

CAPITOLO 3

ASSORBIMENTO ACUSTICO DEI MATERIALI IN LANA DI ROCCIA ROCKWOOL

Premessa

Il comportamento acustico del materiale in lana di roccia Rockwool dipende essenzialmente da alcuni parametri fisici legati alla tipologia di fibre e alla densità apparente del pannello. Tali parametri sono stati esaminati in uno studio teorico-sperimentale condotto presso l'Università di Ferrara finalizzato alla definizione di un modello matematico per la previsione del comportamento acustico del materiale.

Nel seguito del capitolo saranno illustrati i risultati dello studio, in particolare il modello matematico per la previsione del comportamento acustico del materiale Rockwool ed alcune considerazioni sui risultati.

Parametri che influenzano l'assorbimento acustico

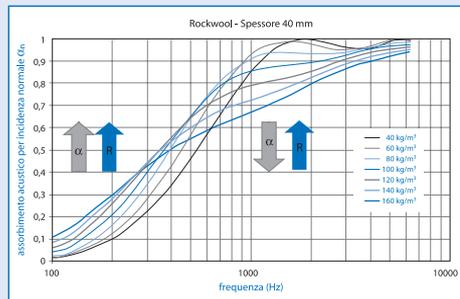
I principali parametri che influenzano l'assorbimento acustico di un pannello di materiale fibroso posto su fondo rigido sono:

- diametro delle fibre (per il materiale Rockwool il valor medio delle fibre è pari a 4,5 micron circa);
- orientamento delle fibre (per i materiali Rockwool di bassa e media densità la distribuzione è essenzialmente parallela alle superfici del pannello, per quelli a densità elevata la distribuzione ha anche una componente ortogonale alle superfici del pannello);
- densità del materiale (per il materiale Rockwool variabile tra 40 kg/m^3 e 160 kg/m^3);
- spessore del pannello.

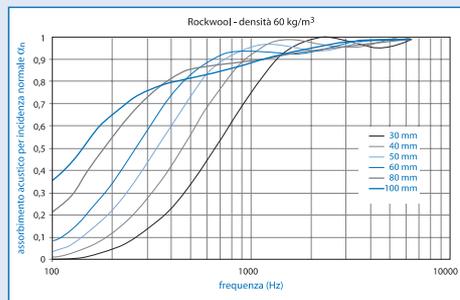
Tali parametri influenzano anche la resistenza al flusso d'aria del materiale; essa esprime la resistenza che un flusso d'aria incontra nel passaggio attraverso il materiale dovuta ad attrito viscoso sulle superfici delle fibre.

La correlazione tra la resistenza al flusso e l'assorbimento acustico è molto stretta ed è stata studiata da numerosi autori [1-16].

Influenza della resistenza al flusso su pannelli Rockwool a densità variabile (da 40 a 160 kg/m³) con spessore 40 mm.



Influenza dello spessore sull'assorbimento acustico di un pannello di materiale Rockwool con densità pari a 60 kg/m³.



In generale si ha che la resistenza al flusso aumenta con la densità e lo spessore del materiale, e con il diminuire del diametro delle fibre.

L'assorbimento acustico, che dipende dalla frequenza, presenta in generale ad ogni frequenza un aumento fino a valori di resistenza al flusso ottimali per poi calare per valori di resistenza al flusso troppo elevati. All'aumentare della resistenza al flusso si ha un significativo aumento di assorbimento alle basse frequenze ed una diminuzione alle alte frequenze, come si può vedere dalla figura a lato.

Per quanto riguarda lo spessore del pannello, come si può vedere dalla seconda figura, l'assorbimento acustico, all'aumento dello spessore, migliora sensibilmente alle basse frequenze mentre risulta praticamente inalterato (vicino a 1) per le alte frequenze.

Modello teorico-sperimentale per la previsione dell'assorbimento acustico del materiale Rockwool

A partire da modelli matematici sviluppati nello studio teorico-sperimentale svolto presso l'Università di Ferrara [17], è possibile determinare in funzione di densità apparente ρ_m e spessore del materiale l tutte le caratteristiche fisico-acustiche del materiale (resistività al flusso d'aria r , impedenza caratteristica Z_i , costante di propagazione γ , impedenza superficiale Z_s e coefficiente di assorbimento per incidenza normale α_n). Il sistema di formule semplificate, dipendente dai parametri ρ_0 (densità dell'aria), c_0 (velocità del suono nell'aria) ed f (frequenza) è il seguente:

$$r = 95.35 \cdot \rho_m^{1.37} \quad [\text{Ns/m}^4]$$

$$Z_R = \left[1 + 0.057 \cdot \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-0.754} \right] \quad [-]$$

$$Z_I = - \left[0.087 \cdot \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-0.732} \right] \quad [-]$$

$$\alpha' = \left(\frac{2\pi f}{c_0} \right) \cdot \left[0.189 \cdot \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-0.595} \right] \quad [\text{m}^{-1}]$$

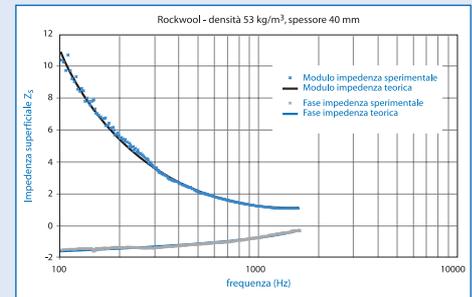
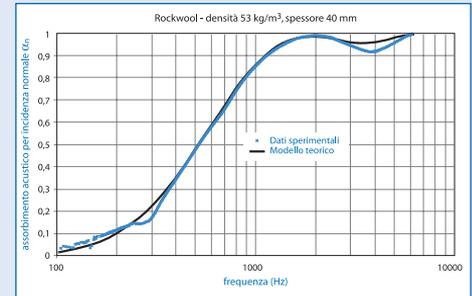
$$\beta = \left(\frac{2\pi f}{c_0} \right) \cdot \left[1 + 0.098 \cdot \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-0.700} \right] \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$Z_S = (Z_R + jZ_I) \cdot [\coth(\alpha' + j\beta) \cdot l] \quad [-]$$

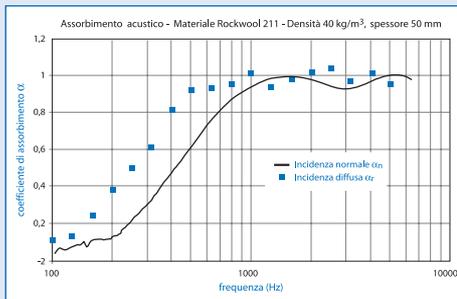
$$\alpha_n = \frac{4Z_{SR}}{|Z_S|^2 + 2Z_{SR} + 1} \quad [-]$$

La precisione del modello (che non richiede in ingresso alcun dato sperimentale se non la densità e lo spessore del materiale) risulta molto elevata, ed in particolare sulla previsione dell'assorbimento acustico per incidenza normale si trova uno scarto medio pari a 0.028. Sono inoltre forniti i valori complessi di impedenza superficiale, impedenza caratteristica e costante di propagazione, a volte richiesti da programmi di simulazione acustica.

Nei grafici a fianco si riporta un confronto tra i dati sperimentali e quelli calcolati con il modello matematico per un pannello di materiale Rockwool. Dal modello presentato si può anche ricavare la "costante di attenuazione" di un materiale, espressa in dB/m, corrisponde all'attenuazione in dB, per ogni metro di materiale, che un'onda acustica piana subisce nel passaggio in un mezzo omogeneo dissipativo.



Confronto tra dati sperimentali di assorbimento acustico per incidenza normale (ISO 10534-2) e per incidenza diffusa (ISO 354) per un pannello di materiale Rockwool 211 (densità 40 kg/m³ e spessore 50 mm)



Tale costante è ricavabile dall'espressione:

$$ATT = 20 \log \left(\frac{P(l)}{P(0)} \right)_{l=1m} = 20 \log \left(\frac{P_0 \cdot e^{-\alpha' l}}{P_0} \right)_{l=1m} = 20 \log \left(e^{-\alpha' l} \right) \quad [\text{dB/m}]$$

dove con α' si indica la parte reale della costante di propagazione acustica in un materiale omogeneo dissipativo.

A titolo di esempio per il materiale Rockwool con densità pari a 50kg/m³ si trova un valore di 120 dB/m a 500 Hz.

Assorbimento acustico per incidenza casuale

L'assorbimento acustico dipende anche dall'angolo di incidenza dell'onda acustica sul materiale. Mentre lo studio teorico-sperimentale è finalizzato al calcolo dell'assorbimento per incidenza normale, il dimensionamento di una applicazione di materiale fonoassorbente in ambienti chiusi necessita del dato di assorbimento acustico per incidenza diffusa.

La correlazione tra i dati sperimentali di assorbimento acustico ad incidenza normale e quelli ad incidenza diffusa è stata studiata in forma teorica e sperimentale da numerosi autori, ma con risultati non ancora soddisfacenti. La causa principale è dovuta alle condizioni di prova della misura in campo riverberante (ISO 354) e al passaggio dal campo reale, che si realizza nella camera riverberante, a quello teorico da cui calcolare l'assorbimento per incidenza normale.

In generale si può comunque affermare che nel passaggio tra "incidenza normale" ed "incidenza diffusa" si ha un aumento del coefficiente di assorbimento alle frequenze medio-basse, con uno spostamento verso di esse del primo picco massimo di assorbimento.

In camera riverberante si possono anche ottenere coefficienti di assorbimento per incidenza diffusa superiori a 1, che hanno comunque un senso fisico discutibile.

A titolo di esempio, si riporta nella figura a lato un confronto tra una misura eseguita in camera riverberante (in terzi di ottava) ed una eseguita con il metodo della funzione di trasferimento in un tubo ad onde stazionarie (in FFT) per la stessa tipologia di pannelli di materiale Rockwool.

Bibliografia

- [1] M.E. Delany, E.N. Bazley, *Acoustical properties of fibrous absorbent materials*, App.Acoust., 3, 1970, pp. 105-116 .
- [2] C. Zwikker, J. Eijk, *Physica VIII*, 1941, pp.141.
- [3] L. Beranek, *Acoustic impedance of porous materials*, J. Acoust. Soc. Am., 13, 1942, pp. 248.
- [4] J.W. Rayleigh, *Theory of sound*, Macmillan, 1929, II vol.
- [5] J.W. Strutt, J.W. Rayleigh, *The theory of sound*, Dover Publications, 1945, vol. II, pp. 328-333.
- [6] C. Zwikker, C.W. Kosten, *Sound absorbing materials*, Elsevier Publishing Company, 1949.
- [7] M.A. Biot, *Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated-porous solid*, J. Acoust. Soc. Am., 28, 1956, pp. 168-191.
- [8] K. Attenborough, *Acoustical characteristics of rigid fibrous absorbents and granular materials*, J. Acoust. Soc. Am., 73, 1983, pp. 758-799.
- [9] J.F. Allard, C. Depollier, J. Nicolas, W. Lauriks, A. Cops, *Propriétés acoustiques des matériaux poreux saturés d'air et théorie de Biot*, J. Acoust. Soc. Am., 3, 1990, pp. 28-38.
- [10] Y. Champoux, M.R. Stinson, *On acoustical models for sound propagation in rigid frame porous materials and the influence of shape factors*, J. Acoust. Soc. Am., 92, 1992, pp. 1120-1131.
- [11] J.F. Hamet, *Modélisation acoustique d'un enrobe drainant*, Rapport INRETS n.159, Ottobre 1992.
- [12] P. Morse, K. Ingard, *Theoretical acoustics*, McGraw Hill, 1968.
- [13] D.A.Bies, C.H. Hansen, *Flow resistance information for acoustical design*, App.Acoust. 13, 1980, pp. 357-391.
- [14] M. Garai, F.Pompoli, *A European Inter-Laboratory Test of Airflow Resistivity Measurements*, Acustica-Acta Acustica Vol 89 (2003) pp. 471-478.
- [15] I.P. Dunn, W.A. Davern, *Calculation of acoustic impedance of multi-layer absorbers*, App.Acoust., 19, 1986, pp. 321-334.

- [16] Q. Wu, *Empirical relations between acoustical properties and flow resistivity of porous plastic open-cell foam*, App.Acoust. 25, 1988, pp. 141-148.
- [17] F. Pompoli, *Studio di modelli di previsione delle proprietà fisico-acustiche, di materiali in lana di roccia Rockwool*, Relazione tecnica 2004.