

## MODELLAZIONE DELLE PROPRIETÀ ACUSTICHE DI MISCELE DI FIBRE RICICLATE PER APPLICAZIONI AUTOMOBILISTICHE

Francesco Pompoli (1), Paolo Bonfiglio (2), Cristina Marescotti (1), Aurora Magnani (1), Andrea Santoni (1)

1) Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara, francesco.pompoli@unife.it

2) Materiacustica srl, Ferrara, paolo.bonfiglio@materiacustica.it

### SOMMARIO

I materiali fibrosi fonoassorbenti utilizzati nel settore automotive sono frequentemente ottenuti da fibre riciclate di differente natura, compattate per ottenere pannelli di diversa densità e spessore. La modellazione acustica di questi materiali è estremamente importante per la progettazione acustica dei veicoli, ma piuttosto difficoltosa per la natura disomogenea delle proprietà dimensionali delle fibre che compongono tali materiali. Nel presente articolo viene proposta e validata una metodologia analitica per poter ottenere le proprietà acustiche di pannelli di qualsiasi miscela, spessore e densità a partire da una caratterizzazione sperimentale delle singole fibre sciolte che compongono la miscela stessa. Un'ampia campagna sperimentale ha validato il modello presentato.

### 1. Introduzione

Nel settore automobilistico la riduzione dei costi e dell'impatto ambientale nella produzione dei veicoli ha determinato un crescente utilizzo di materiali fonoassorbenti costituiti da miscele di fibre riciclate provenienti da scarti di diverse filiere industriali, come le plastiche PET riciclate oppure scarti dell'industria tessile. Miscelando con diversa percentuale tipologie di fibre diverse si possono modulare le proprietà acustiche ed elastiche del pannello finale, che quindi sarà più idoneo ad un tipo di applicazione sul veicolo. Ad esempio, l'utilizzo di fibre a diametro maggiore porta a componenti più rigidi, con maggiore capacità di carico, mentre l'utilizzo di fibre sottili determina un incremento delle proprietà acustiche del componente. Tali miscele di fibre sono solitamente legate tra loro da una tipologia di fibre particolari, che subendo un trattamento termico presenta delle fusioni localizzate che determinano una connessione meccanica tra le fibre stesse.

Risulta evidente l'importanza di poter calcolare le proprietà acustiche di qualsiasi possibile combinazione di spessore, densità e percentuale di fibre contenute in ogni miscela.

### 2. Descrizione delle miscele di fibre

In questa ricerca sono state analizzate cinque diverse miscele di fibre prodotte per pannelli fonoassorbenti automotive, composte da un totale di otto diversi tipi di fibre riciclate, appartenenti a tre tipologie:

- fibre PET riciclate, ottenute dal riciclo meccanico di bottiglie di PET, che vengono fuse e nuovamente estruse con diversi diametri;
- fibre di cotone, ottenute dal riciclo meccanico di tessuti da riciclare, provenienti da diverse filiere (ad esempio abiti usati oppure processi industriali); in questo caso la variabilità della provenienza dei materiali è tale da produrre una grande variabilità della dimensione delle fibre;
- fibre bicomponenti (PET-coPET), vengono utilizzate per la termolegatura delle fibre, grazie alla presenza di due strati coassiali di materiale con punto di fusione diverso. Raggiunta una temperatura intermedia durante un trattamento termico della miscela, la parte esterna della fibra fonde e va a legare tutte le fibre della miscela dando stabilità meccanica al componente. Solitamente

questa componente può variare dal 15% al 50%, a seconda delle proprietà meccaniche che si vogliono ottenere dal pannello.

In tabella 1 vengono riassunte le caratteristiche delle singole fibre (da A ad H) e delle cinque miscele analizzate (da Mix 1 a Mix 5). Per validare il modello proposto le cinque miscele sono state testate in un ampio campo di densità, tra 50 kg/m<sup>3</sup> a 160 kg/m<sup>3</sup>.

Tabella 1 – Descrizione dei materiali testati

#Fibra	Densità nominale della fibra kg/m <sup>3</sup>	Miscela di fibre – percentuale in peso				
		Mix1	Mix2	Mix3	Mix4	Mix5
A	1370				35%	
B	1370		35%	35%		
C	1370			10%	10%	
D	1370	20%				
E	1370	30%				
F	1500					83%
G	1500	5%	45%	35%	35%	
H	1370	45%	20%	20%	20%	17%

### 3. Modellazione acustica

Sulla modellazione acustica di materiali fibrosi esiste una ampia bibliografia, che sostanzialmente fa riferimento a fibre con diametro omogeneo e correla il raggio delle fibre alle grandezze caratteristiche che descrivono la propagazione del suono nel mezzo dissipativo equivalente. Uno dei modelli più utilizzati è quello di JCAL [1], i cui sei parametri possono essere descritti in funzione di porosità  $\Phi$  e del raggio  $a$  delle fibre. Nel presente articolo si fa riferimento al modello proposto da Pompoli e Bonfiglio in [2].

Tra i parametri calcolati con questo modello quello principale è rappresentato dalla resistività al flusso d'aria, espressa da:

$$(1) \quad \sigma = \frac{\eta}{(2a)^2} \frac{\sqrt{1-(1-\Phi)}}{0.21 \left( \frac{0.71}{1-\Phi} - 3 \sqrt{\frac{0.71}{1-\Phi} + 3} - \sqrt{\frac{1-\Phi}{0.71}} \right)} \quad [\text{Pa s/m}^2]$$

Tale relazione può essere utilizzata in due modi: consente di calcolare la resistività al flusso se sono note le caratteristiche delle fibre (sostanzialmente raggio e densità del pannello), ma anche in modo inverso, nota la resistività e la densità permette di calcolare il raggio equivalente delle fibre, nel caso questo non

sia noto a priori e soprattutto non abbia un valore costante a causa della presenza di fibre di diversa provenienza.

La procedura proposta può essere riassunta dai seguenti passaggi:

- 1) si misura la resistività al flusso di campioni di fibre sciolte omogenee della tipologia da A ad H, con diverse densità, e da tali misure sperimentali si ricava un raggio efficace per ciascuna tipologia di fibra;
- 2) si calcola il raggio equivalente di una miscela di fibre, una volta nota la percentuale in massa di ciascuna tipologia di fibre presenti nella miscela. Il calcolo analitico viene effettuato considerando invariato il volume complessivo occupato dalle fibre; in funzione della densità apparente del pannello finale, viene inoltre calcolata la porosità della miscela di fibre;
- 3) si applicano le formule descritte in [1] per calcolare i sei parametri presenti nel modello acustico di JCAL (resistività acustica, porosità, tortuosità, grandezze caratteristiche viscosa e termica, la permeabilità termica statica) in funzione di porosità e raggio equivalente, ed infine le proprietà acustiche con il modello di JCAL, tra cui l'assorbimento acustico ad incidenza normale per un dato spessore ed una data densità e spessore del pannello.

#### 4. Validazione sperimentale

La validazione della procedura di modellazione è stata effettuata per ogni passaggio precedentemente descritto, con numerose misure sperimentali di assorbimento acustico e resistività al flusso sia per le fibre sciolte omogenee che per le miscele termolegate. Per ovvi motivi di spazio si riporta nel seguito un solo esempio di validazione per ciascun passaggio. Le aree colorate nei grafici rappresentano l'incertezza sul risultato dovuta alla deviazione standard delle diverse grandezze misurate o calcolate. In tabella 2 vengono riportati i raggi equivalenti ricavati per le fibre sciolte (dalle misure sperimentali di resistività al flusso e dall'inversione della formula (1)) e per le miscele. Come si può notare i raggi delle singole miscele variano sensibilmente (da 5 a 35 micron), mentre quelli delle miscele sono più omogenei (da 7 a 12 micron).

Tabella 2 – Raggi equivalenti calcolati per le fibre sciolte e per le miscele di fibre, con relativa deviazione standard

#Fibra	Raggio equivalente $\mu\text{m}$	Deviazione standard del raggio equivalente $\mu\text{m}$
A	5.3	0.54
B	6.9	0.35
C	33.1	1.30
D	9.3	0.50
E	34.8	5.50
F	10.1	1.15
G	10.1	1.15
H	11.0	1.0
Mix 1	12.2	0.68
Mix 2	8.5	0.82
Mix 3	8.9	0.73
Mix 4	7.5	0.51
Mix 5	9.9	2.33

Il modello presentato è in grado, con ottima precisione, di calcolare le proprietà acustiche di qualsiasi miscela di fibre, per qualunque densità e spessore, una volta effettuata la misurazione sperimentale della resistività al flusso delle singole fibre e determinato attraverso (1) il relativo valore del raggio equivalente.

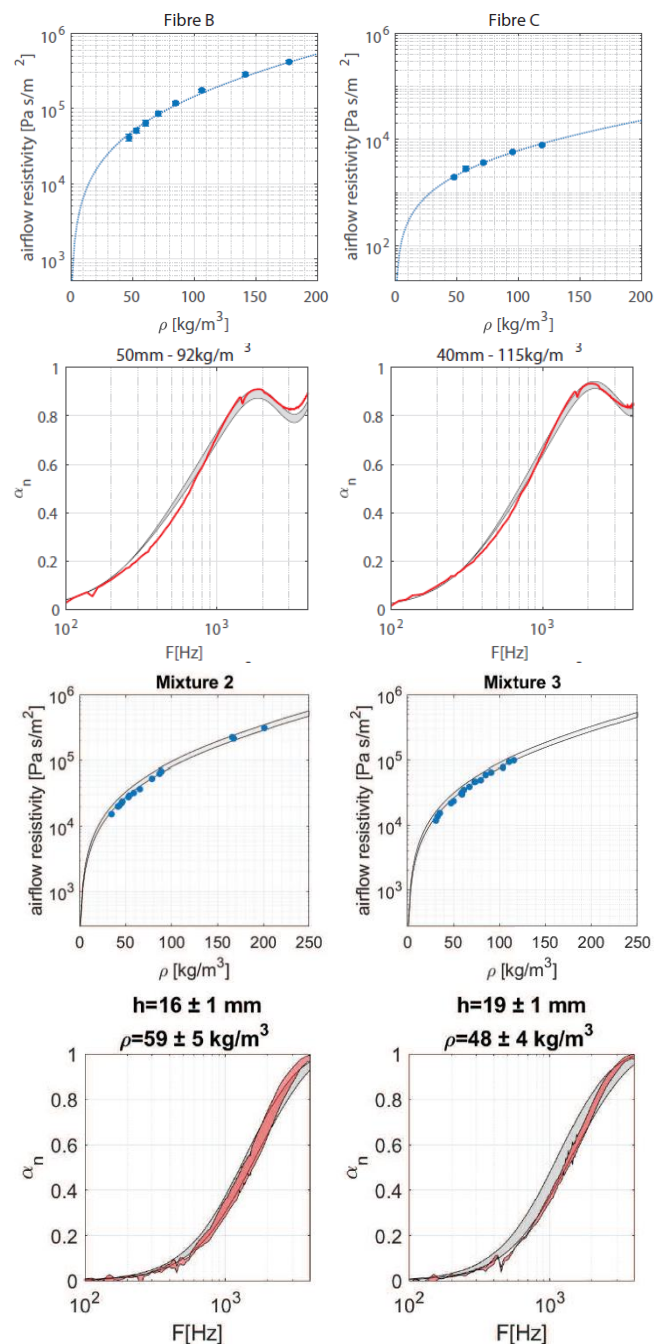


Figura 1 - Esempi di validazione sperimentale del modello analitico nei vari passaggi, dall'analisi delle fibre sciolte (prime due righe) a quella delle miscele (ultime due righe).

#### 5. Bibliografia

- [1] J. F. Allard and N. Atalla, *Propagation of sound in porous media*, (John Wiley & Sons, Oct 2009)
- [2] Pompoli F., Bonfiglio P., *Definition of analytical models of non-acoustical parameters for randomly-assembled symmetric and asymmetric radii distribution in parallel fiber structures*, Applied Acoustics, Volume 159, February 2020

#### Ringraziamenti

Questa ricerca è finanziata dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca all'interno del progetto PRIN 2017, numero 2017T8SBH9: "Theoretical modelling and experimental characterization of sustainable porous materials and acoustic metamaterials for noise control."

Si ringrazia inoltre *Adler Pelzer Group* per la fornitura dei materiali e le relative informazioni.