



AMBIENTE LAVORO

BOLOGNA - QUARTIERE FIERISTICO 10 - 12 giugno 2009

**PAD. 22 Stand B52**

il software ZORBA

## Il calcolo previsionale dei materiali fonoassorbenti

a cura di: Ing. *Franco Bertellino*—Microbel

E' ben nota la difficoltà propria del mondo dell'acustica di ottenere dati affidabili relativamente alle caratteristiche acustiche dei prodotti.

Fra queste difficoltà emerge sicuramente quella relativa al **calcolo previsionale del comportamento fonoassorbente** dei prodotti tipici dell'acustica edilizia ed architettonica.

Il **coefficiente di assorbimento acustico**  $\alpha$  è definito, come noto, dal rapporto tra la potenza sonora assorbita e la potenza sonora incidente.

Il valore di  $\alpha$  rappresenta quindi la frazione di energia sonora assorbita da un determinato materiale e può variare fra 0, nel caso in cui tutta l'energia incidente è riflessa, e 1, nel caso in cui tutta l'energia incidente è assorbita. Pertanto, se il valore di  $\alpha$  è pari a 0,7 significa che il 70% dell'energia incidente sulla superficie del materiale è assorbita.

Per un medesimo materiale il valore di  $\alpha$  varia al variare delle frequenze e dell'angolo di incidenza dell'onda acustica, quindi i coefficienti di assorbimento acustico sono espressi in funzione della frequenza in banda d'ottava o 1/3 d'ottava.

Nelle schede tecniche fornite dal produttore di un prodotto (ove esistono), compare spesso il coefficiente di riduzione del rumore **NRC** (Noise Reduction Coefficient), il quale è calcolato mediando i valori di  $a_{sabin}$  alle frequenze di 250, 500, 1000 e 2000 Hz. In alternativa, è utilizzato il coefficiente di **assorbimento acustico ponderato** ( $a_w$ ) ottenuto mediante confronto con una curva di riferimento secondo il metodo indicato dalla norma **UNI EN ISO 11654**.

L'impiego di tali descrittori semplificati, seppur utili per un rapido confronto dei diversi materiali, non fornisce un adeguato supporto per la progettazione delle qualità acustiche di un ambiente confinato.

L'assorbimento acustico di un materiale avviene grazie alla conversione in calore di parte dell'energia incidente sul medesimo, anche se, nella realtà, tale meccanismo è certamente più complesso.

I principi attraverso cui un sistema assorbe energia sonora sono diversi e vengono generalmente suddivisi in tre classi:

- Porosità
- Risonanza di pannello
- Risonanza di cavità

(...segue)



**Rigidità  
dinamica**  
microbel @

# MR01

## Sistema Rigidità Dinamica

Sistema per la misura della rigidità dinamica in conformità allo standard  
**EN 29052-1**

Preziosissimo nella caratterizzazione dei materiali per l'acustica edilizia.

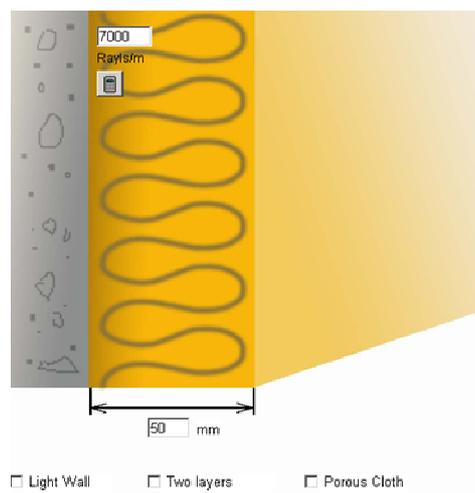


## Porosità

Volendo prevedere il comportamento fonoassorbente di prodotti occorre utilizzare teorie più o meno complesse a seconda della struttura del materiale, in quanto le prestazioni dei materiali fonoassorbenti porosi dipendono dalla struttura del materiale di cui sono costituiti.

Il coefficiente di assorbimento presenta un'ottima correlazione con la *resistenza al flusso d'aria* del materiale, che si può determinare sperimentalmente misurando la portata d'aria che attraversa un campione di materiale di geometria nota in funzione della differenza di pressione ad esso applicata.

L'assorbimento è legato alla velocità di spostamento delle particelle d'aria, che è nulla in corrispondenza della superficie riflettente e massima ad una distanza pari a  $\lambda/4$ : in pratica aumentando lo spessore  $s$  dello strato di materiale il fonoassorbimento si estende progressivamente verso valori minori di frequenza, come appare evidente dal seguente grafico:



I rivestimenti fonoassorbenti porosi possono essere realizzati con diverse modalità:

- stendendo sulla parete di base un rivestimento continuo, ad es. un intonaco realizzato miscelando ad un opportuno legante dei "fiocchi" di materiale poroso;
- applicando direttamente sulla parete di base pannelli in materiale fibroso o poroso;
- realizzando, con pannelli in materiale fibroso o poroso, un controsoffitto o una controparete con interposta intercapedine d'aria tra pannello e parete di base.

Dal punto di vista merceologico i materiali fonoassorbenti porosi possono essere classificati in:

- materiali cellulari di origine minerale: vetro cellulare
- materiali cellulari sintetici: poliuretano espanso
- materiali fibrosi di origine vegetale: fibre in legno mineralizzato
- materiali fibrosi di origine minerale: lana di vetro, lana di roccia
- materiali fibrosi sintetici: fibre poliestere



## Risonanza di pannello

I pannelli vibranti sono costituiti da lastre sottili (tipicamente in legno o gesso) fissate alla parete di base con una struttura di sostegno che le vincola perimetralmente; tra pannello e parete di base si realizza un'intercapedine di spessore pari ad alcune decine di millimetri.

Le onde sonore incidenti mettono in vibrazione il pannello, che reagisce per *risonanza di membrana*; l'effetto di fonoassorbimento è determinato dalla dissipazione dell'energia di vibrazione dovuta sia allo smorzamento del materiale del pannello, sia all'attrito viscoso nell'intercapedine d'aria.

La frequenza di risonanza del pannello,  $f_r$ , si calcola con le seguenti equazioni:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{MC}}$$

dove:

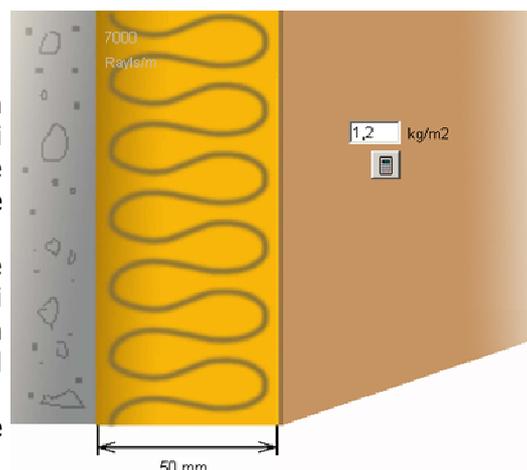
$M$  = massa del pannello (kg)

$C$  = cedevolezza del pannello (m/N)

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{M_s H}}$$

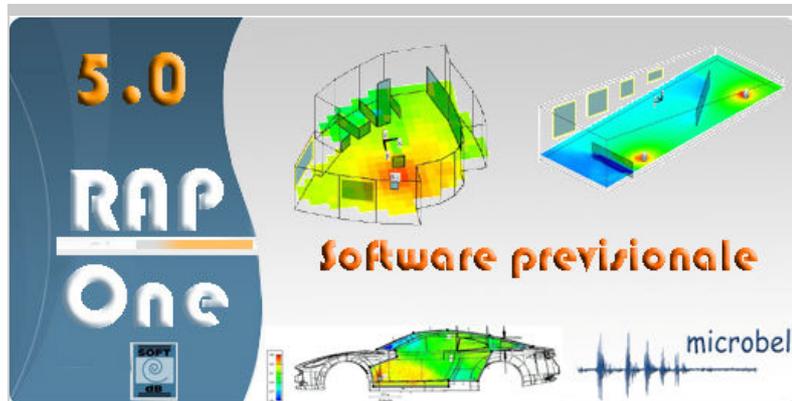
dove:

$M_s$  = massa per unità di superficie (kg/m<sup>2</sup>)



Date le dimensioni caratteristiche dei pannelli, tipicamente dell'ordine del metro, le frequenze proprie di vibrazione del pannello si situano nella parte inferiore del campo dell'udibile

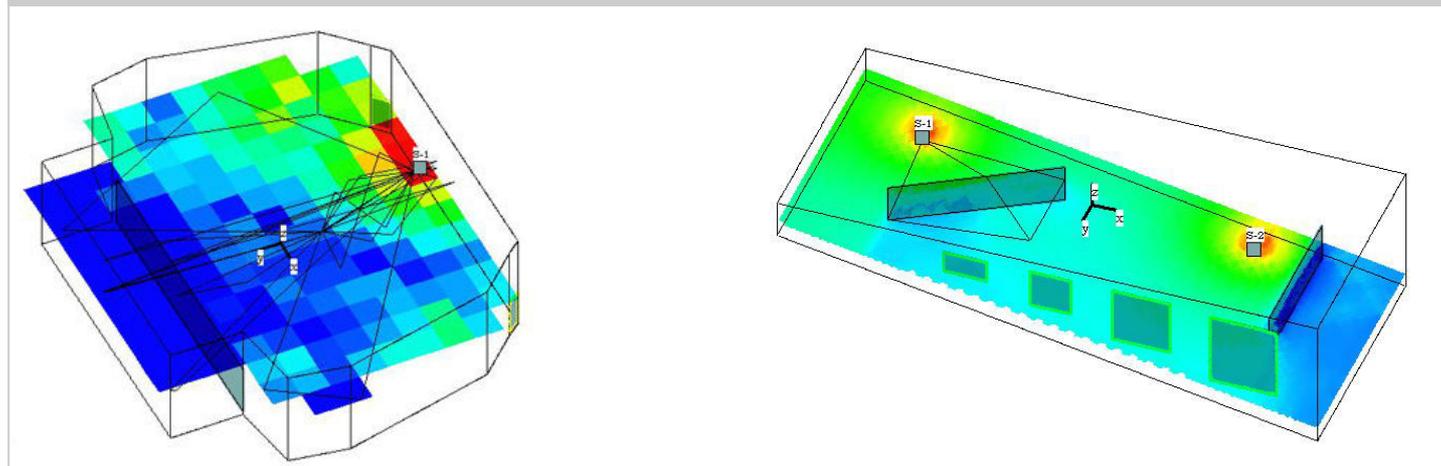
Pertanto i pannelli vibranti sono efficaci nella correzione acustica alle basse frequenze.



## Software previsionale Ambienti Chiusi

**RAP-ONE** permette di definire rapidamente e con precisione i livelli sonori in ogni punto di un ambiente così come contributo energetico al livello sonoro dovuto a ciascuna sorgente. In pochi minuti è possibile ottenere una completa mappa acustica dell'ambiente.

**RAP-ONE** è inoltre in grado di fornire una rappresentazione dei livelli sonori sulla base di livelli misurati e di calcolare il livello di esposizione di addetti collocati in una o più posizioni all'interno dell'ambiente.



## Risonanza di cavità

I pannelli forati sono costituiti da lastre sottili, dotate di opportuna foratura, posate ad una distanza pari ad alcune decine di millimetri dalla parete di base, in modo da realizzare un insieme di risonatori di Helmholtz.

Le onde sonore incidenti mettono in vibrazione i volumetti d'aria retrostanti i fori, per cui il pannello reagisce per *risonanza di cavità*; l'effetto di fonoassorbimento è determinato dalla dissipazione dell'energia di vibrazione per attrito viscoso nell'aria.

I pannelli forati determinano un assorbimento selettivo, che si localizza alla frequenza propria del risonatore,  $f_r$

$$f_r = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL_e}}$$

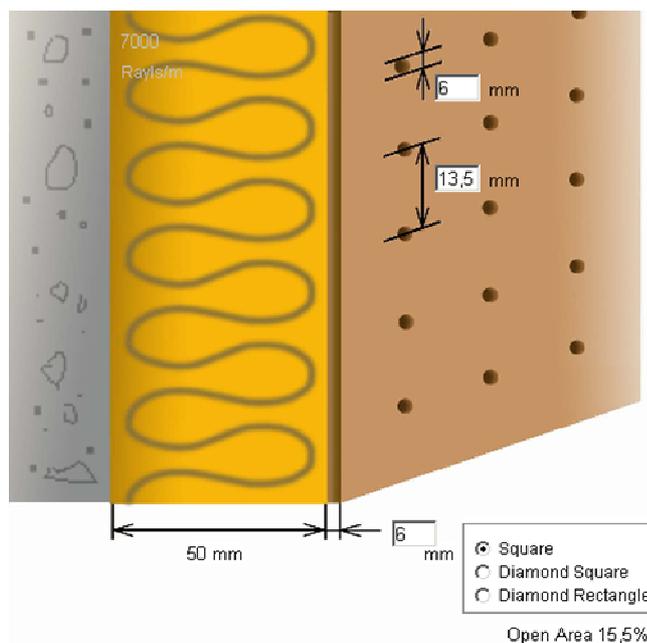
dove:

$D$  = diametro del foro

$S$  = area del foro

$V$  = volume d'aria retrostante il foro

$L$  = spessore del pannello



La frequenza di risonanza può anche essere espressa in funzione dell'area complessiva e della percentuale di foratura del pannello attraverso l'equazione:

$$f_r = 5,4 \sqrt{\frac{P}{HL_e}}$$

$$P = 100 \frac{nS}{S_p} \quad (\%)$$

dove:

$H$  = spessore dell'intercapedine

$P$  = percentuale di foratura

$S_p$  = area complessiva del pannello

$n$  = numero di fori



Organizzato da:  
**BolognaFiere**



“Qualità e Sicurezza:  
fattori di una rinnovata stagione economica”



# AMBIENTE LAVORO

12° Salone della qualità e sicurezza sul lavoro

**BOLOGNA**  
Quartiere Fieristico

**10•12 giugno 2009**

Ore 9,00-18,30 • **Ingressi:** Ovest Costituzione e Nord (apertura reception ore 8.30)

**INGRESSO RIDOTTO**  
€ 10,00 (anziché € 20,00)

Il presente invito è offerto da:

**MICROBEL SRL**  
Corso Primo Levi, 23/B  
10098 Rivoli (TO)

**senaf**  
MESTIERE FIERE  
Gruppo + tecnologia nuova

**PAD. 22 Stand B52**

Invito da presentare alla reception per ottenere titolo di ingresso valido per una persona e per tutti gli organi di manifestazione. Il personale dirigente dell'Ente pubblico potrà usufruire dei percorsi preferenziali dalla normativa vigente. Ai partecipanti, su richiesta, verrà rilasciato attestato di partecipazione.

Segreteria organizzativa:  
Via di Corticella, 18173  
40128 Bologna (Italy)  
Tel. +39 051 326511  
Fax +39 051 324647  
info@senaf.it  
www.ambientelavoro.it

**COMPILARE IN STAMPATELLO  
IN TUTTE LE SUE PARTI  
E CONSEGNARE ALLE BIGLIETTERIE**

**ATTACCHI qui il suo  
BIGLIETTO da VISITA**

Nome \_\_\_\_\_  
Cognome \_\_\_\_\_  
E-mail \_\_\_\_\_

Azienda o Ente \_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_  
Via \_\_\_\_\_ Città \_\_\_\_\_  
CAP \_\_\_\_\_ Prov. \_\_\_\_\_ Paese \_\_\_\_\_  
Tel. \_\_\_\_\_ Cellulare \_\_\_\_\_

**Chi**

Nome \_\_\_\_\_  
Cognome \_\_\_\_\_  
E-mail \_\_\_\_\_

Azienda o Ente \_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_  
Via \_\_\_\_\_ Città \_\_\_\_\_  
CAP \_\_\_\_\_ Prov. \_\_\_\_\_ Paese \_\_\_\_\_  
Tel. \_\_\_\_\_ Cellulare \_\_\_\_\_

**Dove**

Associazioni e Sindacati \_\_\_\_\_  
Agricoltura \_\_\_\_\_  
Commercio: Dettaglio e ingrosso \_\_\_\_\_  
Commercio: Grande distribuzione \_\_\_\_\_  
Enti Locali \_\_\_\_\_

Industria (specificare settore) \_\_\_\_\_  
Organismi locali (specificare) \_\_\_\_\_  
Organismi nazionali (specificare) \_\_\_\_\_  
Servizi \_\_\_\_\_  
Servizio Sanitario Nazionale \_\_\_\_\_  
Altro (specificare) \_\_\_\_\_

## SCHEDA di REGISTRAZIONE

**Come**

Adetto Servizio Prevenzione e Protezione (ASPP) \_\_\_\_\_  
Addetto Organismi di vigilanza \_\_\_\_\_  
Agente e rappresentante \_\_\_\_\_  
Consulente \_\_\_\_\_  
Datore di lavoro \_\_\_\_\_  
Dirigente \_\_\_\_\_  
Medico del lavoro \_\_\_\_\_

Preposto \_\_\_\_\_  
Psicologo del lavoro \_\_\_\_\_  
Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS) \_\_\_\_\_  
Responsabile acquisti \_\_\_\_\_  
Responsabile ambiente \_\_\_\_\_  
Responsabile commerciale \_\_\_\_\_  
Responsabile produzione \_\_\_\_\_

Responsabile risorse umane \_\_\_\_\_  
Responsabile Servizio Prevenzione e Protezione (RSPP) \_\_\_\_\_  
Responsabile sicurezza stradale \_\_\_\_\_  
Studente \_\_\_\_\_  
Tecnico della Prevenzione \_\_\_\_\_  
Vigile del Fuoco \_\_\_\_\_  
Altro (specificare) \_\_\_\_\_

ATTIVITÀ ESERCITATA

**Perché**

Sicurezza \_\_\_\_\_  
Igiene \_\_\_\_\_  
Protezione personale \_\_\_\_\_

Qualità del lavoro \_\_\_\_\_  
Ambiente \_\_\_\_\_  
Servizi \_\_\_\_\_

Promozione e gestione \_\_\_\_\_  
Altro (specificare) \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

**I DATI SERVONO COME BASE STATISTICA: INDICARE AL MASSIMO DUE PREFERENZE**

Nota informativa art. 13 D.lgs. 196/03: BolognaFiere S.p.A. - Bologna e Senaf s.r.l. - Via Eritrea 27/A - Milano, titolari del trattamento, garantiscono che i dati da Voi forniti attraverso la compilazione del campo sopra riportato, verranno comunicati a società da noi incaricate e servono esclusivamente per le manifestazioni organizzate da BolognaFiere e Senaf s.r.l. e per la gestione delle stesse. I dati non saranno in nessun caso ceduti a terzi né saranno oggetto di trattamento successivo. La presente scheda espone il consenso al trattamento indicato. Il trattamento che potete scegliere in ogni momento di trattamento o oggetto, nonché esercitare tutti i diritti di cui all'art.17 del D.lgs. 196/03 di accessi, rettifica, aggiornamento e cancellazione, comunicandolo a Senaf s.r.l. tramite telefono (051 324647) o e-mail: info@senaf.it



10098 Rivoli (TO) Corso Primo Levi, 23/B tel. 011.953.75.64 fax 011.955.77.38  
http://www.microbel.it info@microbel.it

Norsonic



# PROMOZIONE

## acustica edilizia e ambientale

### Kit



### ambientale



### Sorgenti normalizzate



## Ni 140

### Software previsionale in acustica edilizia



**Microbel SondPro - Calcolo previsionale elementi - Risorse**

**Microbel SondPro - Calcolo previsionale edifici - secondo modulo parete-petra**

**Risultati calcolo - Isolamento per via aerea**

Elemento	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>22</sub>
DS	0	0	0	0	62,4
DS1	0,7	21	48	80,7	4,2
DS2	0,7	21	48	80,7	2,1
DS3	0,7	21	48	80,7	2,1
DS4	0,7	21	48	80,7	2,1
DS5	0,7	21	48	80,7	2,1
DS6	0,7	21	48	80,7	2,1
DS7	0,7	21	48	80,7	2,1
DS8	0,7	21	48	80,7	2,1
DS9	0,7	21	48	80,7	2,1
DS10	0,7	21	48	80,7	2,1
DS11	0,7	21	48	80,7	2,1
DS12	0,7	21	48	80,7	2,1
DS13	0,7	21	48	80,7	2,1
DS14	0,7	21	48	80,7	2,1
DS15	0,7	21	48	80,7	2,1
DS16	0,7	21	48	80,7	2,1
DS17	0,7	21	48	80,7	2,1
DS18	0,7	21	48	80,7	2,1
DS19	0,7	21	48	80,7	2,1
DS20	0,7	21	48	80,7	2,1

**R<sub>w</sub> = 67 dB**  
(secondo EN 12354-1)

Verifica DPNH S/12/197  
Categoria A1: edifici adibiti a residenza o assimilabili  
Valore richiesto: >> 50 dB **VERIFICATO**

Software previsionale per il calcolo acustico di edifici e di elementi di edifici

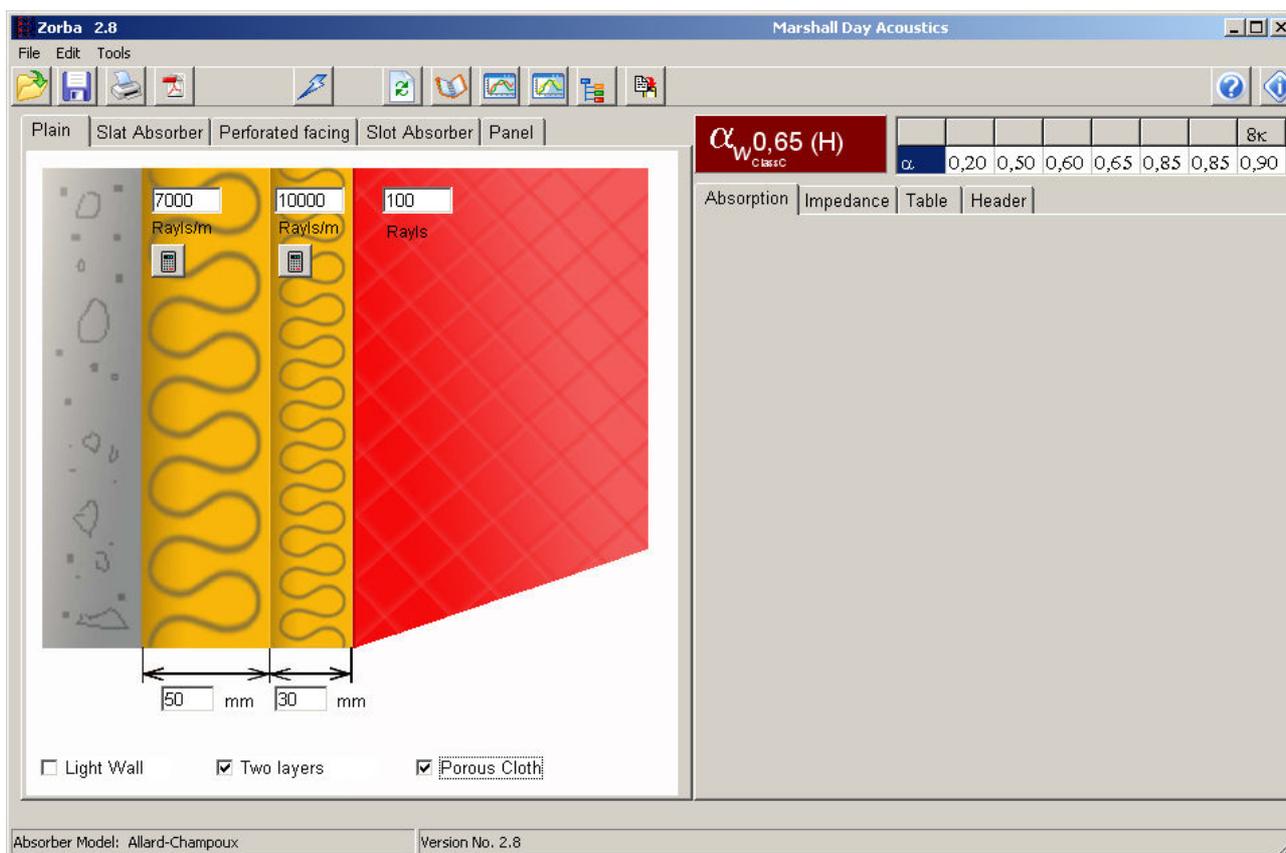
## Il software ZORBA

Il software, unico al mondo nel suo genere, permette di prevedere con estrema immediatezza il comportamento acustico di materiali che lavorano per effetto di porosità, risonanza di pannello e risonanza di cavità.

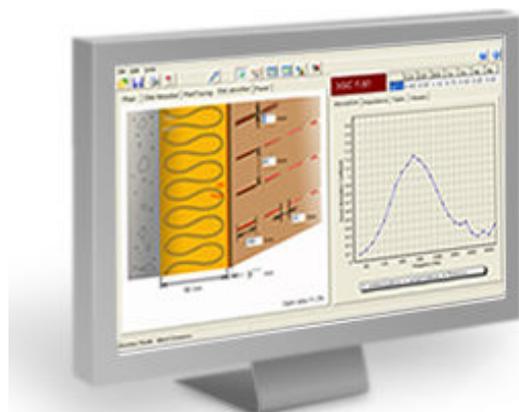
Rispetto alle relazioni matematiche presentate sopra ZORBA permette di valutare situazioni molto complesse, come ad esempio:

### **caso 1:** materiali fibrosi stratificati con sovrapposto strato di velovetro

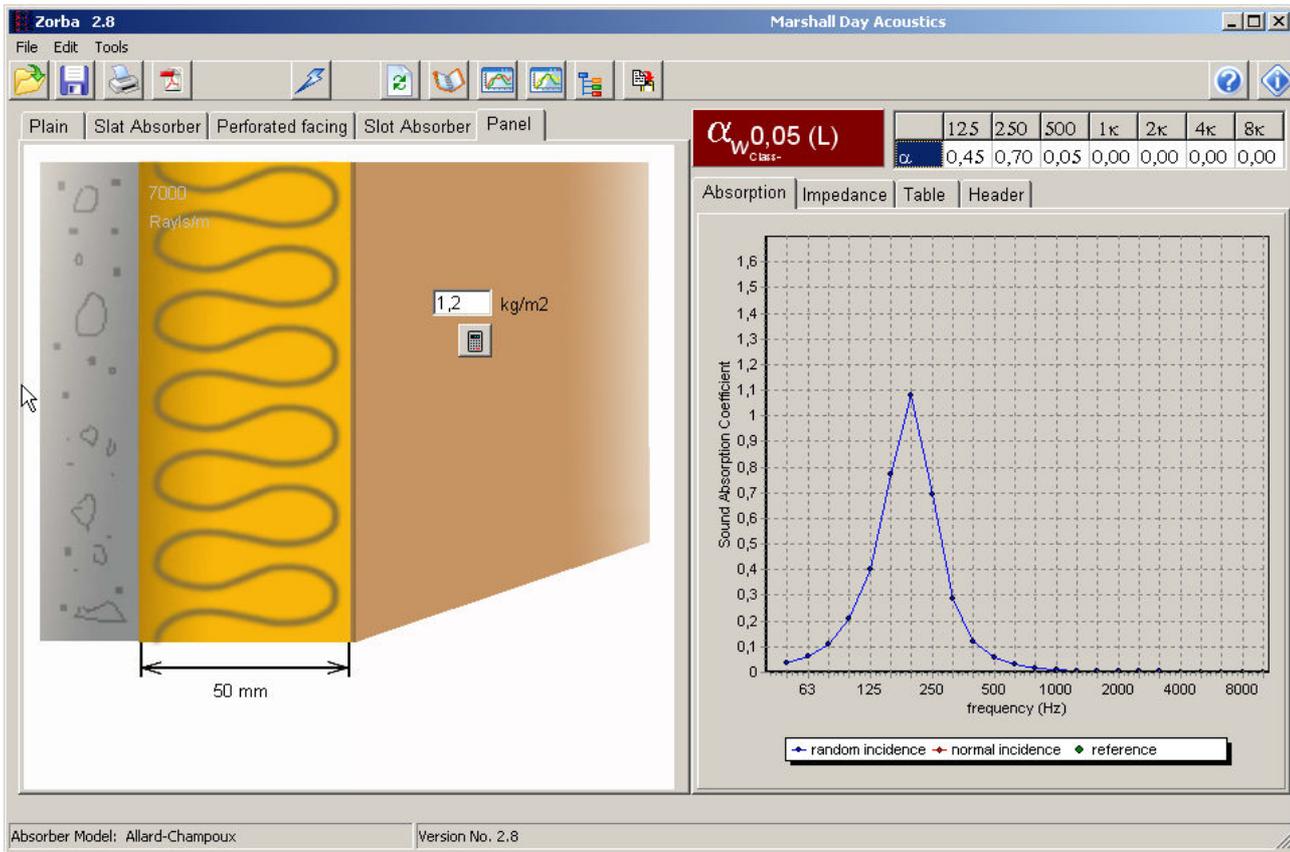
In questo caso è possibile prevedere il comportamento attribuendo a ciascuno strato una diversa resistenza al flusso (fra l'altro la resistenza al flusso è calcolabile dal software stesso),



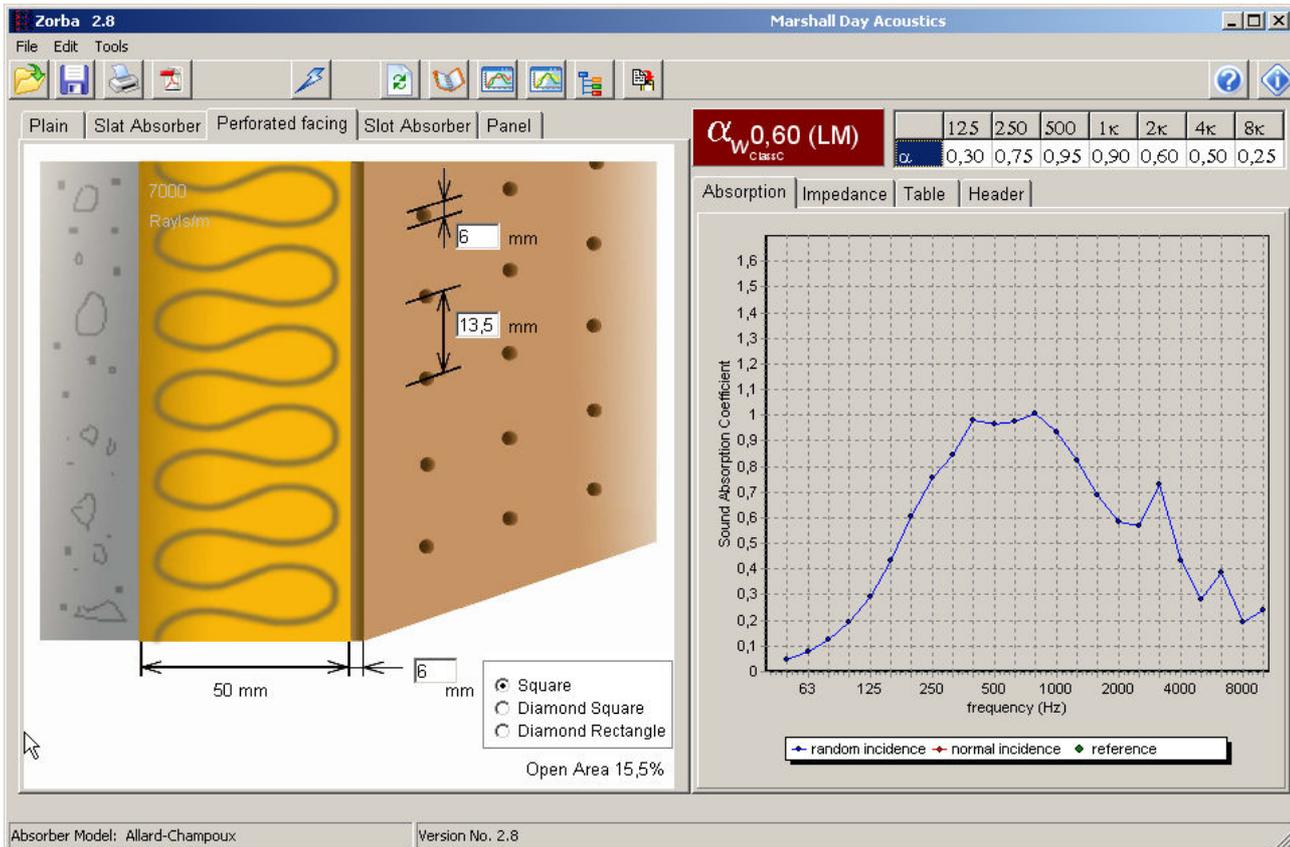
**ZORBA**  
sound absorption prediction software



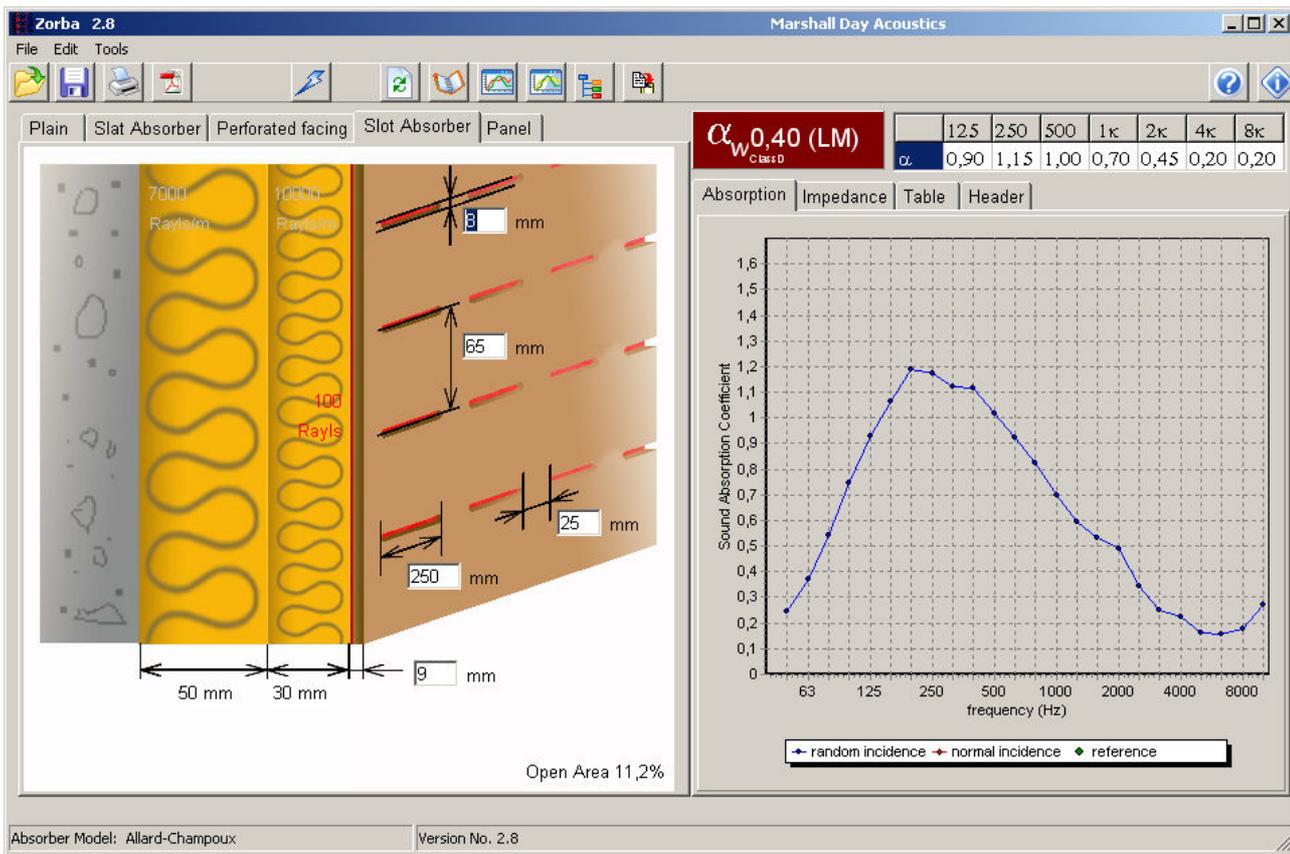
## Caso 2: pannello davanti a materiale poroso



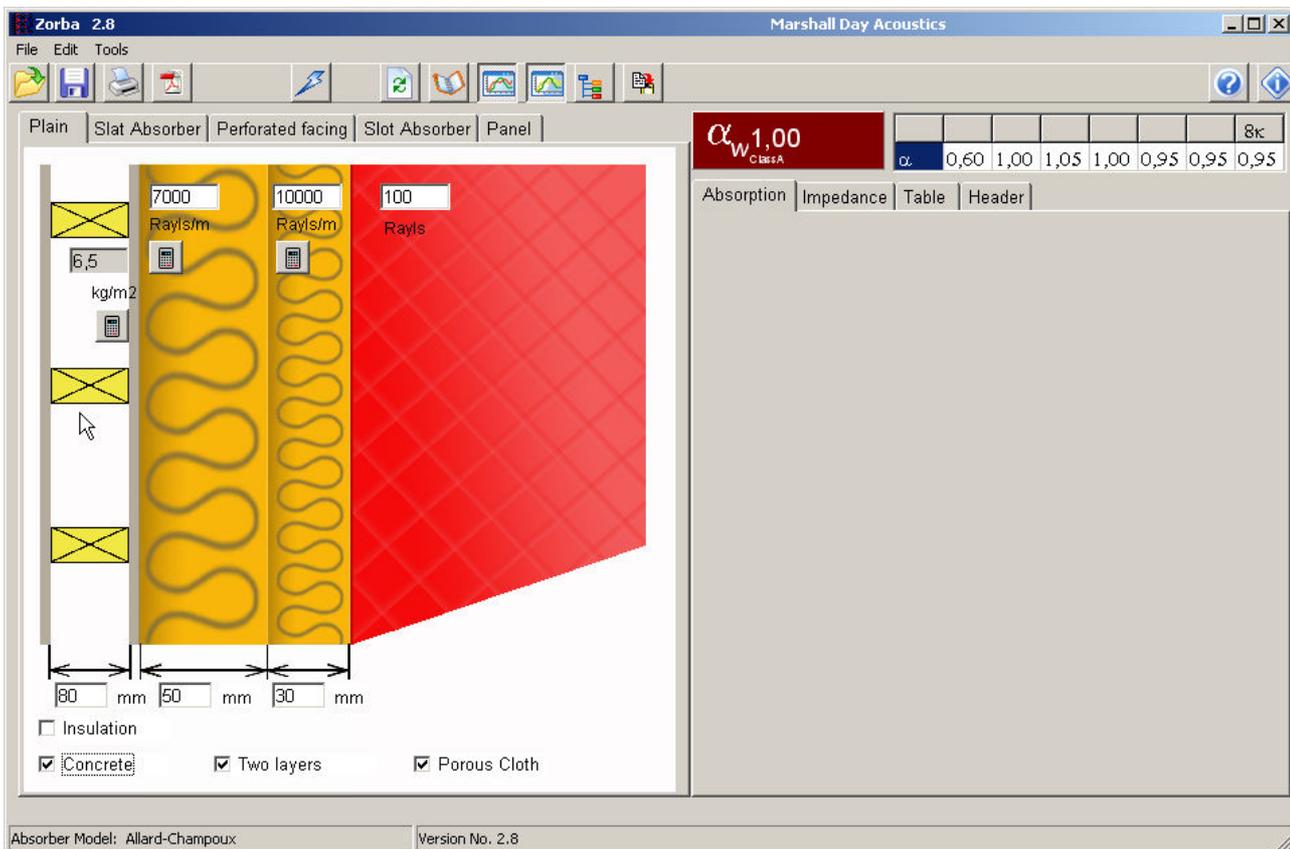
## Caso 3: pannello forato davanti a materiale poroso



### Caso 4: pannello con forature a slot davanti a materiale poroso stratificato



### Caso 5: pannello poroso stratificato con intercapedine retrostante



## VALIDAZIONE DEL MODELLO

Zorba utilizza per i propri calcoli svariati modelli matematici, di cui riportiamo alcuni riferimenti.

*Allard and Champoux, JASA (Journal of the Acoustical Society of America Vol 91 (1992) )*

*Delany and Bazley Applied Acoustics Vol 3 (1970)*

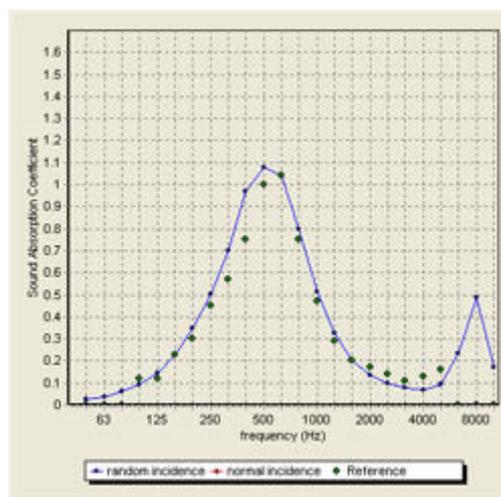
*Mechel, Acustica Vol 35 (1976)*

*Beranek and Rayleigh*

ZORBA è stato validato tramite il confronto con dati sperimentali. Riportiamo di seguito alcuni confronti.

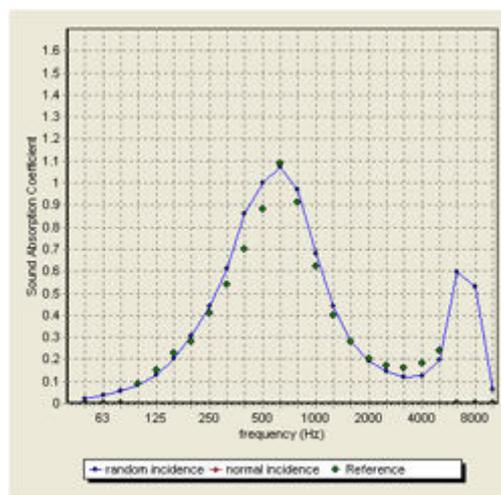
### Esempio 1: pannello perforato davanti a materiale assorbente

Porous Layer:  
Width: 25mm  
Flow Resistivity: 7000 Rayls/m  
Facing:  
Width: 17mm  
Perforation Diameter: 8mm  
Perforation Pitch: 27mm  
Open Area: 6.9%



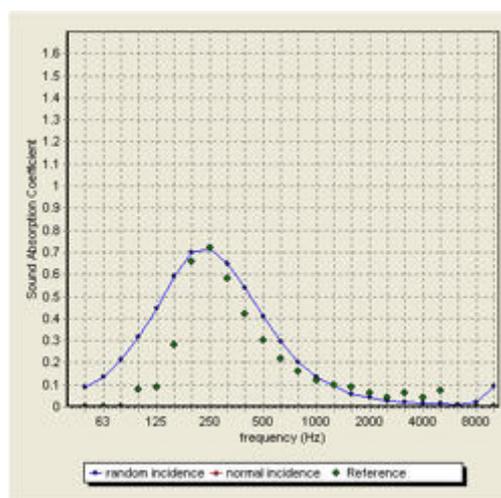
### Esempio 2: pannello forato con slot davanti a material assorbente

Porous Layer:  
Width: 25mm  
Flow Resistivity: 7000 Rayls/m  
Facing:  
Width: 17mm  
Slot width: 8mm  
Slot vertical pitch: 65mm  
Slot length: 250mm  
Slot horizontal pitch: 25mm  
Open Area: 11%



### Pannello piano con forature lineari e material fibroso retrostante

Porous Layer:  
Width: 30mm  
Flow Resistivity: 16768 Rayls/m  
Facing:  
Width: 13mm  
Slot width: 1mm  
Slat width: 70mm  
Open Area: 1.4%



*Productivity*  
*Productivity*

**Soft dB**



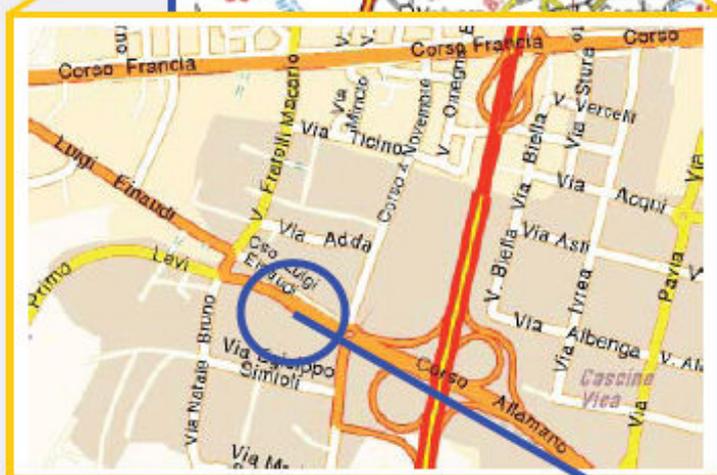
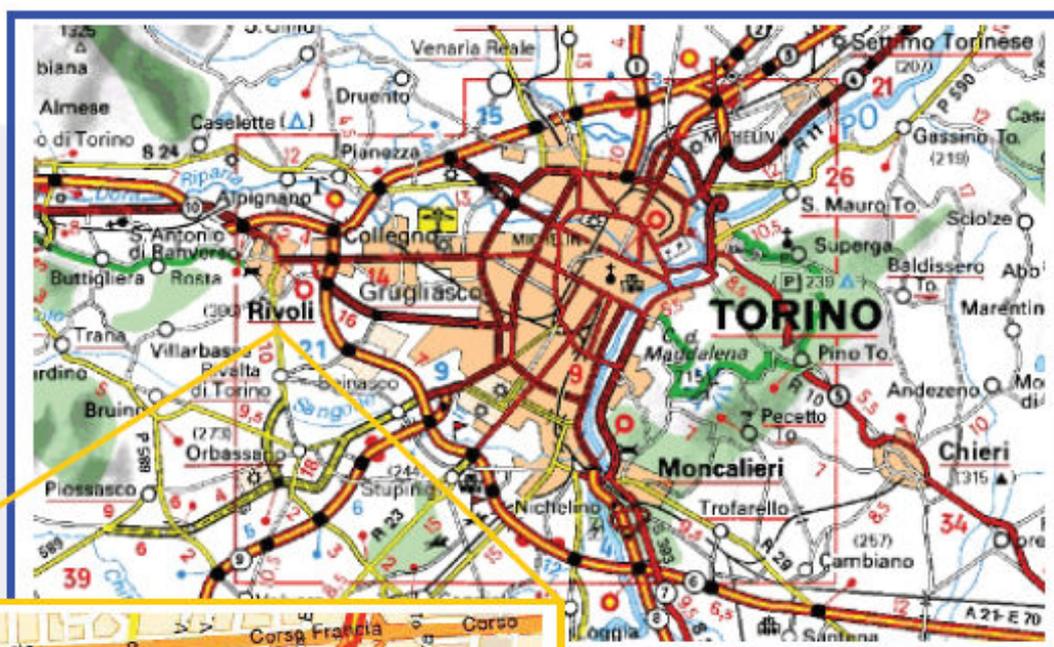
*Privacy*  
*Privacy*

**smartSMS** THE INTELLIGENT SOUND MASKING SYSTEM





## COME RAGGIUNGERCI



### Micro news

A cura della redazione web di microbel s.r.l.  
Periodico di informazione tecnico-commerciale  
Novità, normativa, prodotti nel mondo dell'acustica.  
ABBONATI alla MICRONEWS [info@microbel.it](mailto:info@microbel.it)



Cso Primo Levi, 23b - 10098 Rivoli (TO)  
Tel.+39 011 9537564 - Fax +39 011 9557738  
[www.microbel.it](http://www.microbel.it) - [info@microbel.it](mailto:info@microbel.it)