOVA

*Cinzia Buratti – Giorgio Baldinelli*

Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università degli Studi di Perugia  
Via G. Duranti 1-A/4 – 06125 Perugia

## **SOMMARIO**

L'installazione di infissi ventilati antirumore rappresenta una soluzione innovativa per la protezione degli edifici urbani dall'inquinamento acustico, in special modo per le costruzioni che si affacciano sulle autostrade o che si trovano nelle vicinanze di strade a traffico elevato. Tali tipologie di finestre, oltre ad essere caratterizzate da elevate prestazioni di isolamento acustico, permettono un ricambio d'aria all'interno degli appartamenti attraverso aeratori posizionati nella parte superiore, garantendo la ventilazione anche a finestre chiuse e fornendo un apporto alle esigenze di raffrescamento estivo. Nel presente lavoro sono valutate le prestazioni aerailiche e di raffrescamento di finestre ventilate antirumore da installarsi in un edificio-pilota situato nella città di Genova, lungo un'infrastruttura autostradale. I risultati, a parità di prestazioni acustiche e in diverse condizioni di ventilazione, evidenziano un apporto apprezzabile al raffrescamento solo nelle ore notturne (dalle 22 alle 6); la percentuale del carico termico rimosso varia con le diverse scelte progettuali: dal minimo, corrispondente alla ipotesi di ventilazione forzata con portata minima, crescendo fino ai valori più elevati corrispondenti alla soluzione con aeratori a ventilazione naturale. Viene infine definita la scelta progettuale più vantaggiosa, sulla base di un compromesso fra esigenze di carattere economico e di ottimizzazione della prestazioni acustiche e aerailiche.

## **1. INTRODUZIONE**

La compenetrazione tra infrastrutture stradali ed insediamenti abitativi è foriera di problematiche relative ad inquinamento atmosferico ed acustico; tradizionalmente si è cercato di ostacolare la propagazione del rumore con l'installazione di barriere fonoisolanti-assorbenti ai bordi delle strade e con la realizzazione di pavimentazioni stradali utilizzando asfalti fonoassorbenti e giunti elastici. Oltre a questi interventi in prossimità della sorgente è possibile ricorrere alla protezione acustica in corrispondenza dei recettori, ossia sulle abitazioni, con prescrizioni sui materiali costruttivi delle pareti perimetrali ed attraverso l'installazione di finestre antirumore. Il rispetto delle prescrizioni acustiche richiede che le finestre siano mantenute chiuse, pertanto si rende necessaria la presenza di aeratori che consentano di garantire i requisiti di purezza e ricambio dell'aria.

La città di Genova, particolarmente gravata dall'inquinamento acustico provocato dagli attraversamenti autostradali che si intersecano con il tessuto abitativo del centro urbano, è stata scelta dal Ministero dell'Ambiente come uno dei casi pilota per la sperimentazione di metodologie per l'abbattimento del rumore mediante l'impiego di infissi ventilati ad elevato potere fonoisolante. La sperimentazione riguarda un edificio situato lungo l'autostrada che attraversa la città. La soluzione proposta consiste nella sostituzione degli attuali infissi con infissi di adeguate caratteristiche acustiche, in grado di rispettare quanto prescritto dal D.P.C.M. 5/12/1997 [1] relativo ai requisiti acustici passivi degli edifici. Nel presente lavoro sono analizzate le prestazioni aerailiche degli infissi ventilati antirumore in quattro diverse soluzioni progettuali, con particolare attenzione ai seguenti aspetti:

- verifica delle portate d'aria di rinnovo garantite dagli infissi e confronto con i valori forniti da alcune raccomandazioni tecniche [2, 3, 4];
- valutazione della percentuale di carico termico rimosso per effetto della ventilazione.

E' effettuato infine un confronto tecnico ed economico tra le quattro soluzioni proposte e sono date indicazioni in merito alla scelta che rappresenta il miglior compromesso tra le esigenze tecniche ed economiche.

## 2. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

L'edificio oggetto della sperimentazione è sito lungo una delle autostrade di attraversamento della città di Genova; la facciata rivolta a nord-est è particolarmente vicina ad un viadotto autostradale ed è pertanto estremamente sensibile a problematiche di carattere acustico. Il palazzo si innalza per cinque piani ed è realizzato in calcestruzzo armato; è costituito da 31 appartamenti, 6 per ogni piano e 1 al piano terra; gli appartamenti sono riconducibili a 7 tipologie distributive diverse.

Le aperture vetrate sono numerose e di grandezze diverse, essendo costituite da finestre di dimensioni variabili e da porte-finestre; la pianta di un piano tipo dell'edificio è disegnata in fig. 1.

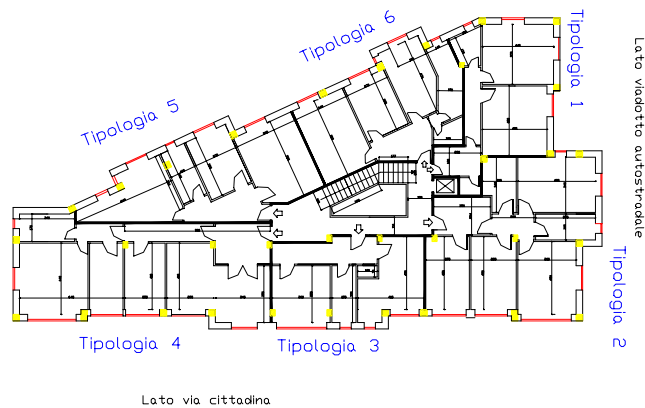


Fig. 1- Pianta di un piano-tipo dell'edificio oggetto della sperimentazione.

## 3. PROGETTAZIONE ACUSTICA

La protezione degli ambienti abitativi dal rumore proveniente dalla sede autostradale rappresenta lo scopo primario di tutta la sperimentazione; per il dimensionamento degli infissi viene imposto il rispetto del requisito acustico passivo "isolamento acustico di facciata", ovvero vengono definite le caratteristiche minime di fonoisolamento della finestra ventilata antirumore da installare al posto degli infissi esistenti, affinché le pareti della palazzina rispettino quanto prescritto dal D.P.C.M. 5/12/97 [1]. Quando si ricercano le caratteristiche fonoisolanti di pareti composte si può procedere per via sperimentale o per via teorica. Se sono disponibili le caratteristiche di isolamento acustico delle singole parti che costituiscono la parte composta, si opera utilizzando il procedimento che segue. Indicando con  $S_1, S_2, \dots, S_n$  le superfici di porte, finestre, aperture sulla parete e con  $t_1, t_2, \dots, t_n$  i relativi indici di trasmissione, si calcola l'indice di trasmissione medio pesato con la relazione:

$$t_m = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \dots + t_n S_n}{S} \quad (1)$$

con

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (2)$$

Ricordando poi la relazione che lega l'indice del potere fonoisolante all'indice di trasmissione:

$$R_m = 10 \log_{10} \frac{1}{t_m} \quad (3)$$

si può scrivere:

$$D_{2m,nT} = 10 \log_{10} \frac{S_p + S_f}{S_p 10^{-\frac{D_{2m,nTp}}{10}} + S_f 10^{-\frac{D_{2m,nTf}}{10}}} \quad (4)$$

A partire quindi dalle caratteristiche di ogni singolo componente e dalla superficie che esso occupa nella parte composta, si può risalire al valore complessivo del potere fonoisolante (e perciò anche a tutte le grandezze che da questo derivano come, ad esempio, l'isolamento acustico di facciata).

Sulla base di alcuni rilievi effettuati presso l'edificio oggetto della sperimentazione e volti alla determinazione dell'isolamento acustico di facciata prima della sostituzione degli infissi, si è pervenuti alla determinazione del valore di  $D_{2m,nTfMIN}$  necessario a garantire il valore minimo dell'isolamento acustico di facciata previsto dal DPCM 5/12/97; esplicitando nella (4) il termine  $D_{2m,nTf}$  relativo alla finestra ed imponendo che il termine  $D_{2m,nTp}$  relativo alla facciata sia pari a 40 dB [1], si ottiene:

$$D_{2m,nTfMIN} = -10 \log \left( -\frac{S_p}{S_f} 10^{-\frac{D_{2m,nTp}}{10}} + \frac{S_f + S_p}{S_f 10^{-\frac{D_{2m,nT}}{10}}} \right) \cong 33 \text{ dB}$$

Le finestre ventilate antirumore da installare nell'edificio dovranno quindi avere un valore minimo dell'isolamento acustico di facciata pari a 33 dB.

Parallelamente ai rilievi in situ, è stata effettuata presso i Laboratori di Acustica e Termotecnica del CIRIAF (Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici) una campagna di prove su quattordici differenti prototipi di finestre realizzate da diversi fornitori italiani per verificarne le proprietà acustiche e determinare i requisiti di ventilazione. Lo studio delle capacità di raffrescamento si è dunque focalizzato su uno dei prototipi che garantisce adeguate prestazioni in termini di isolamento acustico e i calcoli delle portate sono stati eseguiti considerando una delle finestre che hanno fornito un valore di  $D_{2m,nTfMIN}$  superiore a 33 dB.

#### 4. CALCOLO DELLA PORTATA D'ARIA DI VENTILAZIONE

Definiti i requisiti acustici degli infissi, l'attenzione si sposta sulla verifica delle prestazioni aerauliche: la necessità di mantenere le finestre chiuse presuppone l'installazione di aeratori a ventilazione naturale o forzata per poter garantire il ricambio d'aria all'interno degli ambienti abitativi.

L'impiego di aeratori a ventilazione forzata rende il flusso d'aria indipendente dalle condizioni barometriche relative fra interno ed esterno. Se, al contrario, si intende scegliere la soluzione con ventilazione naturale, è necessario creare una depressione all'interno degli appartamenti, attraverso un torrino di estrazione. Dai rilievi architettonici effettuati in situ si è individuata nei canali di aspirazione delle cappe ad uso cucina, con bocchettone d'uscita sul tetto dell'edificio, la via per l'aspirazione dell'aria. Tale soluzione garantisce il ricambio richiesto, anche se può far emergere alcuni inconvenienti quali la creazione di correnti d'aria, la cortocircuitazione del flusso tra immissione ed estrazione e la stagnazione dell'aria in zone dell'ambiente non efficacemente coperte.

Il calcolo della portata d'aria esterna minima da introdurre nelle abitazioni può essere effettuato seguendo due differenti approcci, che fanno riferimento a tre normative diverse:

1. Indoor Air Quality Procedure: la portata esterna è calcolata in funzione della concentrazione degli inquinanti all'interno dell'ambiente confinato; questa metodologia, di tipo prestazionale, indica quali sono i livelli accettabili di inquinanti e ad essa fa riferimento la normativa Europea CEN/TC 156/WG 6 [2].
2. Ventilation Rate Procedure o approccio prescrittivo: la portata d'aria esterna è calcolata in funzione della destinazione d'uso dei locali e del numero di persone in essi presenti; a questa procedura fanno riferimento la norma ASHRAE 62-89 [3] e la norma UNI 10339 [4].

La metodologia usata per il calcolo delle prestazioni aerauliche fa riferimento alla Indoor Air Quality Procedure, con le ipotesi di una perfetta diluizione degli inquinanti in ambiente (Perfect Mixing Distribution) e conseguente uniforme concentrazione di questi ultimi.

Si impiega la seguente relazione:

$$G_c = 36 \frac{I}{C_i - C_0} \frac{1}{\eta_v} \eta_F \quad (5)$$

I valori che meglio rappresentano lo stato dell'edificio si ricavano da opportune tabelle. In particolare, nelle situazioni esaminate, si sono assunti i seguenti [3]:

- $C_i = 1.0$  decipol (categoria A, ottima qualità)
- $C_0 = 0.5$  decipol (città, aria inquinata)
- $\eta_v = 0.7$
- $\eta_F = 0.6$

La portata di ventilazione per gli aeratori motorizzati funzionanti nella totalità delle finestre, con serranda aperta al 100% e con filtro, è in alcuni casi molto maggiore della portata richiesta; in tali situazioni è pertanto possibile installare alcune finestre senza aeratore, con notevole riduzione dei costi ed incremento delle proprietà acustiche.

La normativa UNI 10339 e la ASHRAE 62-1989 prescrivono i valori minimi per le portate di ricambio dell'aria. La portata è normalizzata o rispetto al volume (tasso di ricambio orario), o è proporzionale al numero massimo di persone di cui è prevista la presenza e in riferimento alla superficie di pavimento. In tabella 1 sono confrontati i valori di portata richiesti dalle tre normative e le portate minime di progetto fornite dagli aeratori.

Tab. 1 - Portate di progetto e portate minime richieste secondo UNI 10339, ASHRAE 62-1989 e Indoor Air Quality Procedure.

Destinazione d'uso: Civile Abitazione		Portate					
		UNI 10339	ASHRAE 62-1989			CEN/TC 156/WG 6	Portata minima aeratori
Tipologia Appartamento	Dimensioni	$\left(\frac{m^3}{h}\right)$	Bagni $\left(\frac{m^3}{h}\right)$	Soggiorno $\left(\frac{m^3}{h}\right)$	Cucina $\left(\frac{m^3}{h}\right)$	$\left(\frac{m^3}{h}\right)$	$\left(\frac{m^3}{h}\right)$
1	A=47.91m <sup>2</sup>	76.65	50.30	51.74	82.8	473.0	489.6
	V=143.73m <sup>3</sup>						
2	A=81.25m <sup>2</sup>	130	85.31	87.75	140.4	801.7	841.5
	V=243.75m <sup>3</sup>						
3	A=56.92 m <sup>2</sup>	91.07	59.76	61.47	98.35	424.1	459.0
	V=170.76m <sup>3</sup>						
4	A=86.57m <sup>2</sup>	138.51	90.89	93.5	149.6	854.7	999.6
	V=259.71m <sup>3</sup>						
5	A= 59.32m <sup>2</sup>	94.91	62.28	64.06	102.5	586.3	586.8
	V=177.96m <sup>3</sup>						
6	A=56.92 m <sup>2</sup>	91.07	59.76	61.47	98.35	561.6	524.5
	V=170.76m <sup>3</sup>						
7	A=29.84m <sup>2</sup>	47.75	31.34	32.25	51.56	294.6	418.2
	V=89.53m <sup>3</sup>						

Confrontando i valori della portata ottenuti in base alle normative con i valori minimi dati dalla capacità degli aeratori di ogni tipologia di appartamento si nota che, anche nelle condizioni più gravose, è praticamente sempre rispettata la portata minima richiesta (v. tabella 1).

## 5. CALCOLO DEI CARICHI TERMICI

Nei mesi estivi, quando l'edificio è soggetto ad un flusso termico diretto verso l'interno, l'introduzione di una portata d'aria attraverso gli aeratori, nelle ore in cui la temperatura dell'aria esterna è minore di quella interna, consente il raffrescamento; si è così determinato l'andamento orario giornaliero del carico termico in condizioni estive, per ogni tipologia d'appartamento.

Per il carico termico estivo  $Q_{te}$  dell'edificio si è considerato il massimo contemporaneo della funzione  $Q(t)$  che rappresenta la somma di tutti i contributi, valutati ora per ora.

Nel calcolo dei carichi termici si sono assunti i seguenti dati:

### Parete esterna tipo:

- intonaco esterno, spessore  $s_1 = 0.04$  m;
- mattoni forati in laterizio, spessore  $s_2 = 0.12$  m;
- intercapedine d'aria, spessore  $s_3 = 0.06$  m;
- mattoni forati in laterizio, spessore  $s_4 = 0.12$  m;
- intonaco interno, spessore  $s_5 = 0.02$  m;
- trasmittanza  $H = 1.2$  W/m<sup>2</sup>K.

### Finestre antirumore:

dotate di vetro doppio, telaio in alluminio e aeratore posto superiormente all'infisso; trasmittanza  $H = 3.4$  W/m<sup>2</sup>K.

### Latitudine:

45° N

### Pareti divisorie:

- intonaco da ambo i lati, spessore  $s_1 = 0.02$  m;
- due file di tavelloni, spessore  $s_2 = s_3 = 0.04$  m;
- trasmittanza  $H = 1.5$  W/m<sup>2</sup>K.

### Solaio:

- piastrelle, spessore  $s_1 = 0.03$  m;
- calcestruzzo alleggerito, spessore  $s_2 = 0.10$  m;
- calcestruzzo armato e laterizio, spessore  $s_3 = 0.20$  m;
- intonaco, spessore  $s_4 = 0.02$  m;
- trasmittanza  $H = 1.5$  W/m<sup>2</sup>K.

### Variabili termoigrometriche esterne ed interne:

giorno 23/7, andamenti orari delle grandezze;

- temperatura massima giornaliera esterna  $T_{\text{emax}} = 29.9^\circ\text{C}$ ;
- escursione giornaliera dell'aria esterna  $\Delta T_{\text{emax}} = 6^\circ\text{C}$ ;
- distribuzione giornaliera (valori orari) della temperatura dell'aria esterna  $T(t) = T_{\text{emax}} - F(t) \cdot \Delta T_{\text{emax}}$  [5];
- temperatura di progetto interna (costante)  $T_i = 26^\circ\text{C}$ ;
- temperatura vano scala  $T_{\text{ivs}} = T_e - 2^\circ$ .

### Fattori di accumulo e differenze di temperatura equivalente:

sono ricavati da [6] per latitudine 45°, per un peso del muro esterno di 500 kg/m<sup>2</sup> e dei locali con uno o più muri esterni di 490 kg/m<sup>2</sup>.

### Coefficiente di trasmissione lineare per ponti termici:

$K_l = 0.47$  W/mK.

### Ventilazione:

- portata d'aria di infiltrazione dall'esterno  $G_{\text{inf,est}} = 0$ ;
- portata d'aria da ambienti confinanti  $G_{\text{amb,conf}} = 0$ ;

- portata d'aria di ventilazione  $G_v = \rho * Q_{ml} * L_{fin} / 3600$ , con  $\rho$  (densità dell'aria) =  $1.2 \text{ kg/m}^3$ ,  $G_{ml} = 102 \text{ m}^3/\text{h}$  portata a metro lineare di finestra con aeratore e dotata di filtro,  $L_{fin}$  = larghezza finestra;
- calore specifico dell'aria  $c = 1005 \text{ J/kgK}$ .

#### Metabolismo:

una persona che dorme: 114 W;  
una persona in attività sedentaria 139 W.

#### Macchinari:

- lavatrice: 800W, in uso due ore, dalle 7 alle 9;
- frigorifero: 700 W, in uso durante tutte le ore, considerando al 50% la potenza;
- forno: 1000 W in uso durante due ore della giornata (alle 12 e alle 19);
- televisore: 400 W, in uso durante il periodo dalle 12 alle 14 e dalle 19 alle 23.

#### Illuminazione:

lampade di potenza pari a  $5 \text{ W/m}^2$  di superficie illuminata.

### **6. PRESTAZIONI DI RAFFRESCAMENTO: SOLUZIONI PROPOSTE**

Al fine di valutare l'influenza della portata di ventilazione sulla rimozione del carico termico, si sono ipotizzati quattro casi distinti di aerazione sulle sette tipologie edilizie dell'edificio. Si è calcolata poi la percentuale di rimozione del carico termico totale al variare delle situazioni di progetto.

Le soluzioni ipotizzate sono:

- 1) ventilazione forzata che garantisce la portata minima per soddisfare il ricambio d'aria secondo il metodo Indoor Air Quality; a tal fine alcune finestre sono senza aeratore perché il loro contributo darebbe una portata in eccedenza;
- 2) ventilazione naturale su tutte le finestre; la portata di ventilazione è calcolata per una differenza di pressione tra interno ed esterno di 21 Pa; il ricambio d'aria è anche assicurato da un punto di aspirazione tramite torrino di estrazione situato, ad esempio, in corrispondenza della cappa della cucina;
- 3) ventilazione forzata su tutte le finestre, considerando un aeratore motorizzato dotato di filtro, con apertura 100%;
- 4) ventilazione con alcuni aeratori funzionanti a convezione forzata e i rimanenti aeratori in convezione naturale; gli aeratori a convezione forzata sono installati negli ambienti con i servizi e sono montati in maniera tale da avere la direzione del flusso invertita; la loro funzione è infatti quella di spingere l'aria verso l'esterno, per evitare il diffondersi di eventuali cattivi odori nel resto dell'appartamento; in tutti gli altri ambienti sono presenti aeratori a convezione naturale.

A titolo di esempio, nelle tabelle 2 e 3 sono riportati i carichi termici relativi alla tipologia di appartamento n. 1 e la percentuale rimossa per effetto della ventilazione durante le ore notturne, nelle quattro situazioni esaminate.

Gli stessi dati sono diagrammati nelle figure 2 e 3. La massima percentuale di carico termico rimossa si ha con la soluzione numero 2, relativa alla ventilazione naturale su tutte le finestre.

Nelle figure 4, 5, 6 e 7 è invece riportata la percentuale di carico termico rimosso al variare della tipologia di appartamento preso in esame, per ciascuna delle 4 soluzioni progettuali. Dalle figure si evince che essa è piuttosto variabile con la tipologia di appartamento, per le soluzioni 1, 3 e 4. Per quanto riguarda la soluzione 2, relativa alla presenza di tutti aeratori a ventilazione naturale, i valori di detta percentuale sono dello stesso ordine di grandezza per tutte le tipologie di appartamenti e sono in assoluto i valori massimi rispetto alle altre tre soluzioni proposte.

Tab. 2 – Calcolo dei carichi termici (appartamenti tipologia 1).

Ora	Q <sub>1</sub> +Q <sub>2</sub> +Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>51</sub> *	Q <sub>52</sub> *	Q <sub>53</sub> *	Q <sub>54</sub> *	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>8</sub>
1	76	-9	-216	-655	-279	-498	218	350	0
2	49	-11	-265	-804	-343	-612	218	350	0
3	32	-12	-305	-923	-394	-702	218	350	0
4	11	-13	334	-1012	-432	-770	218	350	0
5	0,5	-14	-44	-1042	-444	-793	218	350	0
6	2504	-13	-24	-983	-419	-748	218	350	0
7	2704	-11	-275	-834	-355	-634	218	1150	0
8	2429	-7	-186	-565	-241	-430	266	1150	0
9	1943	-2	-59	-178	-76	-136	266	350	0
10	1504	3	0	0	0	0	266	350	0
11	1466	10	0	0	0	0	266	350	0
12	1425	17	0	0	0	0	266	1750	0
13	1459	22	0	0	0	0	266	750	0
14	1667	25	0	0	0	0	266	750	0
15	2165	26	0	0	0	0	266	350	0
16	2551	25	0	0	0	0	266	350	0
17	2839	22	0	0	0	0	266	350	0
18	1607	18	0	0	0	0	266	350	0
19	343	12	0	0	0	0	266	1750	135
20	355	7	0	0	0	0	266	750	135
21	326	2	0	0	0	0	266	750	135
22	301	-1	-29	-89	-38	-68	218	750	135
23	192	-4	-108	-327	-139	-249	218	750	135
24	112	-6	-167	-506	-216	-385	218	350	135

Tab. 3 – Andamento giornaliero del carico termico totale e delle percentuali di carico termico rimosse dalla portata di ventilazione (appartamenti tipologia 1).

Ora	Q <sub>tot</sub> (W) Soluz. 1	Q <sub>tot</sub> (W) Soluz. 2	Q <sub>tot</sub> (W) Soluz. 3	Q <sub>tot</sub> (W) Soluz. 4	% Q <sub>TOT</sub> rimosso			
					Soluz. 1	Soluz. 2	Soluz. 3	Soluz. 4
1	419	-19	356	136	34	100	43	78
2	341	-197	263	-5	43	100	56	100
3	283	-335	194	-114	51	100	66	100
4	231	-446	133	-204	59	100	76	100
5	210	-487	109	-238	62	100	80	100
6	2734	2076	2640	2311	10	32	13	24
7	3786	3227	3705	3426	6	20	8	15
8	3650	3271	3596	3407	4	14	6	11
9	2498	2378	2481	2421	2	6	2	5
10	2124	2124	2124	2124	0	0	0	0
11	2093	2093	2093	2093	0	0	0	0
12	3459	3459	3459	3459	0	0	0	0
13	2498	2498	2498	2498	0	0	0	0
14	2709	2709	2709	2709	0	0	0	0
15	2808	2808	2808	2808	0	0	0	0
16	3193	3193	3193	3193	0	0	0	0
17	3478	3478	3478	3478	0	0	0	0
18	2242	2242	2242	2242	0	0	0	0
19	2508	2508	2508	2508	0	0	0	0
20	1514	1514	1514	1514	0	0	0	0
21	1480	1480	1480	1480	0	0	0	0
22	1374	1314	1365	1335	2	6	2	4
23	1183	964	1151	1042	8	25	10	19
24	642	302	593	423	20	62	26	47

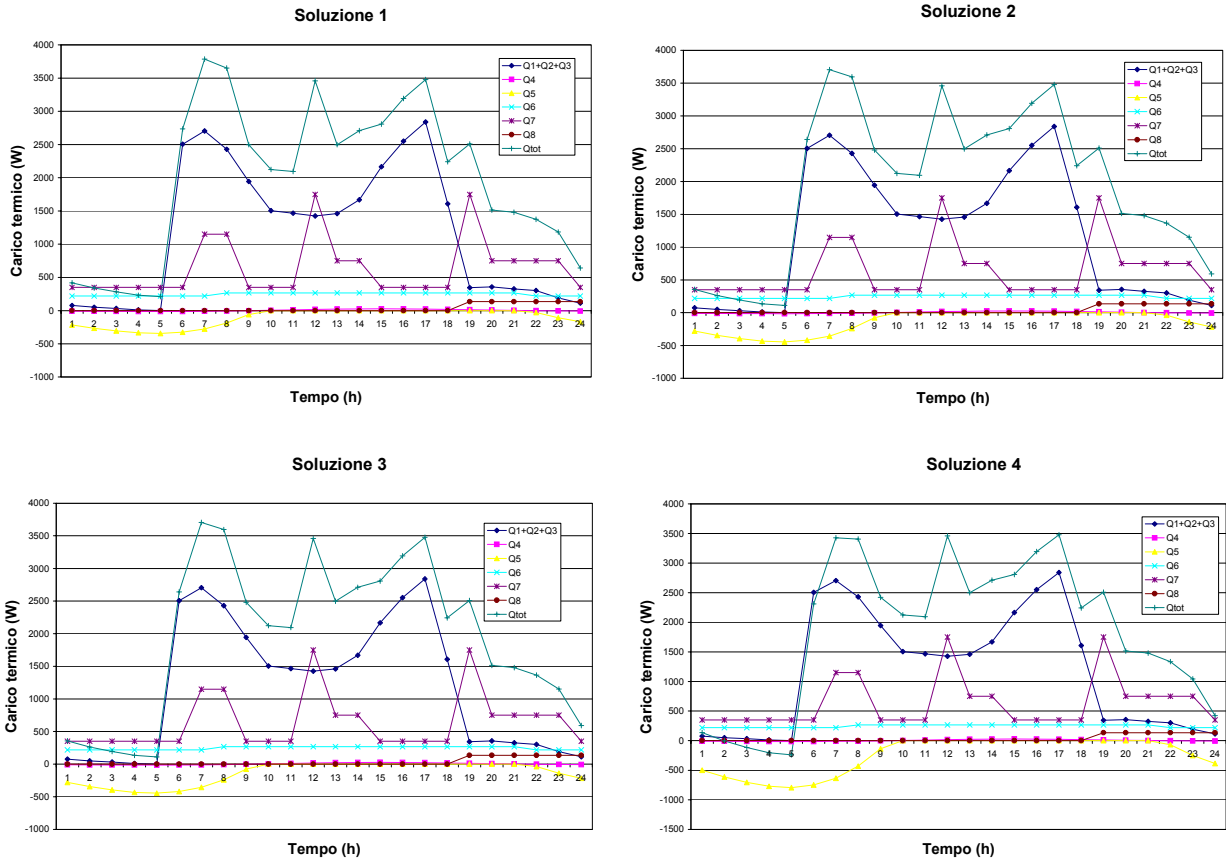


Fig. 2 - Andamento giornaliero dei carichi termici nelle 4 soluzioni proposte (appartamenti tipologia 1).

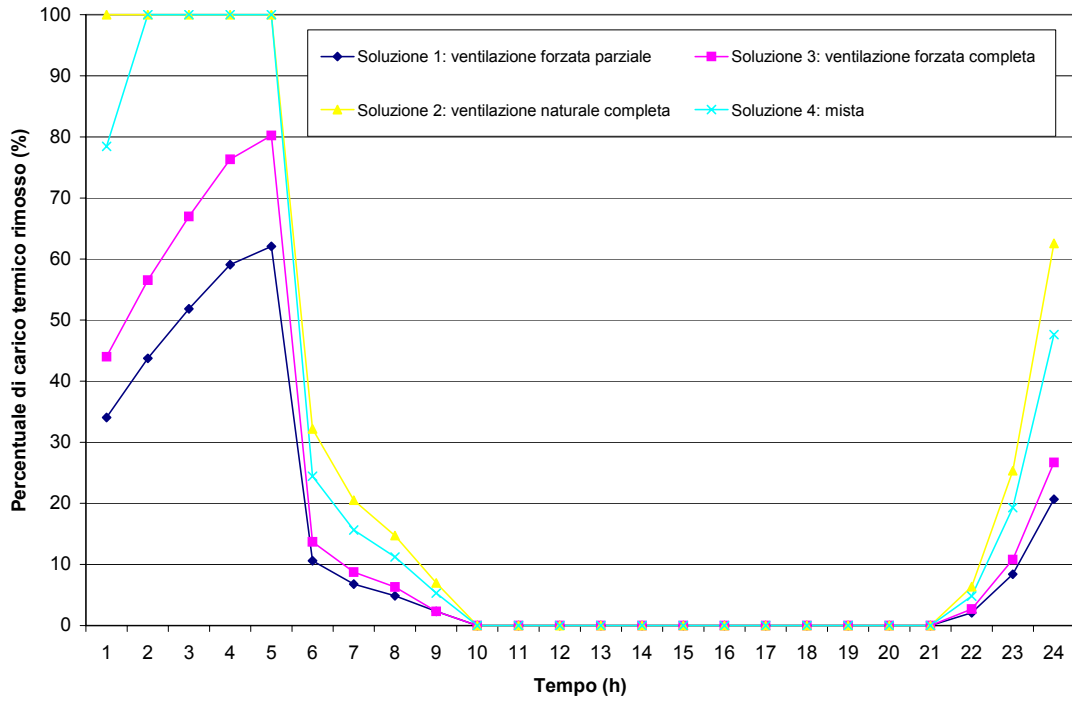


Fig. 3 - Percentuale di rimozione del carico termico con la portata di ventilazione nei quattro casi esaminati (appartamenti tipologia 1).

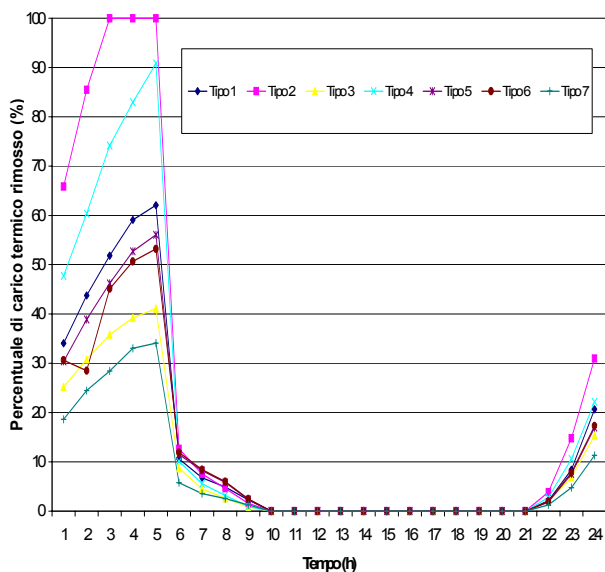


Fig. 4 - Percentuale di rimozione del carico termico con ventilazione forzata parziale (soluzione 1) nelle 7 tipologie di appartamenti.

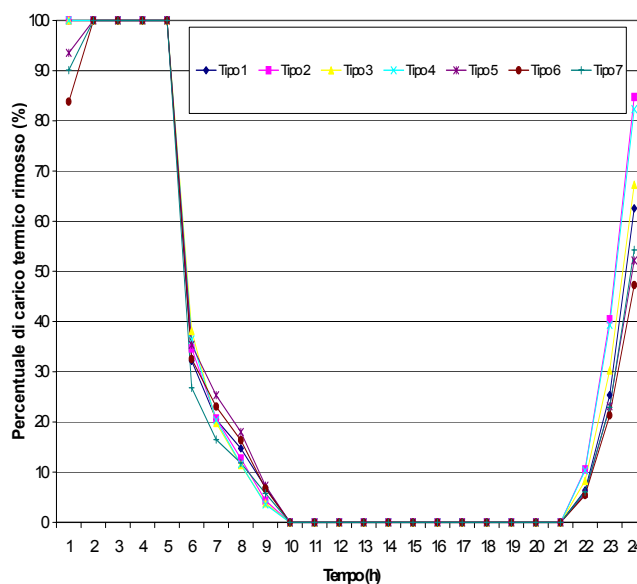


Fig. 5 - Percentuale di rimozione del carico termico con ventilazione naturale totale (soluzione 2) nelle 7 tipologie di appartamenti.

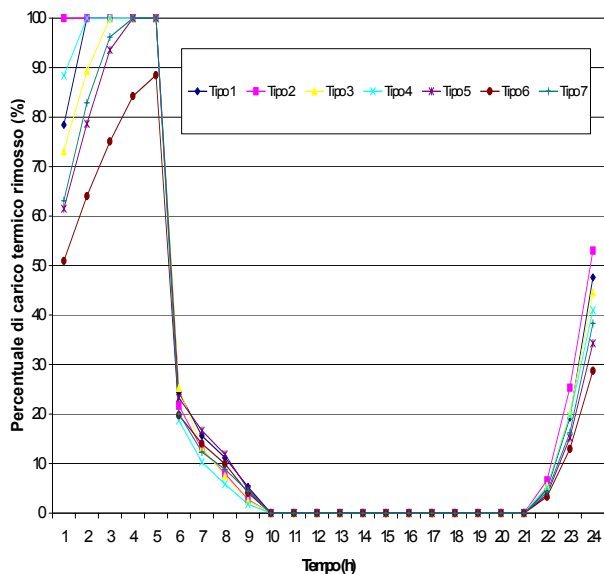


Fig. 6 - Percentuale di rimozione del carico termico con ventilazione forzata parziale (soluzione 3) nelle 7 tipologie di appartamenti.

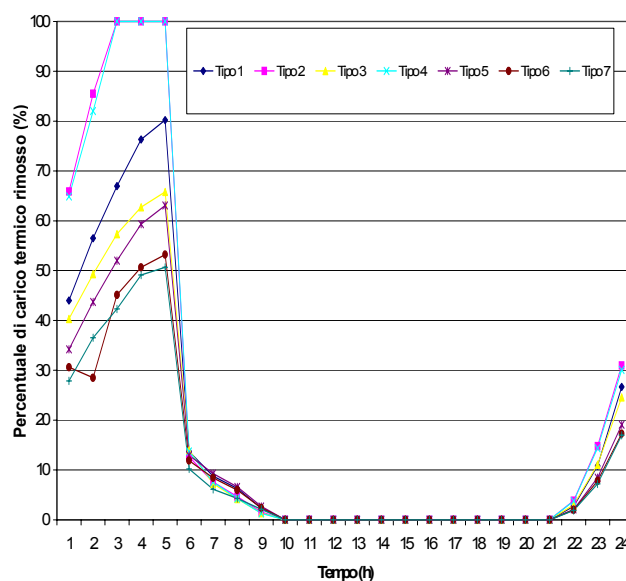


Fig. 7 - Percentuale di rimozione del carico termico con ventilazione naturale totale (soluzione 4) nelle 7 tipologie di appartamenti.

### 7. CONFRONTO TECNICO ED ECONOMICO TRA LE DIVERSE SOLUZIONI

Nella tabella 4 sono riportati in sintesi, per le quattro diverse soluzioni progettuali, i metri quadrati di infissi da sostituire ed i corrispondenti metri lineari di aeratori per la ventilazione; nella tabella 5 sono invece riportati i costi complessivi da sostenere per la sola fornitura dei materiali, secondo i preventivi forniti da due diverse imprese, anch'essi al variare delle ipotesi di progetto.

La sostituzione di tutti o parte degli infissi con finestre dotate di aeratori a ventilazione forzata (soluzioni n. 1 e 3) garantisce una regolazione fine e differenziata, locale per locale, della portata di ventilazione, ma tale soluzione risulta onerosa dal punto di vista economico ed è decisamente invasiva per ciò che concerne le opere murarie; l'aeratore a ventilazione forzata necessita infatti di un impianto elettrico dedicato ed inoltre la rumorosità è accentuata a causa della presenza di parti meccaniche in

movimento. La soluzione con gli infissi a sola ventilazione naturale (soluzione n. 2) presenta l'inconveniente di una possibile cortocircuitazione del flusso d'aria e comunque rende obbligatorio il passaggio delle portate d'aria provenienti da tutte le stanze attraverso l'unica via d'uscita rappresentata dalla canna fumaria in cucina.

La soluzione che appare come compromesso ideale fra esigenze di tipo acustico, climatico, strutturale ed economico è quella di adottare, per tutta la casa, finestre con aeratori a ventilazione naturale, tranne che nei servizi. In queste stanze sarà prevista l'installazione di infissi con aeratore a ventilazione forzata con aeratore che spinge l'aria verso l'esterno, permettendo l'isolamento climatico di detti vani dal resto dell'appartamento ed evitando così flussi d'aria indesiderati in uscita da questi ambienti verso altre stanze dell'appartamento (soluzione n. 4).

Tab. 4 – Riepilogo dei metri quadrati degli infissi e dei metri lineari di aeratori da installare nelle 4 soluzioni progettuali

	Soluzione n. 1	Soluzione n. 2	Soluzione n. 3	Soluzione n. 4	
				Naturale	Forzata
<b>Metri lineari aeratori</b>	110,35	163,80	163,80	56,30	107,50
<b>Metri quadrati infissi</b>	260,32	260,32	260,32	99,00	161,32

Tab. 5 – Riassunto dei costi (in lire italiane) per la sostituzione degli infissi su 4 soluzioni progettuali e con due preventivi di spesa.

	Preventivo 1		Preventivo 2	
Costo infisso (al m <sup>2</sup> )	470.000			
Costo vetro (al m <sup>2</sup> )	230.000			
Costo aeratore (ventilaz. naturale) al m	1.000.000			
Costo aeratore (ventilaz. forzata) al m	2.300.000			
Infisso a ventilaz. naturale (al m <sup>2</sup> )			1.760.000	
Infisso a ventilaz. forzata (al m <sup>2</sup> )			2.240.000	
	Soluzione n. 1	Soluzione n. 2	Soluzione n. 3	Soluzione n. 4
<b>Totale preventivo 1</b>	436.015.000	558.964.000	346.024.000	485.774.000
<b>Totale preventivo 2</b>	Non valutabile	583.116.800	458.163.200	535.596.800

## 8. CONCLUSIONI

Il risanamento acustico di edifici situati in prossimità di infrastrutture di trasporto ad elevato traffico può essere effettuato mediante l'installazione di finestre ventilate antirumore che garantiscono un elevato fonoisolamento e contemporaneamente consentono il rinnovo dell'aria negli ambienti interni. La ventilazione può essere garantita per mezzo di aeratori motorizzati o, in casi di aeratori non motorizzati, attraverso la depressione che si crea tra esterno ed interno.

Nel presente lavoro si sono valutate le prestazioni aerauliche degli infissi scelti nella progettazione della bonifica acustica di un edificio campione situato nella città di Genova, in prossimità dell'autostrada. Si sono proposte quattro diverse soluzioni di aerazione, per le sette diverse tipologie distributive degli appartamenti dell'edificio:

- 1) ventilazione forzata che garantisce la portata minima per soddisfare il ricambio d'aria secondo il metodo Indoor Air Quality (alcune finestre sono senza aeratore);
- 2) ventilazione naturale su tutte le finestre; la portata di ventilazione è calcolata per una differenza di pressione tra interno ed esterno di 21 Pa;
- 3) ventilazione forzata su tutte le finestre;
- 4) ventilazione con alcuni aeratori situati nei locali di servizio funzionanti a convezione forzata e i rimanenti aeratori in convezione naturale.

Si sono valutate le portate di rinnovo che si ottengono con le diverse soluzioni proposte e si è visto che in tutti i casi esse sono superiori rispetto a quelle suggerite da diverse raccomandazioni tecniche [2, 3, 4]. Si sono inoltre valutate le percentuali di carico termico rimosso, ora per ora, per effetto della ventilazione nelle ore in cui la temperatura dell'aria esterna è inferiore a quella dell'aria interna. Da un confronto tra le diverse soluzioni proposte, basato su criteri sia tecnici che economici, si è desunto che la soluzione che, a parità di prestazioni acustiche, risulta più conveniente è quella di dotare tutti gli appartamenti di infissi con aeratori a ventilazione naturale, installando aeratori a ventilazione forzata solo nei servizi (soluzione n. 4). Tale soluzione, infatti, risulta la meno invasiva sulle opere murarie, per ridotte opere murarie connesse con l'installazione di impianti elettrici, e garantisce migliori prestazioni acustiche e minori oneri economici. La necessità di garantire una aerazione separata nelle stanze adibite a servizi deriva dall'esigenza di non far circolare l'aria proveniente da questi vani nel resto dell'abitazione.

Una volta realizzata l'opera e valutata la sua efficacia, le soluzioni adottate nel caso-pilota Genova potranno essere estese ad edifici con problematiche analoghe, dislocati lungo le principali arterie stradali ed autostradali del territorio nazionale.

## ELENCO DEI SIMBOLI

$c$  = calore specifico (J/kgK);  
 $C_i$  = qualità dell'aria interna (decipol);  
 $C_o$  = qualità dell'aria esterna (decipol);  
 $D_{2m,nT}$  = indice dell'isolamento acustico di facciata (dB);  
 $F(t)$  = funzione di distribuzione della massima escursione termica giornaliera (-);  
 $G$  = portata ( $m^3/h$ );  
 $G_c$  = portata di aria richiesta ( $m^3/h$ );  
 $H$  = trasmittanza ( $W/m^2K$ );  
 $I$  = carico di inquinamento (olf);  
 $K$  = coefficiente di trasmissione lineare per ponti termici ( $W/mK$ );  
 $L_f$  = larghezza finestra (m);  
 $Q$  = carico termico (W);  
 $R$  = indice del potere fonoisolante (dB);  
 $s_n$  = spessore dello strato n-esimo di pareti o solai (m);  
 $S_n$  = superficie della n-esima parte di parete ( $m^2$ );  
 $t_n$  = indice di trasmissione acustica della n-esima parte di parete (-);  
 $T$  = temperatura ( $^{\circ}C, K$ );  
 $\eta_v$  = efficienza di ventilazione (-);  
 $\eta_F$  = efficienza del filtro (-);  
 $\rho$  = densità ( $kg/m^3$ ).

**Bibliografia**

- [1] DPCM 5/12/1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”, G.U. n. 297 del 22/12/1997.
- [2] CEN/TC 156/WG 6 Doc N. 162 “Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment”, 11/4/1997.
- [3] ASHRAE Standard 62-89 “Thermal environmental condition of human occupancy – ASHRAE”, American Society of Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Ga., USA, 1992.
- [4] UNI 10339 “Impianti aeraulici a fini del benessere: generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d’offerta, l’ordine e la fornitura”, 1995.
- [5] UNI 10349 “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - dati climatici”, 1994.
- [6] Pizzetti C., “Condizionamento dell’aria e refrigerazione”, ed. Masson, Milano, 1989.
- [7] Fanger O.P., “Thermal Comfort”, McGraw Hill, New York, 1970.
- [8] Maroni M., Barbieri F., Alcini D., Cavallo D., “Le sorgenti e gli inquinanti degli ambienti confinati”, in Maroni M., Habitat costruito, inquinamento e salute, Franco Angeli, Milano, 1991.
- [9] Nagda N.L., Rector H.E., Koonts M.D., “La qualità dell’aria negli ambienti civili e industriali – Guida alla verifica”, Tecniche Nuove, Milano, 1988.
- [10] Fracastoro G.V., “La ventilazione controllata”, CDA Condizionamento dell’Aria, Riscaldamento Refrigerazione, dicembre 1991, pp. 1631-1635.