



Associazione Italiana di Acustica
XXVII Convegno Nazionale
Genova, 26-28 maggio 1999

UN NUOVO MODELLO DI PREVISIONE DEL RUMORE EMESSO DA PARETI PIANE

F. Asdrubali, C. Buratti, F. Rossi

CIRIAF, Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici,
Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Ingegneria

SOMMARIO

Nel lavoro è proposto un nuovo modello per la previsione del rumore emesso da pareti piane, che può essere impiegato per le pareti di edifici industriali, nell'ambito delle valutazioni di impatto acustico. Il modello si basa su una relazione matematica che fornisce il livello di pressione acustica in un punto, note la sua posizione, la potenza acustica e le caratteristiche geometriche della parete e le proprietà riflettenti del terreno. Una verifica sperimentale, effettuata presso un edificio industriale, dimostra che il modello proposto, seppur di facile impiego, conduce a valori del livello di rumore affetti da errori paragonabili a quelli di codici di calcolo commerciali ben più complessi.

INTRODUZIONE

Con l'entrata in vigore della Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico (L. 447/95) e dei relativi Decreti Attuativi, è divenuto obbligatorio, ai fini del rilascio della concessione edilizia per l'esercizio di attività industriali o commerciali, produrre una valutazione d'impatto acustico. La necessità di fornire una previsione del rumore ha colto impreparati molti operatori del settore, fino ad oggi abituati a risolvere molti problemi acustici mediante l'esecuzione di rilievi fonometrici; in alternativa sono impiegate semplici relazioni, valide solo in casi molto particolari o programmi di calcolo commerciali, in genere complessi e spesso mal utilizzati per scarsa dimestichezza con la materia o per mancanza di sufficienti dati di progetto. Nel presente lavoro si propone un nuovo modello per la previsione del rumore emesso da pareti piane che può essere convenientemente applicato al caso delle pareti di edifici industriali. Il modello si basa su una relazione analitica, che fornisce il livello di pressione acustica in un punto note la sua posizione rispetto alla parete, la potenza acustica e le dimensioni della parete e le proprietà riflettenti del terreno. Il modello può essere semplificato in

alcuni casi particolari, quali ad esempio pareti con una dimensione notevolmente più estesa dell'altra.

IL MODELLO MATEMATICO

Le emissioni acustiche di un edificio industriale verso l'ambiente esterno sono imputabili alle vibrazioni delle pareti esterne indotte, a loro volta, dal campo acustico interno. Questo può essere ritenuto uniforme se la differenza del livello di pressione acustica in due punti interni qualsiasi non eccede 3 dB. Tale condizione è spesso verificata all'interno di edifici industriali, dove le sorgenti di rumore non sono concentrate, il volume è elevato ed il valore delle unità assorbenti è modesto. In condizioni di campo acustico uniforme, l'energia acustica che incide sulla superficie interna delle pareti è uniforme e tale può essere considerata anche la potenza acustica emessa da un elemento unitario di superficie esterna:

$$\delta_w = \frac{W_T}{H \cdot L} \quad (1)$$

Supponendo che il diagramma di emissione dell'elemento infinitesimo E di parete segua la legge del coseno, la potenza acustica da esso emessa per unità di angolo solido, in direzione α , risulta:

$$dJ_\alpha = \frac{W_T}{H \cdot L} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \cos \alpha \cdot dx \cdot dy \quad (2)$$

In un punto P dello spazio (fig. 1), l'intensità acustica prodotta da E è pari a:

$$dJ = \frac{dJ_\alpha}{R^2} \quad (3)$$

Esprimendo $\cos \alpha$ e R^2 in funzione delle coordinate (x, y) di E e (a, b) di P si ha:

$$dJ = \frac{W_T}{\pi \cdot HL} \cdot \frac{d}{\left((x-a)^2 + (y-b)^2 + d^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx dy \quad (4)$$

L'intensità acustica nel punto P dovuta all'intera parete si ottiene integrando la (4) su tutta la superficie della parete:

$$J = \int_0^H \int_0^L \frac{W_T}{\pi \cdot HL} \cdot \frac{d}{\left((x-a)^2 + (y-b)^2 + d^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx \cdot dy \quad (5)$$

Introduciamo un parametro K, definito dalla (6):

$$K = \int_0^H \int_0^L \frac{1}{\pi \cdot HL} \cdot \frac{d}{\left((x-a)^2 + (y-b)^2 + d^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx \cdot dy \quad (6)$$

Il livello di pressione acustica L_p nel punto P dovuto alla parete può essere espresso in funzione della intensità acustica:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{W_T \cdot K \cdot \rho \cdot c}{P_0^2} \quad (7)$$

Semplificando opportunamente si ottiene:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log(K); \quad L_w = 10 \cdot \log \frac{W_T}{W_0} \quad (8)$$

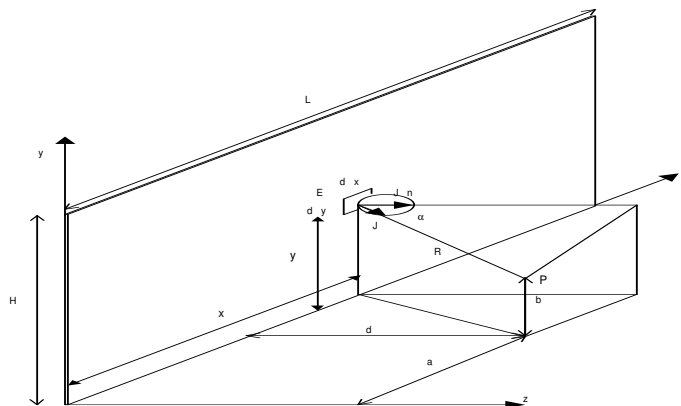


Fig.1: Modellazione acustica della parete

Risolvendo la (6), K risulta:

$$K = \frac{\operatorname{atn}(B) + \operatorname{atn}(D) - \operatorname{atn}(A) - \operatorname{atn}(C)}{\pi \cdot H \cdot L} \quad (9)$$

con:

$$A = \frac{(H-b)(a-L)}{d\sqrt{a^2 + b^2 + d^2 + H^2 + L^2 - 2La - 2Hb}}; \quad C = \frac{b(a-L)}{d\sqrt{a^2 + b^2 + d^2 + L^2 - 2La}} \quad (10)$$

$$B = \frac{(H-b)a}{d\sqrt{a^2 + b^2 + d^2 + H^2 - 2Hb}}; \quad D = \frac{ba}{d\sqrt{a^2 + b^2 + d^2}}$$

Quando la dimensione verticale della parete è notevolmente maggiore di quella orizzontale (torri, silos, camini, etc..), la (9) può essere semplificata nel modo seguente:

$$K = \frac{(H-b)}{\pi \cdot d \cdot H \cdot \sqrt{b^2 + d^2 + H^2 - 2Hb}} + \frac{b}{\pi \cdot d \cdot H \cdot \sqrt{b^2 + d^2}} \quad (11)$$

La (8) consente di stimare il livello di pressione acustica in un generico punto P, nota la potenza acustica complessiva emessa dalla parete, le caratteristiche geometriche della parete stessa e la posizione relativa fra punto e parete.

Esprimendo L_w in funzione di L_p e di K, la (8) risulta:

$$L_w = L_p - 10 \cdot \log(K); \quad (12)$$

La (12) può essere impiegata anche per la determinazione della potenza acustica di una parete, noto il livello di pressione acustica in un generico punto.

Considerando infine l'attenuazione per assorbimento del mezzo $A(d)$ e l'effetto del suolo $E_s(d)$, la (8) diventa:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log(K) + A(d) + E_s(d) \quad (13)$$

VERIFICA TEORICA

Si è effettuato un confronto fra i risultati forniti dalla (13) (modello A) e quelli forniti da una relazione in cui la sorgente è considerata puntiforme, con diagramma di radiazione che segue la legge del coseno (modello B):

$$L_p = L_w - 20 \cdot \log(d) + 10 \cdot \log\left(\frac{\cos(\alpha)}{\pi}\right) + A(d) + E_s(d) \quad (14)$$

Il confronto è effettuato calcolando il livello di rumore in un punto di osservazione che si muove lungo due percorsi significativi S1 e S2: S1 è una semiretta ortogonale alla parete, avente origine nel punto ove è stata posta la sorgente puntiforme;

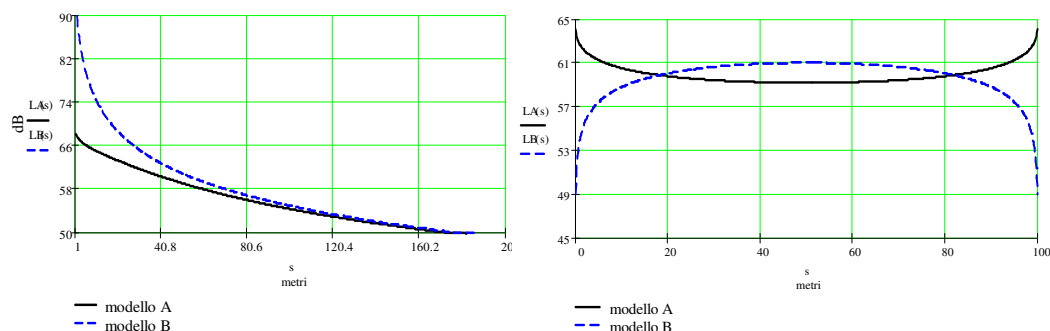


Fig.2: Livelli di rumore valutati con i modelli A e B lungo il percorso S1 (a sinistra) e S2 (a destra).

S2 è una semicirconferenza di raggio pari a 50 m, avente il centro coincidente con il punto ove è stata posta la sorgente puntiforme e posta su un piano ortogonale alla parete. Sono state adottate le seguenti ipotesi: dimensioni della parete: $L = 100$ m, $H = 25$ m; livello di potenza della parete: $L_w = 100$ dB; quota del punto di previsione: $b = 2$ m; posizione della sorgente concentrata: $x = 50$ m, $y = 2$ m. I termini $A(d)$ e $E_s(d)$ sono stati trascurati poiché non differiscono nei due modelli. In fig. 2 è riportato l'andamento del livello di rumore fornito dai modelli A e B lungo i percorsi S1 e S2. Si osserva che lungo S1 i due modelli differiscono in modo significativo solo per valori modesti della distanza fra parete e punto di previsione: il modello A produce valori del livello inferiori a quelli del modello B, poiché la porzione di parete che contribuisce significativamente al livello di rumore è dotata di potenza acustica ridotta rispetto al caso di sorgente puntiforme con potenza acustica totalmente concentrata in un punto. Lungo S2 i due modelli differiscono significativamente in corrispondenza dei bordi della parete; qui infatti il modello B produce valori modesti del livello poiché il valore dell'angolo α è prossimo a 90° , il modello A invece tiene in conto i contributi della porzione di parete situata in prossimità del bordo stesso. Nella parte centrale della parete, il modello B dà valori del livello leggermente più elevati rispetto al modello A, poiché la sorgente è concentrata nella parte di parete più vicina al punto di osservazione.

VERIFICA SPERIMENTALE

Allo scopo di confrontare i risultati del modello matematico con i valori prodotti da una sorgente reale, si è effettuata una campagna di misure fonometriche presso un edificio industriale. La forma e le dimensioni dell'edificio sono riportate in fig. 3; l'altezza delle pareti esterne, costituite da tamponature in lamiera zincata ancorate ad un telaio in acciaio, è di $a = 20$ m. Le principali sorgenti di rumore interne sono due estrusori per materie plastiche ubicati al livello del suolo; ad esse si aggiungono numerose altre sorgenti, di minore entità, uniformemente distribuite. Sono state effettuate tre differenti tipologie di misure del rumore: A) interne all'edificio; B) all'esterno dell'edificio, in

prossimità della parete; C) all'esterno dell'edificio, "lontano" dalla parete. Le misure di tipo A) sono volte alla verifica dell'uniformità del campo acustico interno all'edificio; le misure di tipo B) hanno lo scopo di determinare, per mezzo della relazione (12), il

Tab.1: Risultati delle misure fonometriche e coordinate dei punti di misura.

Punto	Quota [m]	Z [m]	X [m]	L_{eq} [dB]
A1	3	Punti interni all'edificio		105.5
A2	10			104.5
A3	3			105.0
A4	10			104
B1	2	6	31.5	71.2
B2	2	6	21.5	73.9
B3	2	6	11.5	74.2
B4	2	6	1.5	71.8
C1	2	15	31.5	68.5
C2	2	15	21.5	70.3
C3	2	15	11.5	70.0
C4	2	15	1.5	68.0
C5	2	30	31.5	65.4
C6	2	30	21.5	66.4
C7	2	30	11.5	66.0
C8	2	30	1.5	65.1

valore del livello di potenza della parete; le misure di tipo C) servono per il confronto dei risultati del modello. Si è impiegato un fonometro integratore mod. LD800, classe I; la durata di ciascun rilievo è di 60 s. Durante le misure entrambi gli estrusori sono stati mantenuti in funzione con regime di funzionamento costante; in virtù della stazionarietà del fenomeno acustico, la grandezza misurata è il livello equivalente continuo non ponderato. La posizione dei punti di misura è riportata in fig. 3. Nella tab.1 si riportano i risultati delle misure e le coordinate di ciascun punto di misura rispetto al sistema di riferimento di fig. 3. Il livello di rumore all'esterno dell'edificio

quando gli estrusori non sono in funzione è pari a 48 dB; la differenza fra tale valore e il livello più basso riscontrato quando gli estrusori sono in funzione è superiore a 17 dB; pertanto il contributo di eventuali altre sorgenti sul livello globale è trascurabile. La massima variazione del livello equivalente fra i punti di tipo A è pari a 1.5 dB; è pertanto ammissibile considerare uniforme sia la densità di energia acustica all'interno dell'edificio sia l'energia che incide sulle pareti, risultando così verificate le ipotesi adottate per la formulazione del modello. Il livello di potenza acustica della parete è stato calcolato per mezzo della (12), in base ai risultati delle misure nei punti di tipo B), impiegando il livello di potenza medio di 102.8 dB. Nella tab. 2. sono riportati i livelli di rumore nei punti di tipo C) calcolati con il modello proposto nel presente lavoro (modello A) e con quello impiegato per la verifica teorica di cui al par. 3 (modello B) e sono messi a confronto con i livelli misurati. Il modello A fornisce valori mediamente più accurati: la differenza media tra i valori calcolati dal modello A e quelli misurati è pari a 0,96 dB, contro i 2,11 dB del modello B.

CONCLUSIONI

Si è proposto un nuovo modello per la previsione del rumore emesso da pareti piane, particolarmente utile nelle valutazioni di impatto acustico di edifici industriali. Il modello, di semplice impiego, consente di stimare il livello di pressione acustica in un punto, note la sua posizione rispetto alla parete, la potenza acustica e le dimensioni della parete stessa. E' stata effettuata una verifica teorica, con la quale è stata messa in evidenza la maggiore accuratezza del modello proposto rispetto ai modelli a sorgenti

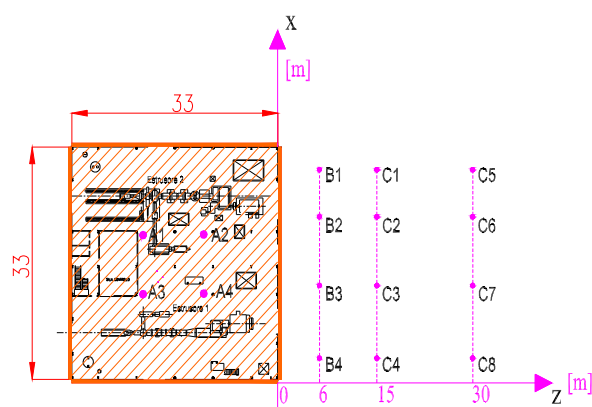


Fig. 4: stabilimento industriale preso in considerazione e punti di misura

Punto	Modello A		Modello B	
	L_{eq} [dB]	ΔL [dB]	L_{eq} [dB]	ΔL [dB]
C1	69.5	+1.0	69.8	+1.3
C2	71.0	+0.7	73.6	+3.3
C3	71.0	+1.0	73.6	+3.6
C4	69.5	+1.5	69.8	+1.8
C5	66.2	+0.8	66.8	+1.4
C6	67.0	+0.6	68.1	+1.7
C7	67.0	+1.0	68.1	+2.1
C8	66.2	+1.1	66.8	+1.7

Tab. 2: livelli valutati con i modelli A e B, messi a confronto con quelli misurati.

concentrate, in modo particolare per punti vicini alla sorgente. La verifica sperimentale, condotta in prossimità di un edificio industriale mostra, inoltre, che l'errore commesso dal modello è circa pari a 1dB, per distanze paragonabili alla massima dimensione della sorgente in esame; tale errore è paragonabile a quello dei migliori codici di calcolo commerciali.

LISTA DEI SIMBOLI

a,b,d = coordinate punto P (m);
 c = velocità del suono in aria;
 ρ = densità dell'aria (Kg/m^3);
 H = altezza parete (m);
 L = lunghezza parete (m);
 L_p = livello pressione acustica (dB);
 L_{eq} = liv. equiv. pressione acust. (dB);
 P_o = pressione acust. di riferimento;
 R = distanza punto P da parete (m);

W_T = potenza totale della parete (W);
 W_o = potenza di riferimento (W);
 J = intensità acustica (W/m^2);
 J_a = potenza angolo solido unit. (W/s.r);
 δ_w = potenza per unità di superficie (W/m^2).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Legge n. 447 del 26 ottobre 1995, *Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico*, Suppl. Ord. alla G.U. n. 254 del 30/10/95.
- [2] Beranek, I.L., *Noise and Vibration Control Engineering*, J. Wiley & Sons, New York, 1992.
- [3] Varini, R., *Modellistica per la valutazione dell'emissione sonora di insediamenti civili e industriali come strumento per la pianificazione territoriale*, Atti Conv. Intrenaz. Modena, 1998.
- [4] Cstb, *Etude theorique et experimentale de la propagation acoustique*, Revue d'Acoustique, n. 70, 1991.
- [5] Galaitsis A.G., Patterson W.N., *Prediction of Noise Distribution in Varius Enclosures from Free Field Measurements*, in "Jasa", vol. 60, n.4, October 1976.
- [6] HodGson M., *Case History: Factory Noise Prediction Using Ray Tracing, Experimental Validation and the effectiveness of Noise Control Mesures*, in "Noise Control Engineering Journal", Vol.3, n.3 November-December 1989.
- [7] Lemire G.R., Nicolas J, *Image Method Prediction of Industrial Hall Noise Levels- A Newe Algorithm* in "Noise Control Engineering Journal" vol 24. , n.2 March-April 1985.