

# Isolamento acustico di strutture divisorie in laterizio

A partire dai risultati di un'ampia indagine sperimentale promossa dall'Andil sulle prestazioni di isolamento ai rumori aerei di divisori e solai in laterizio, sono stati elaborati algoritmi di stima del potere fonoisolante e indici di valutazione del grado di riservatezza e di interferenza rispetto all'ambiente ricevente

**Introduzione**  
Negli anni 1991-1992 l'ANDIL (Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi) ha condotto un'ampia indagine sperimentale sulle prestazioni acustiche di pareti e solai in laterizio. Le misure, condotte in laboratorio ed in opera, hanno riguardato in particolare la valutazione dell'isolamento acustico al rumore aereo ed al calpestio. Le misure di isolamento acustico al rumore aereo sono state condotte presso il laboratorio di acustica dell'Università di Parma, mentre le determinazioni in opera di isolamento al rumore aereo e di calpestio sono state eseguite dall'Istituto di Fisica Tecnica dell'Università di Bologna e hanno interessato solo le strutture orizzontali.

I risultati di tutte le misure sono stati presentati e discussi in precedenti articoli [1,2,3,4]. Nelle note che seguono verranno descritti i risultati ottenuti da ulteriori elaborazioni dei dati sperimentali di laboratorio relativamente all'isolamento al rumore aereo nel caso di pareti semplici, doppie e di solai.

Inizialmente saranno presentate alcune elaborazioni dei dati finalizzate alla determinazione di semplici correlazioni per la previsione delle prestazioni acustiche delle strutture divisorie in funzione dei loro parametri geometrici e fisici.

Successivamente verranno presentati i risultati scaturiti dall'elaborazione dei dati sperimentali per determinare nuovi indici di valutazione del potere fonoisolante che tengano conto del tipo di spettro sonoro che si deve isolare, così come vengono proposti dalla recente normativa in fase di redazione presso il TC126 del CEN [5].

Considerato che in molte situazioni è la

voce, naturale o amplificata, che occorre isolare, gli isolamenti acustici delle strutture divisorie sono stati valutati sulla base dei livelli sonori trasmessi. È stato così possibile determinare il grado di riservatezza che tali livelli possono produrre nell'ambiente ricevente e il grado di intellegibilità che essi consentono all'ascolto di messaggi sonori che si propagano nello stesso ambiente ricevente.

Alcune semplici relazioni di previsione degli indici di valutazione dell'isolamento acustico al rumore aereo

Le tabelle 1, 2 e 3 riportano, suddivisa per tipologia edilizia, una sintetica descrizione delle strutture divisorie analizzate per questo studio. Si tratta complessivamente di 42 divisori diversi, dei quali 19 sono classificati come pareti semplici, 11 come pareti doppie e 12 come solai. In [2], sulla base della elaborazione di tutti i dati sperimentali relativi ai divisori decripti nelle tabelle 1, 2 e 3, è proposta la seguente relazione empirica per il calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  di un divisorio:

$$R'_w = 20 \log M \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

dove  $M$  è la massa per unità di superficie del divisorio ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

La correlazione di tutti i dati sperimentali relativi a pareti semplici, pareti doppie e solai, con la (1) non è tuttavia particolarmente elevata per cui si è ritenuto di un certo interesse elaborare ulteriormente i dati, dopo averli però aggregati per tipologia edilizia.

1. Pareti semplici: confronto tra il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  con la massa per unità di superficie  $M$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).  
2. Pareti semplici: confronto tra diverse "leggi empiriche".

Tabella 1 - Tipologie di pareti semplici.

Parete tipo	Certif. n.	Descrizione dei materiali impiegati (misure in cm)	Spessore (cm)	Densità superficiale ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	Indice di valutaz. $R_w$ (dB)
1	4	Tramezza 8x25x25, 10 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco, ultimata da 12 giorni	11 (1,5+8+1,5)	136 (nom.105)	42,5
2	8	Blocco semipieno alveolato, 25x30x19, F/A=45%, fori verticali, appena intonacata	28 (1,5+25+1,5)	285	51,5
3	10	Mattone pieno UNI, 12x25x5,5, F/A=15%, montato di punta (2 teste)	28 (1,5+25+1,5)	477	51
4	11	Mattone pieno UNI, 12x25x5,5, F/A=15%, montato a 3 teste con intonaco	41 (1,5+38+1,5)	682	52,5
5	12	Mattone semipieno UNI, 12x25x5,5, F/A=32%, fori verticali, montato di punta (a 2 teste), con intonaco	28 (1,5+25+1,5)	440	51
6	13	Blocco semipieno alveolato, 25x30x19, F/A=45%, fori verticali, montato di testa, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	330	46,5
7	15	Laterizio normale forato, 12x25x25, 15 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	149	42,5
8	18	Mattone semipieno doppio UNI, fori verticali, 12x25x12, F/A=40%, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	176 (nom.203)	40
9	22	Blocco semipieno alveolato, 45x30x19, F/A=45%, montato di testa, fori verticali, con intonaco	48 (1,5+45+1,5)	428	49
10	23	Blocco forato alveolato, 30x25x19, F/A=55%, montato di testa, fori verticali, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	285	44,5
11	24	Blocco forato in laterizio normale, 30x25x16, F/A=50%, fori verticali, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	301	45
12	26	Foratino in laterizio normale, 8x12x24, 4 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	96	37
13	27	Tramezze alveolate, 8x45x22,5, F/A=45%, fori verticali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	112	38,5
14	28	Tramezze alveolate, 12x45x22,5, F/A=45%, fori verticali, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	164	41,5
15	29	Forato alveolato, 30x19x25, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	268	43
16	42	Forato in laterizio normale, 8x24x12, 6 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	118	42,5
17	43	Forato in laterizio normale, 12x25x25, 10 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	125	42
18	44	Forato in laterizio normale, 12x25x25, 10 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco + liscivatura con scagliola	15 (1,5+12+1,5)	129	42,5
19	15/92	Forato in laterizio normale, 8x30x15, 6 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	124	42

Pareti semplici

Come in [2], la prima semplice elaborazione dei dati sperimentali ha portato a confrontare il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  con la massa per unità di superficie  $M$  delle 18 pareti semplici (fig.1). Si è ottenuta la relazione:

$$R'_w = 15,4 \log M + 8 \text{ dB} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

valida per  $100 < M < 700$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

Confrontata con altre relazioni di previsione proposte per pareti in muratura [5,6], si vede che i valori forniti dalla (2) tendono ad essere superiori per bassi valori di  $M$  ed inferiori per valori alti di  $M$ . La figura 2 consente il confronto di alcune relazioni empiriche di calcolo con la (2).

È interessante esaminare la figura 3 che riporta, per ogni parete, il valore dello scostamento di  $R_w$  sperimentale da  $R'_w$  empirico calcolato con la relazione (2).

Come è facile osservare, con l'esclusione della parete 2, tutte le pareti in laterizio alleggerito in pasta (A...), presentano un valore di  $R_w$  inferiore a quello previsto dalla legge di massa empirica (2). L'elaborazione dei dati relativi alle sole pareti in laterizio alleggerito porta alla relazione (fig.4):

$$R'_w = 16,9 \log M + 3,6 \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

valida per  $100 < M < 500$   $\text{kg}/\text{m}^2$ . A parità di massa la (3) fornisce valori leggermente inferiori a quelli della relazione (2). Considerando le sole pareti semplici, dopo l'esclusione di quelle in laterizio alleggerito, si ottiene una relazione del tutto simile alla (2) con un migliore coefficiente di correlazione ( $R=0,94$ ).

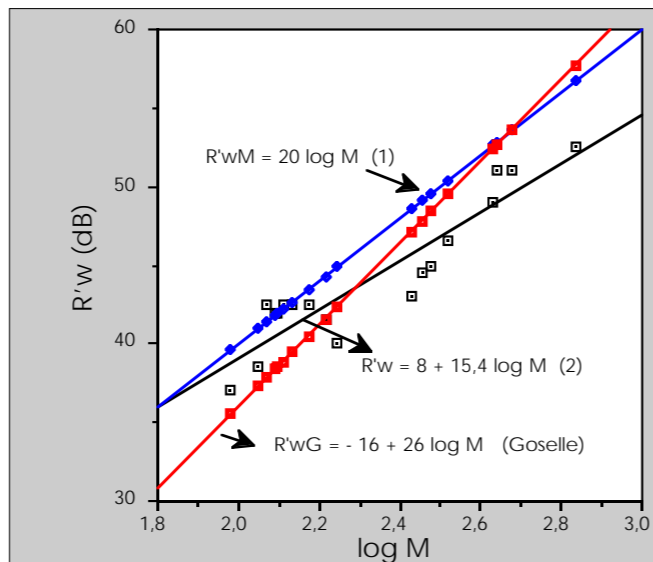
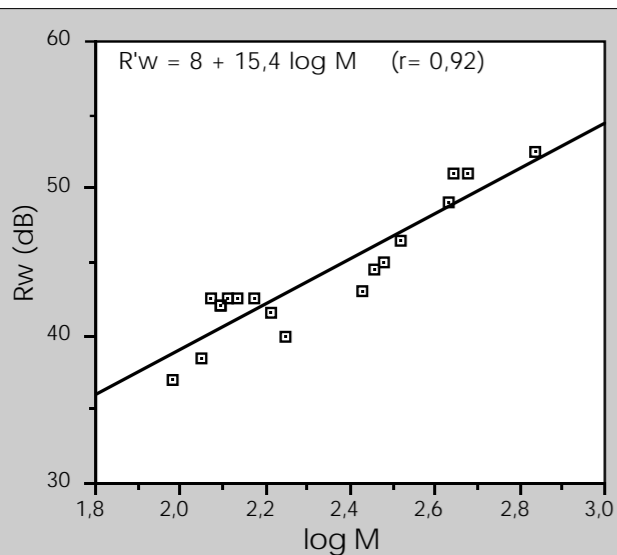
Pareti doppie

Il comportamento acustico delle pareti doppie completamente svincolate dipende da vari parametri fisici e geometrici. Il potere fonoisolante  $R$  varia con la frequenza all'interno di tre campi individuati dalla frequenza naturale del sistema meccanico equivalente massa-molla-massa ( $f_{0i}$ ) e dalla frequenza naturale dell'intercapedine  $f_a$ . La prima dipende dalla massa delle due pareti ( $M_1, M_2$ ) e dalla loro distanza ( $d$ ) secondo la relazione seguente:

$$f_{0i} = 1/2 \pi \{(3,61 \rho c^2/d)(M_1+M_2)/M_1 M_2\}^{1/2} \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

dove " $\rho$ " è la densità dell'aria ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), " $c$ " la velocità del suono nell'aria ( $\text{m}/\text{s}$ ).

(\*) Istituto di Ingegneria, Università di Ferrara



3. Scostamento di  $R_w$  sperimentale da  $R'_w$  empirico, per ogni parete.

4. Elaborazione con le sole pareti in laterizio alleggerito.

Tabella 2 - Tipologie di pareti doppie.

Parete tipo	Certif. n.	Descrizione dei materiali impiegati (misure in cm)	Spessore (cm)	Densità superficiale (kg/m²)	Indice di valutaz. $R_w$ (dB)
1	14	Forato 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	267 (nom.205)	47,5
2	17	Forato 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria di 2 cm. Forato 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	30,5 (1,5+12+1,5+2+12+1,5)	268 (nom.225)	47,5
3	19	Doppio UNI 12x25x12, F/A=40%, fori vertic., intonaco su due lati. Interc. 4 cm con lana vetro 100 kg/m³. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	27 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	241 (nom.285)	48,5
4	20	Doppio UNI 12x25x12, F/A=40%, fori vertic., intonaco su due lati. Intercapedine aria di 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	27 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	257 (nom.281)	48
5	21	Sempieno alveolato 25x30x19, F/A=45%, fori vertic., intonaco su due lati. Interc. 4 cm lana vetro 100 kg/m³. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	41,5 (1,5+25+1,5+4+8+1,5)	302	49
6	25	Blocco Svizzero 25x18x13, F/A=55%, fori vertic., intonaco su due lati. Interc. 4 cm lana vetro 100 kg/m³. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	41,5 (1,5+25+1,5+4+8+1,5)	360	52
7	10/92	Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria 5 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	25,5 (1,5+8+1,5+5+8+1,5)	198	47
8	11/92	Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. 5 cm con argilla espansa sfusa. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	25,5 (1,5+8+1,5+5+8+1,5)	222	49,5
9	12/92	Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	241	47,5
10	13/92	Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. 4 cm con argilla espansa sfusa. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	260	50
12	14/92	Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. aria 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, svincolata con SYLOMER, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	241	51,5
11	16/92	Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. 4 cm Vermiculite tipo M. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	244	48

La seconda dipende dalla distanza "d" tra le pareti ed è data dalla relazione seguente:

$$f_d = c / (2 d) \quad (\text{Hz}) \quad (5)$$

Per valori di  $f < f_M$  il sistema risulta rigidamente collegato e la parete si comporta come una unica parete di massa (M) pari alla somma delle masse  $M_1$  e  $M_2$ : in questo campo R aumenta di 6 dB per ogni ottava. Per valori di  $f > f_d$  si realizza un disaccoppiamento delle pareti e l'isolamento è dato dalla somma dei due isolamenti  $R_1 + R_2$ : in questo campo R aumenta di 12 dB per ogni ottava. Per valori intermedi si può interpolare tra le due leggi di variazione. Ne consegue che per ottenere elevati isolamenti acustici, occorre adottare elevati valori della distanza "d" tra le pareti.

L'isolamento acustico della parete doppia è poi influenzato dal valore delle frequenze critiche ( $f_c$ ) delle due pareti, in corrispondenza delle quali si ha una notevole diminuzione di R, e dalla presenza di eventuale materiale fonoassorbente nell'intercapedine che tende invece ad aumentare il valore di R.

Nel caso delle pareti doppie esaminate nella presente indagine, il valore di  $f_M$  risulta in genere inferiore a 100 Hz - limite inferiore del campo di frequenza di interesse in edilizia- mentre il valore di  $f_d$  risulta superiore a 3150 Hz a causa dei piccoli valori di "d" sempre inferiori a 5 cm. La frequenza di coincidenza si colloca poi nel campo delle basse frequenze, attorno a 200-300 Hz per le pareti più sottili (100 mm), per diminuire ulteriormente con lo spessore della parete stessa. Ne risulta che

5. Scostamenti dei valori sperimentali di  $R_w$  da quelli  $R'_w$  calcolati con la relazione (6).

6. Valori di  $R_w$  e  $R'_w$  al variare della massa superficiale.

Il potere fonoisolante R delle pareti doppie esaminate presenta un andamento che, nella maggior parte dei casi, è simile a quello di una parete semplice di massa superficiale (M) pari alla somma delle singole masse superficiali ( $M_1, M_2$ ) delle due pareti. Il relativo indice di valutazione può essere pertanto stimato con la semplice relazione della legge di massa empirica [6]:

$$R'_w = 20 \log M \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

La figura 5 mostra gli scostamenti dei valori sperimentali di  $R_w$  da quelli  $R'_w$  calcolati con la relazione (6). La figura 6 mostra i valori di  $R_w$  e  $R'_w$  al variare della massa superficiale.

È forse utile sottolineare che per sfruttare al meglio le proprietà fonoisolanti delle pareti doppie, nel caso di strutture in laterizio, occorre che l'intercapedine sia di almeno 10 cm ( $f_d = 1700$  Hz). In queste condizioni il valore di  $R'_w$  può essere stimato con la relazione [6]:

$$R'_w = 20 \log M + 20 \log d - 10 \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

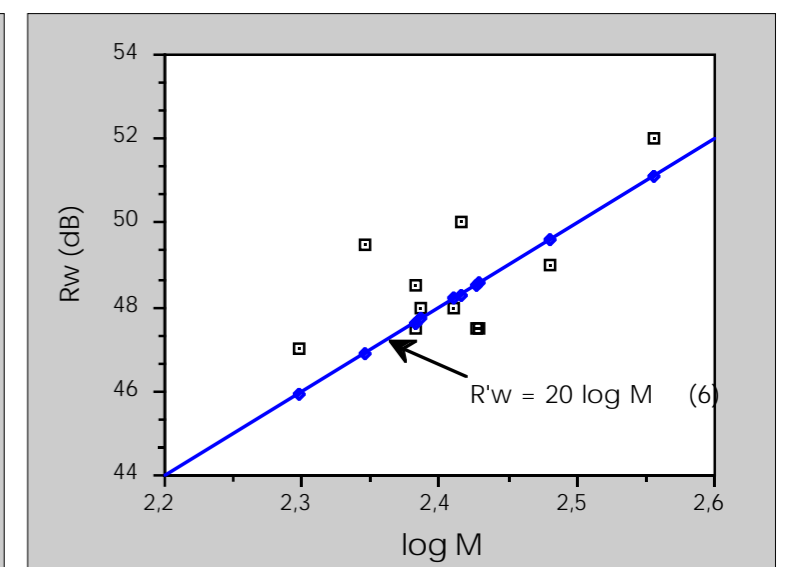
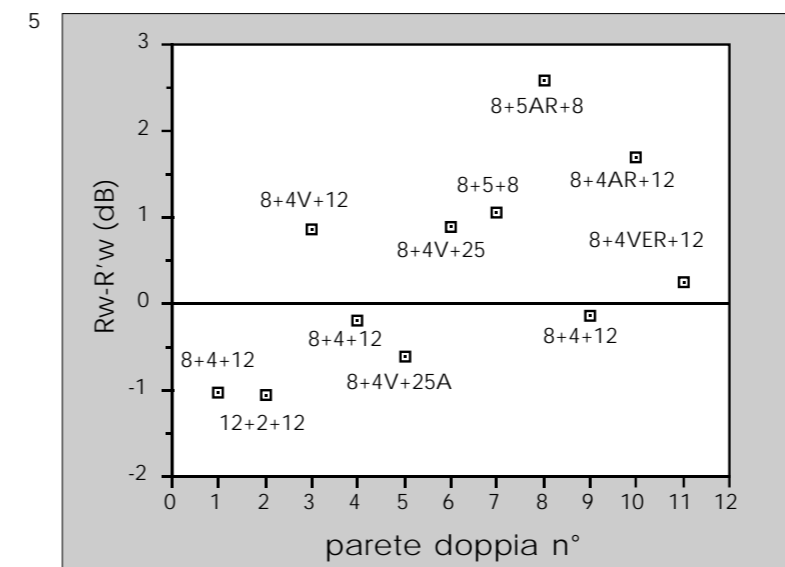
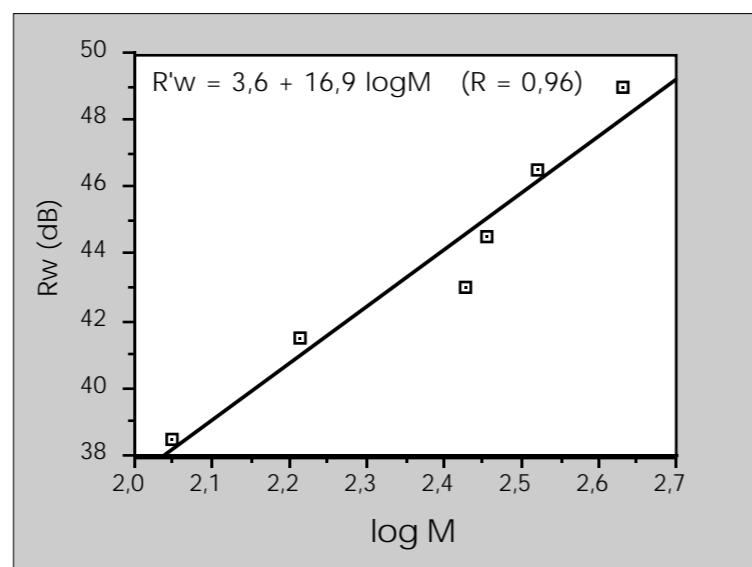
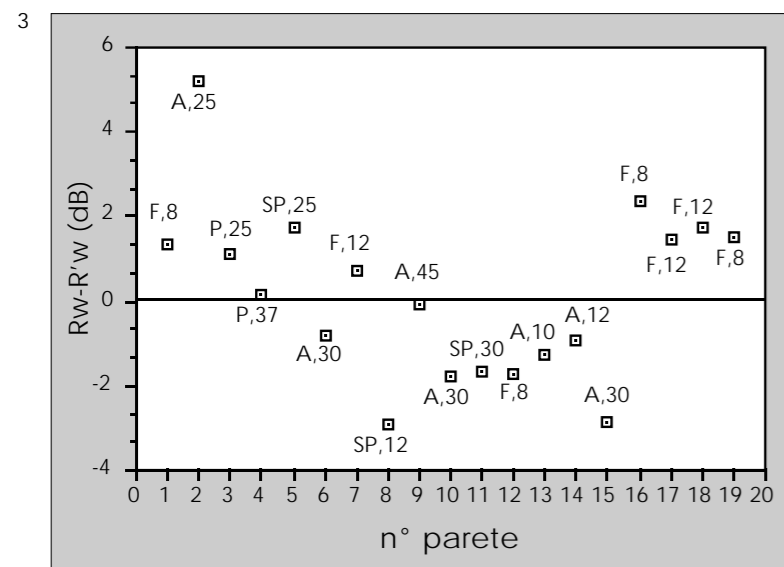
dove "d" è espresso in cm.

L'influenza di materiale fonoassorbente nell'intercapedine può essere valutata osservando le figure 7 e 8 che confrontano due pareti doppie in laterizio forato con e senza materiale nell'intercapedine.

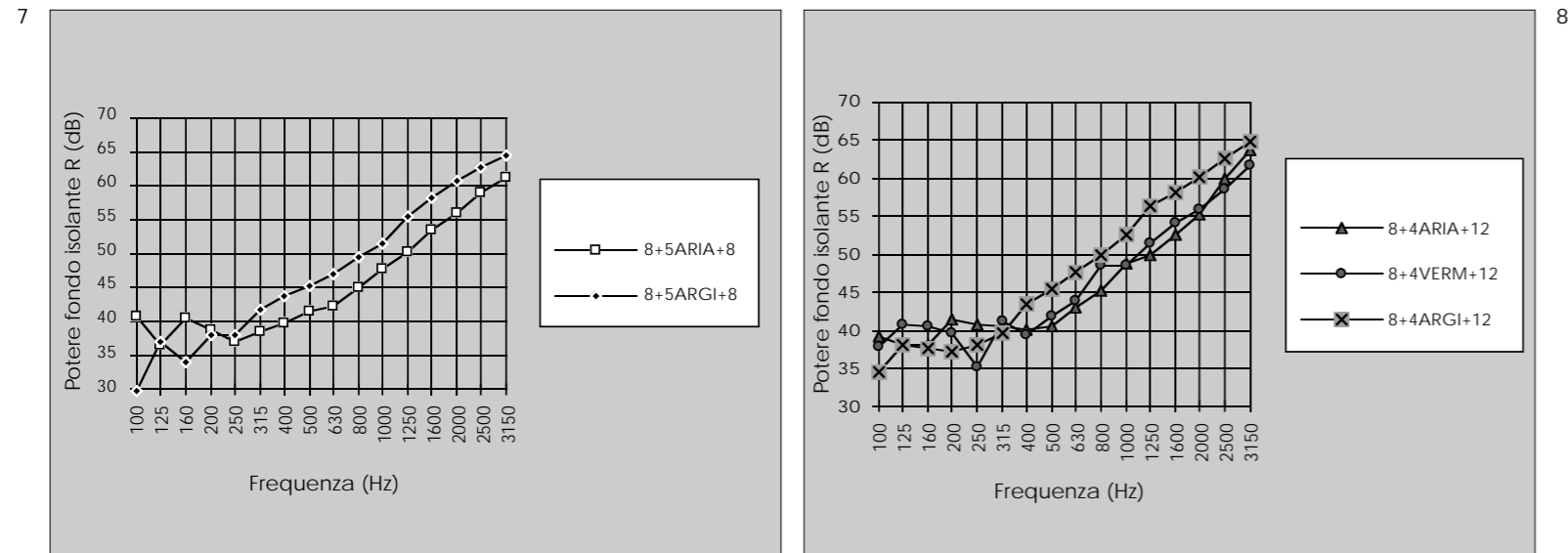
Nel caso della parete doppia costituita da due strati di laterizio normale di 8 centimetri di spessore (fig.7), l'indice di valutazione  $R_w$  passa da 47 dB a 49,5 dB quando l'intercapedine di 5 cm viene riempita con argilla sfusa.

Tabella 3 - Tipologie di solai provati in laboratorio.

Solaio tipo	Certif. n.	Tipologia solaio (misure in cm)	Spessore (cm)	Densità superficiale (kg/m²)	Indice di valutaz. $R_w$ (dB)
1	30	Travetti a traliccio, interasse 50, laterizio tipo A 16+4, con intonaco all'intradosso	21,5 (1,5+16+4)	270	49
2	31	Travetti a traliccio, interasse 50, laterizio tipo A 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	340	50
3	32	Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo A 16+4, con intonaco all'intradosso	21,5 (1,5+16+4)	269	48,5
4	33	Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo A, 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	284	47,5
5	34	Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo B, 16,5+4, con intonaco all'intradosso	22 (1,5+16,5+4)	273	47,5
6	35	Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo B, 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	362	50
7	36	Solaio a pannelli ad armatura lenta, laterizio tipo B, 16,5+4, con intonaco all'intradosso	22 (1,5+16,5+4)	321	48,5
8	37	Solaio a pannelli ad armatura lenta, laterizio tipo B, 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	369	52,5
11	38	Lastre in cls precompresso, interasse 120, e polistirolo	24 (4+16+4)	261	50,5
12	39	Lastre in cls precompresso, interasse 120, e polistirolo	28,5 (4+20,5+4)	296	53,5
9	40	Lastre in cls precompresso, interasse 120, laterizio tipo B	24 (4+4+12+4)	419	51,5
10	41	Lastre in cls precompresso, interasse 120, laterizio tipo B	28,5 (4+4+16,5+4)	458	53,5



7. Parete doppia costituita da due strati di laterizio normale di 8 centimetri di spessore.  
 8. Pareti doppie con diverso materiale nell'intercapedine.  
 9. Parete doppia con strato di Sylomer sul contorno di una delle pareti.  
 10. Confronto tra i valori di  $R_w$  per i solai (8) e quelli per le pareti semplici (2).



Per una parete doppia costituita da due strati di laterizio normale di 8 e 12 cm di spessore (fig.8), l'indice di valutazione  $R_w$  passa da 47,5 dB a 48,5 dB e a 50 dB quando l'intercapedine di 4 cm viene riempita di vermiculite tipo "M" sfusa (48,5 dB) o di argilla espansa sfusa (50 dB).

Di un certo interesse è anche l'esame della figura 9 che mette in evidenza l'influenza, sul potere fonoisolante R, di un sottile strato di materiale elastico inserito al contorno di una delle due pareti che costituiscono una parete doppia.

In questo caso il materiale utilizzato è Sylomer R12 di 12 mm di spessore con carico massimo di 0,04 N/mm<sup>2</sup>: il valore di  $R_w$  passa da 47,5 dB a 51,5 dB. Questo

risultato mette chiaramente in rilievo l'importanza delle condizioni di vincolo delle pareti e l'influenza che le trasmissioni laterali possono produrre sull'isolamento acustico di una parete.

Solai

La correlazione dei dati di isolamento al rumore aereo relativi ai solai porta a questo risultato:

$$R'_w = 22,4 \log M - 6,5 \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

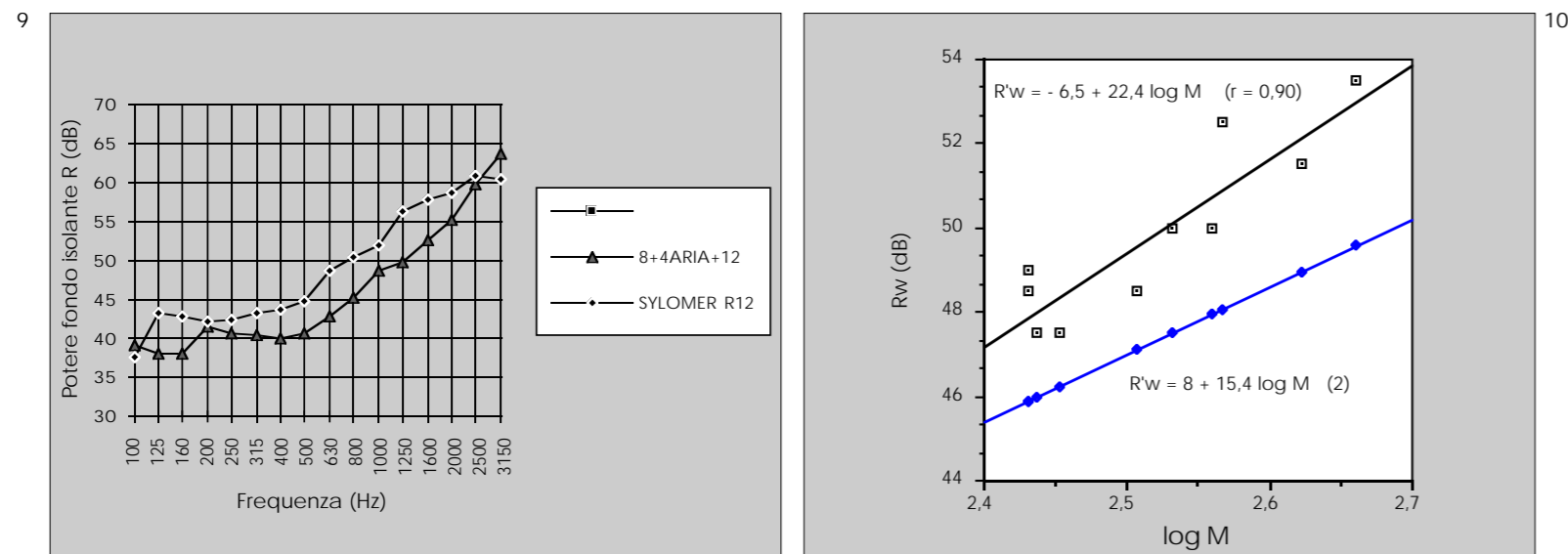
dove M è la massa per unità di superficie del solaio (kg/m<sup>2</sup>).

Come si vede in figura 10, tale relazione fornisce valori di  $R'_w$  superiori a quelli for-

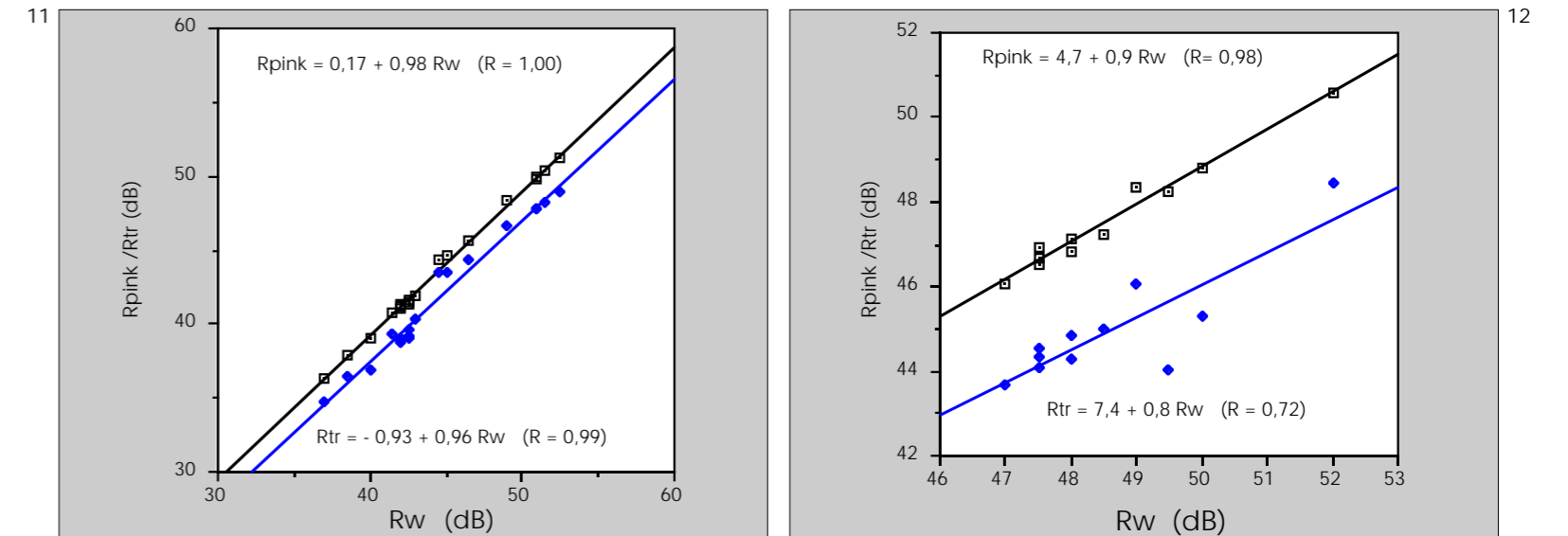
niti dalla (2) valida per le pareti semplici di pari massa.

Calcolo dei termini di adattamento secondo ISO 717/1 (in revisione)

La proposta di revisione della ISO 717/1 relativa alla valutazione del potere fonoisolante delle strutture divisorie contiene alcune importanti innovazioni rispetto alla versione del 1982. Introduce infatti, accanto all'indice di valutazione  $R_w$ , che viene calcolato con la precedente procedura, anche dei termini di "adattamento" per tener conto dello spettro del rumore che deve essere isolato. La proposta di norma indica due termini correttivi: C, relativo ad un rumore rosa (pink), e C<sub>tr</sub>, relativo al rumo-



11. Andamento di  $R_{pink}$  e  $R_{tr}$  al variare di  $R_w$  per le pareti semplici.  
 12. Andamento di  $R_{pink}$  e  $R_{tr}$  al variare di  $R_w$  per le pareti doppie.  
 13. Andamento di  $R_{pink}$  e  $R_{tr}$  al variare di  $R_w$  per i solai.  
 14. Isolamento acustico ed intelligibilità: dimensioni geometriche e dati acustici relativi al caso preso in esame.



re del traffico. L'indice di valutazione del potere fonoisolante di una parete nei confronti di questi rumori sarà pertanto dato dalle relazioni seguenti:

$$R_{pink} = R_w + C \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

$$R_{tr} = R_w + C_{tr} \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

Per una più dettagliata descrizione del metodo di calcolo e della proposta di norma si veda [5].

Anche in questo caso i dati sono stati elaborati per tipologie edilizie. Le figure 11, 12 e 13 riportano l'andamento di  $R_{pink}$  e  $R_{tr}$  al variare di  $R_w$ , per le pareti semplici, doppie e solai rispettivamente. Si

può notare che lo scostamento medio è di -1 dB per il rumore rosa (C=-1 dB) e -3 dB per il rumore del traffico (C<sub>tr</sub>=-3 dB). Questo significa che il valore di  $R_w$  sovrastima la prestazione di isolamento acustico rispetto a questi tipi di rumore.

Isolamento acustico ed intelligibilità

Il metodo di calcolo

Quando la sorgente che si vuole isolare è la voce umana può essere utile valutare la prestazione acustica della parete attraverso la perdita di intelligibilità del messaggio sonoro che viene trasmesso [7]. Partendo dai dati di potenza sonora della voce umana ( $L_w$ ) indicati nella norma ANSI S3-5

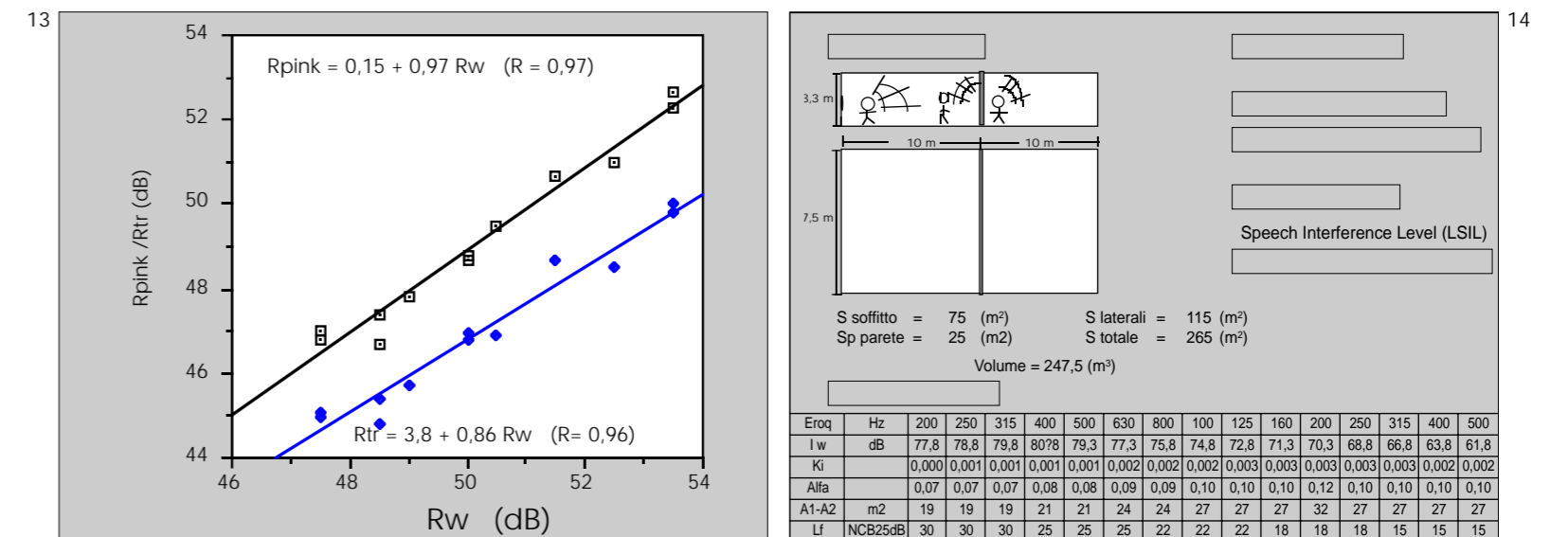
1969, sono stati calcolati i corrispondenti livelli di pressione sonora nell'ambiente trasmittente ( $L_1$ ) con la relazione seguente:

$$L_1 = L_w + 10 \log 4/A_1 \quad (\text{dB}) \quad (11)$$

In (11) si è considerato il campo acustico diffuso, con area equivalente di assorbimento acustico  $A_1$  (m<sup>2</sup>).

La figura 14 mostra dimensioni geometriche e dati acustici relativi al caso preso in esame.

Impiegando i dati sperimentali di R relativi ad ogni struttura divisoria ed utilizzando ancora le ipotesi di campo acustico diffuso, è stato calcolato il livello sonoro nell'ambiente ricevente ( $L_2$ ) con la relazione

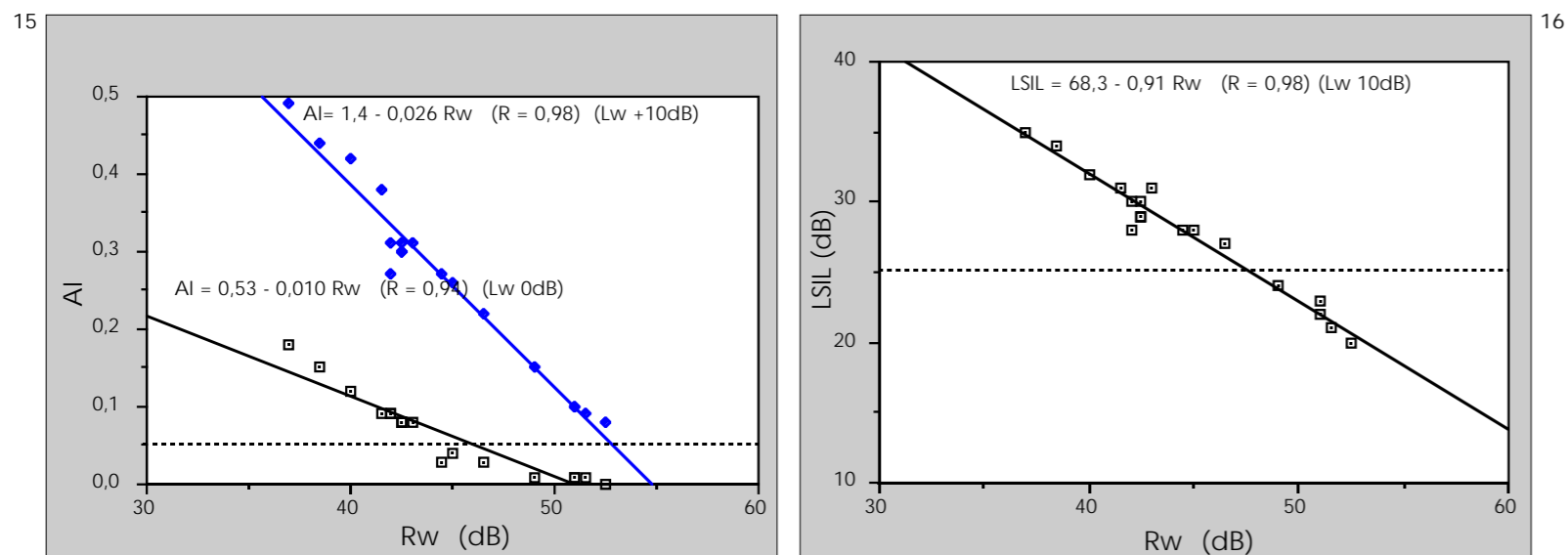


15. Valori di AI in funzione di  $R_w$  in due ipotesi di calcolo.

16. Valori di  $L_{SIL}$  in funzione di  $R_w$  per le pareti semplici, calcolato nel caso di "voce molto forte" (+10 dB).

17. Valori di AI in funzione di  $R_w$  per le pareti doppie, per un valore di  $L_w$  uguale a quello proposto dalla norma ANSI (0 dB).

18. Valori di AI in funzione di  $R_w$  per i solai.



seguito:

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log S_p/A_2 \quad (\text{dB}) \quad (12)$$

dove  $A_2$  è l'area equivalente di assorbimento acustico ( $m^2$ ) dell'ambiente ricevente e  $S_p$  l'area della superficie in prova ( $m^2$ ).

Calcolo dell'indice di articolazione AI secondo ANSI S3-5 1969

I livelli sonori  $L_2$  determinati con la relazione (12) sono stati confrontati con un prefissato rumore di fondo  $L_f$  (NCB=25 dB) per determinarne l'indice di articolazione AI con la relazione:

$$AI = \sum k_i(L_{2i} - L_{fi}) \quad (13)$$

dove  $k_i$  è un fattore di ponderazione variabile con la frequenza. La sommatoria è estesa, per analisi in 1/3 di ottava, tra le frequenze di centro banda comprese tra 200 e 5000 Hz. Per i valori della differenza ( $L_{2i}-L_{fi}$ ) inferiori a 0 dB viene assunto il valore 0; per quelli superiori a 30 dB, viene assunto il valore 30. Noto il valore di AI è possibile risalire al grado di intelligibilità del messaggio trasmesso. Volendo garantire un elevato grado di riservatezza si dovranno raggiungere valori di AI molto bassi, per esempio  $AI < 0,05$ .

Calcolo del  $L_{SIL}$  [8]

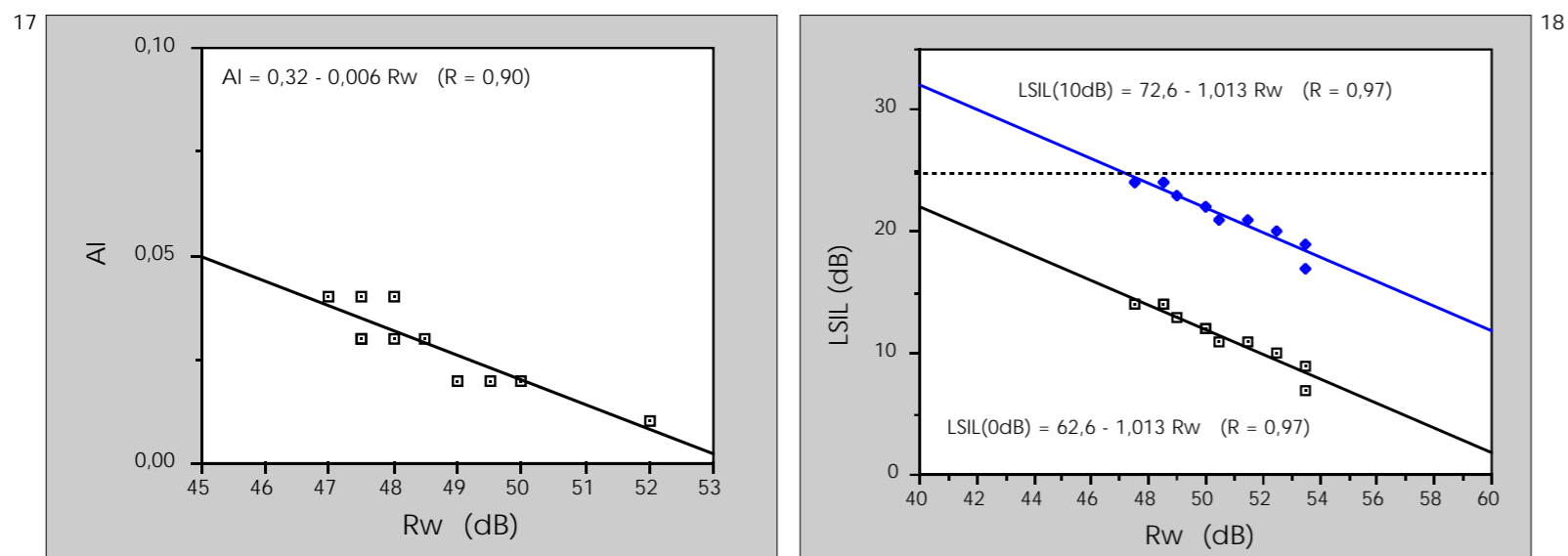
Al fine di valutare il disturbo che il livello sonoro trasmesso ( $L_2$ ) può produrre alla

comprensione di una conversazione che si svolge nell'ambiente ricevente, è stato determinato il suo grado di intelligibilità attraverso il calcolo del  $L_{SIL}$  con la relazione seguente:

$$L_{SIL} = (\sum L_{2i}) / 4 \quad (\text{dB}) \quad (14)$$

dove la sommatoria dei livelli  $L_{2i}$  è estesa alle bande di ottava comprese tra 500 e 4000 Hz.

Determinato il valore di  $L_{SIL}$  si può calcolare la distanza alla quale è possibile avere una conversazione verbale soddisfacente: per esempio, con un valore di  $L_{SIL}$  minore o uguale a 25 dB, alla distanza di 8 m è anco-



ra possibile avere una buona comprensione di un messaggio verbale trasmesso con "voce rilassata" [8].

Il calcolo del valore di AI e di  $L_{SIL}$  è stato condotto per le tre tipologie edilizie esaminate ed ha fornito i risultati descritti di seguito.

Pareti semplici

La figura 15 mostra i valori di AI in funzione di  $R_w$  in due ipotesi di calcolo: una con valori di  $L_w$  uguali a quelli indicati dalla norma ANSI ricordata ed una con valori di  $L_w$  più elevati di 10 dB, a simulare una situazione di comunicazione trasmessa a voce "molto forte".

Dalla relazione che meglio correla i dati sperimentali, nel caso meno gravoso di potenza sonora della voce normale ( $L_w=0$ ), si può osservare che occorre un isolamento  $R_w$  della parete divisoria di almeno 46 dB per garantire un valore di  $AI < 0,05$ .

La figura 16 riporta i valori di  $L_{SIL}$  calcolato nel caso di "voce molto forte" (+10 dB). Si può notare che per avere un valore di  $L_{SIL}$  inferiore a 25 dB occorre una parete con  $R_w > 47$  dB.

Questi risultati portano a stimare in circa 46÷47 dB l'indice di valutazione del potere fonoisolante di una parete semplice che isoli due ambienti nei quali l'attività prevalente sia la trasmissione e l'ascolto della parola.

Pareti doppie

La figura 17 mostra i valori di AI in funzione di  $R_w$  per un valore di  $L_w$  uguale a quello proposto dalla norma ANSI (0 dB): si può notare che AI risulta sempre inferiore a 0,05.

I valori di  $L_{SIL}$  non sono riportati in quanto risultano sempre inferiori a 12 dB. Si può pertanto concludere che tutte le pareti doppie esaminate sono in grado di garantire una adeguata riservatezza e intelligibilità.

Solai

Anche per i solai si ottengono valori di AI sempre inferiori a 0,05. I livelli  $L_{SIL}$ , calcolati con "voce normale" e con "voce molto forte", sono rappresentati in figura 18. Si può notare che tutti i solai presentano un valore di  $L_{SIL}$  minore di 25 dB.

Considerazioni conclusive e sintesi dei risultati

Dall'analisi dei dati sperimentali e dalle successive elaborazioni si possono trarre alcune pratiche considerazioni sul comportamento acustico delle strutture divisorie in laterizio.

Pareti semplici

In precedenti articoli [1,2] è stato messo in evidenza l'importanza dell'intonaco sul potere fonoisolante di una parete. L'incremento di  $R_w$  dovuto ad uno spessore di 1,5 cm di intonaco sulle due facce di una parete è di circa 7÷8 dB.

La previsione dell'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  di una parete semplice in laterizio può essere stimata con la relazione (2). Nel caso di pareti in laterizio alleggerito si ottiene la relazione (3) che fornisce, a parità di massa superficiale, valori inferiori di  $R_w$ .

La protezione acustica offerta dalle pareti semplici nei confronti dei rumori "domestici" può essere stimata sottraendo 1 dB al valore di  $R_w$ ; nel caso del rumore del traffico occorre sottrarre 3 dB al valore di  $R_w$ .

Per quanto riguarda l'isolamento acustico di una parete nei confronti della voce, sia naturale che amplificata, è stato calcolato che solo valori di  $R_w$  superiori a 47 dB possono assicurare una sufficiente riservatezza ed una buona intelligibilità di un messaggio sonoro. Sembrano quindi insufficienti i valori di  $R_w = 40$  dB per le pareti verticali e  $R_w = 42$  dB per i solai, indicati dal DM 18/12/75 per le pareti divisorie tra aule.

Pareti doppie

Le pareti doppie in laterizio possono garantire isolamenti acustici superiori alla legge di massa solo nel caso di intercapedini con spessori superiori ad almeno 10 cm; per valori inferiori si comportano in pratica come pareti semplici di massa pari alla somma delle masse delle due pareti. La previsione dell'indice di valutazione del potere fonoisolante può essere condotta impiegando le relazioni (6) o (7) in base allo spessore dell'intercapedine. La presenza di materiale fonoassorbente nell'intercapedine aumenta la prestazione acustica di alcuni decibel (2÷3 dB). L'isolamento acustico offerto da una parete doppia in laterizio è in genere sufficiente a fornire una adeguata riservatezza ed una buona intelligibilità. Anche per le pareti doppie si trovano valori di C e  $C_{tr}$  di -1 dB e -3 dB rispettivamente.

Solai

La relazione che correla i dati sperimentali di  $R_w$  con la massa superficiale dei solai fornisce valori superiori a quelli ottenibili con pareti semplici di pari massa (fig.9). L'isolamento acustico al rumore aereo fornito dai solai sperimentati in questa campagna di misure è in grado di assicurare sempre adeguate condizioni di riservatezza e buona intelligibilità di un messaggio ver-

bale. I valori dei termini di adattamento per il rumore rosa (C) e per il rumore del traffico ( $C_{tr}$ ), sono risultati, anche per i solai, di -1 dB e -3 dB rispettivamente.

Bibliografia

- [1] A. Farina, G. Raffellini, *Potere fonoisolante di murature in laterizio: verifiche sperimentali di laboratorio e considerazioni applicative*, Costruire in Laterizio, 23/91, pp378-385.
- [2] G. Di Cesare, A. Farina, R. Pompoli, G. Raffellini, *L'isolamento acustico di pareti in laterizio impiegate nella tecnologia edilizia italiana. Risultati sperimentali e considerazioni*, Atti del "9th International Brick/Block Masonry Conference", Berlino 13-16 ottobre 1991.
- [3] A. Cocchi, A. Farina, P. Fausti, R. Pompoli, G. Semprini, *Prestazioni acustiche dei solai in laterizio*, Costruire in Laterizio, 38/94, pp156-163.
- [4] G. Raffellini, G. Cellai, *L'isolamento acustico di divisorii in laterizio forato: verifiche sperimentali e metodi previsionali*, Costruire in Laterizio, 40/94, pp355-361.
- [5] L. Rocco, *La normativa europea in materia di protezione e qualificazione acustica degli edifici*, Costruire in Laterizio, 23/91, pp370-377.
- [6] E. Brosio, *Esempi di progettazione e realizzazione. Mezzi di previsione delle prestazioni acustiche di materiali e componenti*, Rivista Italiana di Acustica, vol X, n. 4, dicembre 1986.
- [7] E. Brosio - *L'indice di articolazione come parametro di valutazione dell'isolamento acustico fra ambienti*, Rivista Italiana di Acustica, vol. VII, n.1, 1983.
- [8] ISO/DIS 9921-1, *Ergonomic assessment of speech communication - part 1 : Speech interference level and communication distances for persons with normal hearing capacity in direct communication ( $L_{SIL}$  method)*.