

RAMSETE

Software di previsione acustica

Manuale dell'Utente e Manuale Teorico

Versione 2.RC4

Febbraio2002

GENESIS

Software e Consulenze Acustiche

Sommario

Sezione 1

Manuale Utente

Sezione 2

Manuale teorico

Questo manuale è stato scritto da Paolo Galaverna con la collaborazione di Marzia Giabbani e la supervisione di Angelo Farina e di Guido Truffelli.

Aggiornato al 20 marzo 2002.

Windows ed Excel sono marchi registrati dalla MICROSOFT CORPORATION

Surfer è un marchio registrato dalla GOLDEN SOFTWARE

AutoCAD è un marchio registrato dalla AUTODESK INC.

Modeler è un marchio registrato dalla BOSE CORPORATION

Paint Shop è un marchio registrato dalla JASC INC.

TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI A NORMA DI LEGGE ED A NORMA DELLE CONVENZIONI INTERNAZIONALI. NESSUNA PARTE DI QUESTO MANUALE PUÒ ESSERE RIPRODOTTA CON SISTEMI ELETTRONICI, MECCANICI O ALTRO, SENZA L'AUTORIZZAZIONE SCRITTA DELL'AUTORE.

SOMMARIO

Il presente documento vuole essere uno strumento di supporto per chi si appresta ad affrontare una consulenza acustica utilizzando Ramsete. Durante la sua realizzazione è sorta la necessità di rendere disponibile all'utente non solo un manuale tecnico per l'utilizzo del software, ma qualcosa di più, ovvero un manuale che si addentrasse nella teoria, nonché esperienza, dell'acustica. Pertanto il documento risulta essere diviso in due sezioni. Nella prima, il 'Manuale tecnico', sono forniti gli strumenti per utilizzare Ramsete; rispetto la precedente versione non si è voluto descrivere ogni singolo comando, ogni voce di menu, o le modalità di disegno di una geometria. A ciò supplisce un 'Help on line' che in ogni momento permette di leggere la funzionalità di ogni comando e l'esperienza degli utenti che oggi sanno meglio destreggiare gli strumenti informatici. La prima sezione descrive quindi la filosofia del modello, la sua struttura, le sue potenzialità e sottolinea alcuni punti di attenzione ed alcuni 'trucchi', ma soprattutto è composto da un'ampia gamma di esempi che potranno essere la base su cui operare.

Nella seconda sezione, 'Manuale teorico', sono state fornite sia informazioni di tipo teorico, sia di tipo pratico, che sono alla base del modello e che spesso possono essere di supporto per la comprensione di alcuni fenomeni e per l'utilizzo di strumenti informatici quali Ramsete.

MANUALE TECNICO

1. INTRODUZIONE

Ramsete è un pacchetto software avanzato per la simulazione dei fenomeni acustici basato sull'algoritmo di tracciamento delle piramidi. Le sue caratteristiche ne fanno uno strumento adatto sia allo studio di sale da concerto, auditorium e teatri, sia a quello dei trattamenti acustici in campo industriale. Permette inoltre valutazioni dell'impatto ambientale di sorgenti di rumore in esterno su aree con raggio di 100 m ('Validation of the pyramid tracing algorithm for sound propagation outdoors: comparison with experimental measurements and with the ISO/DIS 9613 standards', A. Farina).

E' stato realizzato modularmente per essere aperto ad aggiornamenti futuri ed essere facilmente utilizzabile anche da non esperti; in tal modo inoltre è possibile rispondere ad esigenze particolari degli utenti qualora ne facciano richiesta. Ramsete, progettato in ambiente Windows, per l'utilizzo di un'interfaccia utente di alto livello, è composto dai seguenti moduli complementari tra loro.

- Source Manager (SM): permette di creare alcune tipologie di sorgenti sonore o di utilizzare quelle già presenti nella banca dati
- Material Manager (MM): permette di creare alcune tipologie di materiali o di utilizzare quelli già presenti nella banca dati (caratteristiche di assorbimento ed isolamento acustico)
- Ramsete Cad (RC): permette di creare geometrie tridimensionali dell'ambiente che si vuole studiare, o di caricare file già predisposti in formato .dxf
- Ramsete Trace (RT): algoritmo vero e proprio di tracciamento delle piramidi
- Ramsete View (RV): utilizzando come input i file creati da RT permette la visualizzazione numerica dei risultati ottenuti.
- Ramsete Audio Converter: converte file di diversa origine in file di altra estensione.
- Ramsete Convolver: sistema di convoluzione per l'auralizzazione.

2. NUOVE CARATTERISTICHE DELLA VERSIONE 2.0

Sulla base dei pareri e dei suggerimenti acquisiti da parte degli utenti, Ramsete è stato aggiornato, in modo da rispondere alle varie esigenze emerse, quali:

Ramsete CAD

- funzione di rotazione
- coefficiente di assorbimento e di isolamento visibili direttamente dal CAD
- ricerca e sostituzione (materiali)
- possibilità di disegnare tetti e superfici di forma arbitraria
- undo/redo
- rotazione attorno ad un punto
- possibilità di definire una griglia di ascoltatori
- possibilità di definire delle superfici mono-permeabili per meglio simulare le sorgenti industriali
- possibilità di definire sorgenti lineari
- tool di disegno tubi
- computo metrico materiali
- possibilità di editare una nota esplicativa per ciascun file
- Source Manager
- possibilità di importare file di diversi formati
- possibilità di disegnare su grafico polare la direttività di un altoparlante

Material Manager

- conversione automatica fra α -Sabine e α -Ramsete
- visualizzazione in forma grafica di tutti i coefficienti
- possibilità di introduzione del coefficiente di diffusione

Ramsete Trace

- possibilità di definire delle superficie mono permeabili per meglio simulare le sorgenti industriali
- cammini multipli diffrazione
- calcolo della diffusione

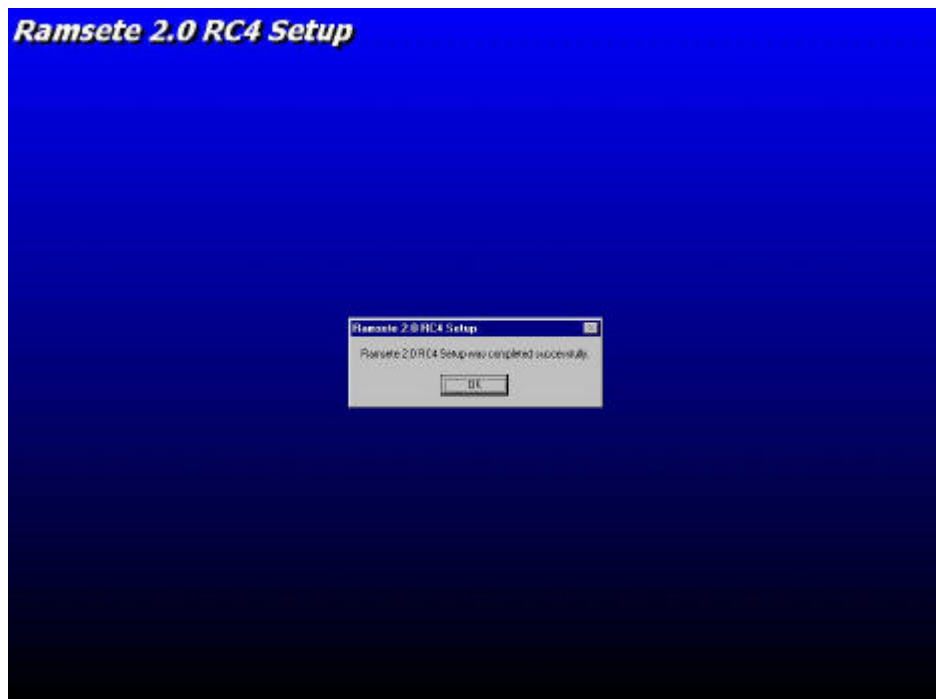
Ramsete View

- ottimizzazione dei parametri α e β
- visualizzazione risposta all'impulso
- somma dei file risultati
- mappatura con Surfer per Windows
- print della parte di schermo contenuta nel riquadro
- visualizzazione del cammino dei raggi
- AudioConverter
- Conversione file risultati ramsete in file formato wav
- convoluzione fra due file wav (auralizzazione, ecc..)
- Convolver

3. INSTALLAZIONE DI RAMSETE

Per l'installazione di Ramsete è necessario acquisire dal proprio distributore la chiave di protezione registrata a proprio nome. Si procede quindi come sotto esposto:

- Inserire nella porta seriale del PC la chiave di Ramsete ('dongle')
- Acquisire l'eseguibile (al sito internet <http://www.ramsete.com>)
- Lanciare l'eseguibile (Ramsete2RC4.exe): si avvia un programma autoscompattante che esegue tutte le operazioni necessarie all'installazione. Sullo schermo sarà visualizzata una schermata riportante la scritta 'Wzip Self Extractor' che avvisa dell'avvio della procedura. Dopo pochi istanti il sistema richiederà la password che sarà stata preventivamente acquisita dall'utente.
- Inserire la password
- Qualora sia stato avviato il processo di installazione mentre erano attive altre applicazioni un messaggio ricorderà di chiuderle.
- Scegliere la directory finale di installazione del programma (default: c:\programmi\Ramsete2\); il sistema farà una verifica dello spazio disponibile su disco
- Viene richiesto il nome da attribuire all'applicazione (default: Ramsete 2.0)
- Inizia il procedimento vero e proprio di trasferimento su disco di quanto previsto dal programma autoscompattante; qualora sia richiesto di mantenere file già esistenti è possibile dare risposta positiva.



Setup Surfer per Ramsete

Ramsete può anche utilizzare il software Surfer per una migliore resa grafica delle mappe. Qualora questo programma sia stato acquistato, di seguito si illustrano le semplici operazioni di installazione.

1. Lanciare l'eseguibile
2. Assicurarsi che siano chiuse tutte le altre applicazioni
3. Maschera di Windows, cliccare su Next
4. Maschera relativa alla licenza: cliccare su Yes
5. Inserire il serial number e cliccare su Next
6. Scegliere la directory di installazione (default: c:\programm\golden software\surfer), cliccare su Next
7. Scegliere il tipo di installazione (typical, compact, custom)
8. Scegliere il nome della cartella di installazione (default: GSS7)
9. Registrazione

Requisiti del sistema

Il software può essere installato su qualsiasi personal computer con S.O. Win 98, Nt, Win 2000 o Win XP e con spazio libero minimo di 50 Mb.

Importante

Per il funzionamento del software è necessario impostare i caratteri inglesi (USA o UK).

In caso di upgrade del software, saranno sostituiti tutti i file contenuti nella directory esistente; pertanto si dovrà porre particolare attenzione al file dei materiali e delle sorgenti qualora siano stati arricchiti rispetto al database fornito con il programma.

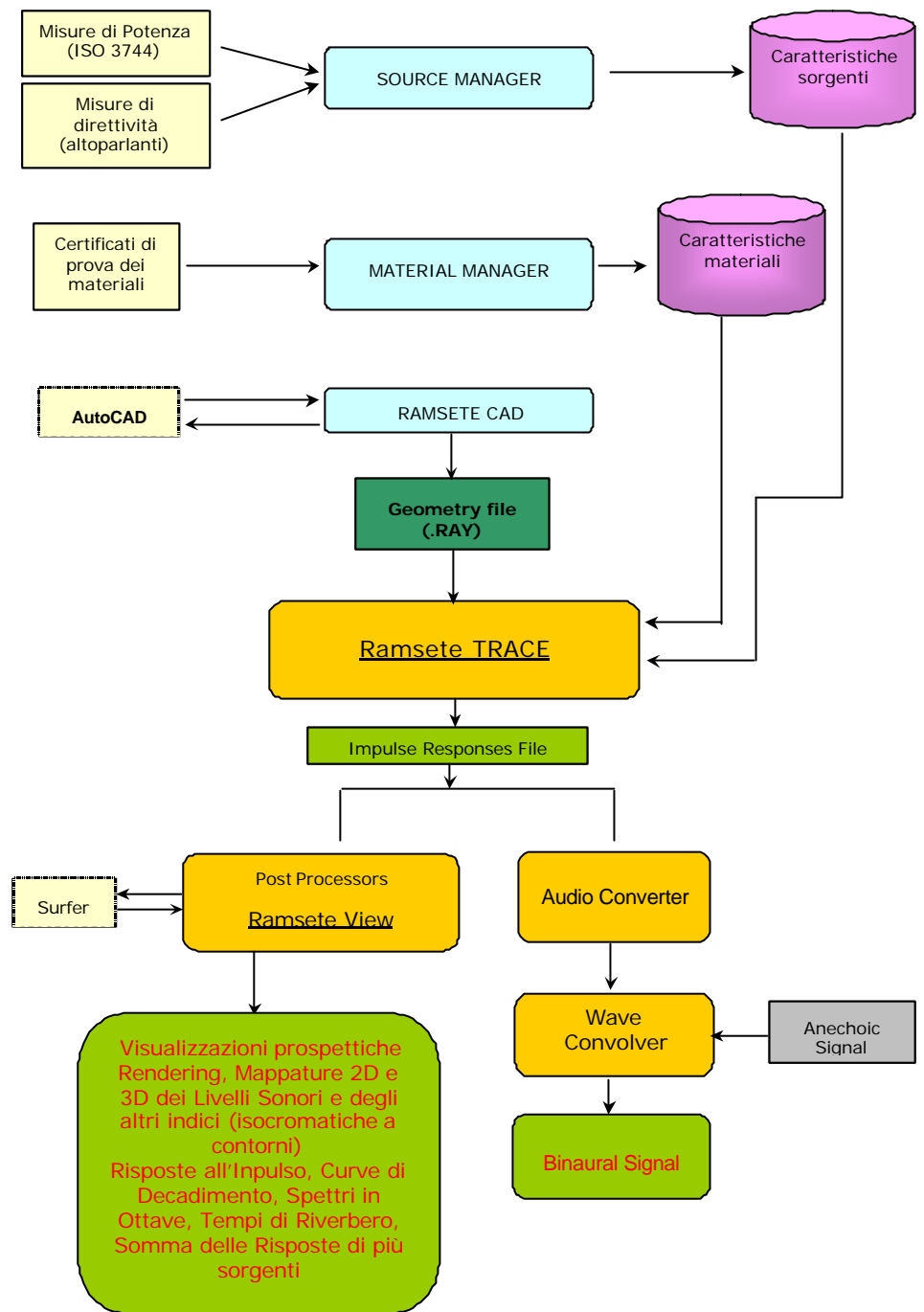
4. STRUTTURA DEL PACCHETTO E SUO UTILIZZO

Prima di processare qualsiasi modello è essenziale la completa definizione dei parametri di input del modello stesso, ovvero:

1. Geometria dell'ambiente da studiare
2. Materiali di cui è composto
3. Ubicazione e tipologia delle sorgenti
4. Ubicazione degli ascoltatori

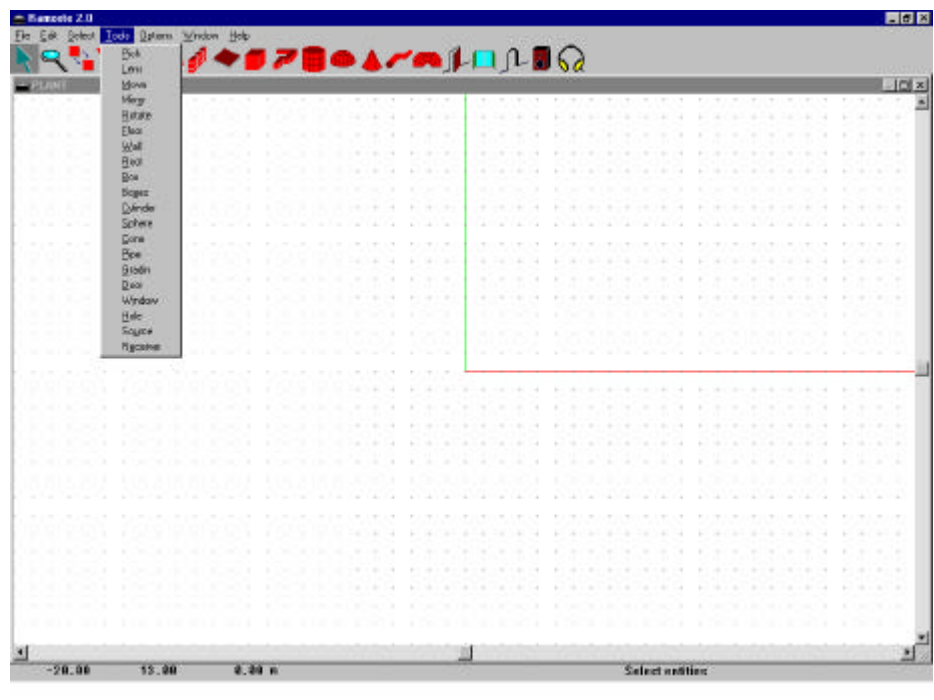
Ramsete rende quindi disponibili una serie di strumenti e di database che supportano l'utente nella definizione di quanto sopra esposto; ovvero fornisce un ambiente di disegno della geometria molto simile ad un CAD, fornisce un database di materiali esistenti che può essere modificato ed arricchito dall'utente stesso, fornisce un database di sorgenti di rumore che, come il precedente, può essere modificato ed adeguato alle esigenze.

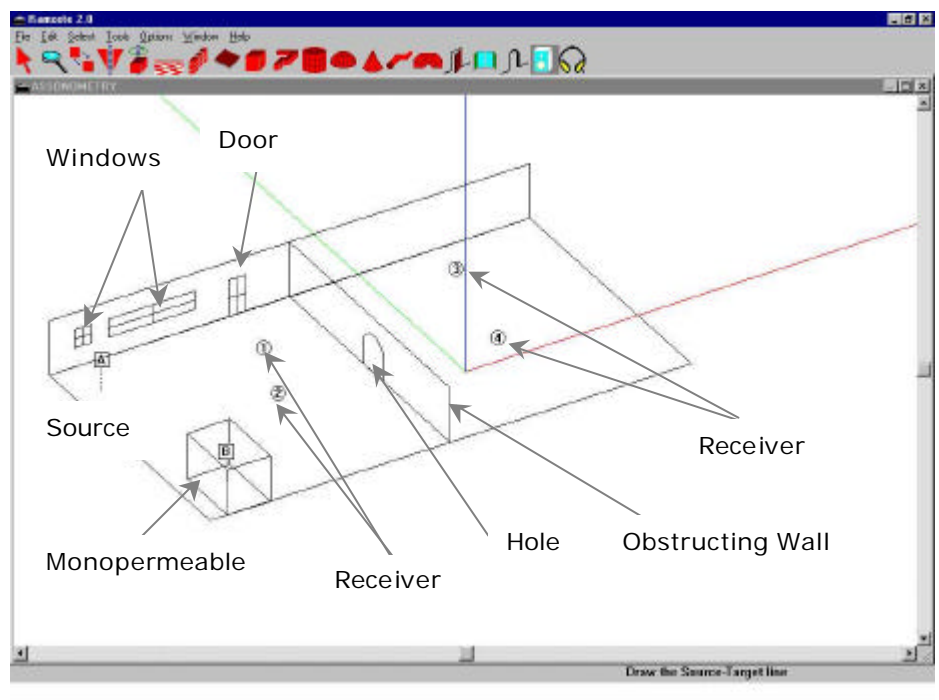
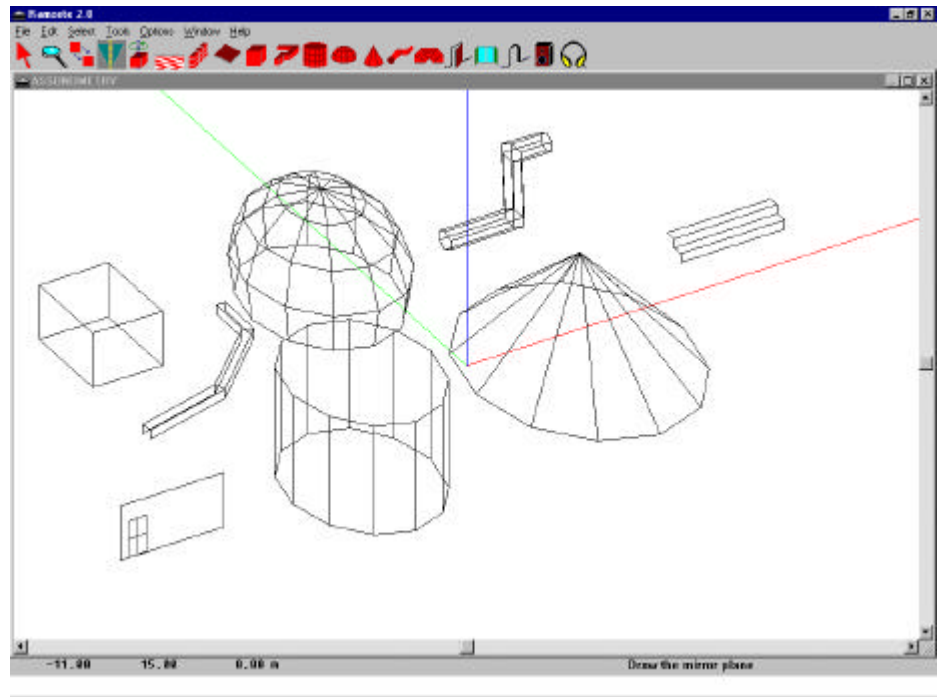
Di seguito si riporta la struttura funzionale di Ramsete, che come anticipato, è a blocchi.



4.1. Ramsete CAD

Questo programma è un vero e proprio CAD per la creazione di geometrie tridimensionali che accetta in ingresso anche disegni realizzati con AutoCAD (.dxf). Consente di lavorare contemporaneamente su più finestre, con vista in pianta, sezioni ed assonometria (tutti i comandi per la gestione delle diverse finestre fanno capo al comando 'Window'). Inoltre sono disponibili una serie di tool predefiniti per velocizzare il disegno (le icone sotto i menu dei comandi), da sinistra verso destra: la selezione di un oggetto, la lente di ingrandimento, lo spostamento, l'immagine speculare, la rotazione, il pavimento, le pareti, il tetto, la scatola, un insieme di scatole, cilindro, sfera, cono, tubo, gradinate, porta, finestra, buchi ed infine sono rappresentate le sorgenti e i ricettori.





Una volta disegnato un oggetto è possibile verificarne la geometria, ridimensionarlo o copiarlo utilizzando i comandi del menu Edit (in ogni caso per un maggior dettaglio dei comandi si rimanda all'help). La griglia di base su cui si muove il cursore può essere agevolmente ridotta utilizzando il comando Grid dal menu 'Options'; in tal modo è possibile disegnare con maggior dettaglio. Ramsete CAD è un generatore di superfici; la finalità è quella di definire con precisione l'ambiente interno e quindi le superfici che su di esso si affacciano. Inoltre sono ininfluenti gli spessori propri di un modellatore solido. Il programma genera superfici piane, cilindriche e sferiche; considerando il cono come un cilindro con una delle due facce degenerare in un punto è possibile disegnare qualsiasi superficie ge-

ometrica presente in strutture quali teatri, chiese, sale da concerto, auditorium, palazzetti dello sport etc.

Si possono introdurre le sorgenti ed i ricevitori cui può essere assegnato anche un orientamento. Ciò è importante soprattutto per sorgenti direttive (\Rightarrow Sezione 2, cap. 8). Alla fine il lavoro può essere salvato in un file con l'estensione .RAY, che è un file ASCII perfettamente leggibile ed editabile, oppure con l'estensione .DXF, propria di AutoCAD.

Nota Le superfici molto sviluppate in una direzione e nell'altra sono dell'ordine della decina di centimetri sono trascurabili.

Nota Con la nuova versione di Ramsete è possibile utilizzare superfici non-permeabili. Si tratta di superfici con caratteristiche simili a quelle dell'obstructing, ma solo per l'onda diretta che le attraversa. Ciò significa che se si disegna una scatola chiusa con dentro una sorgente, tutti i raggi emessi dalla sorgente verranno ridotti del potere fonoisolante proprio del materiale ed usciranno direttamente dalla scatola senza rimbalzare internamente.

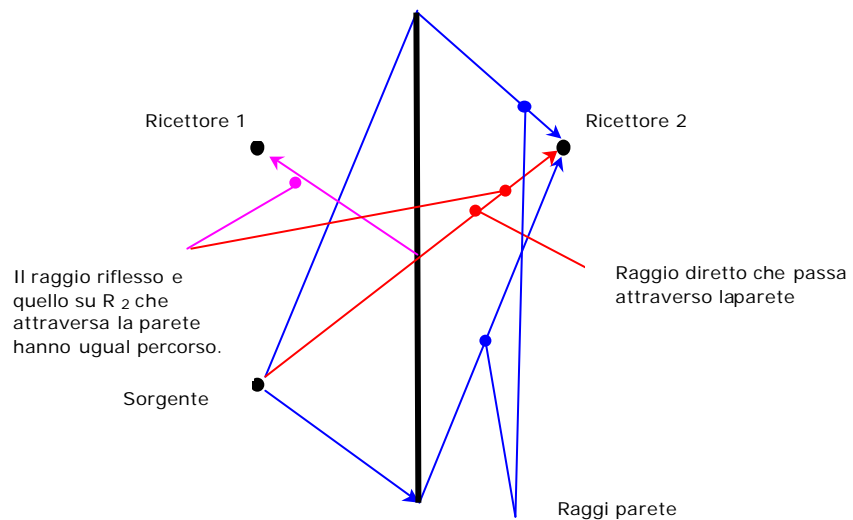
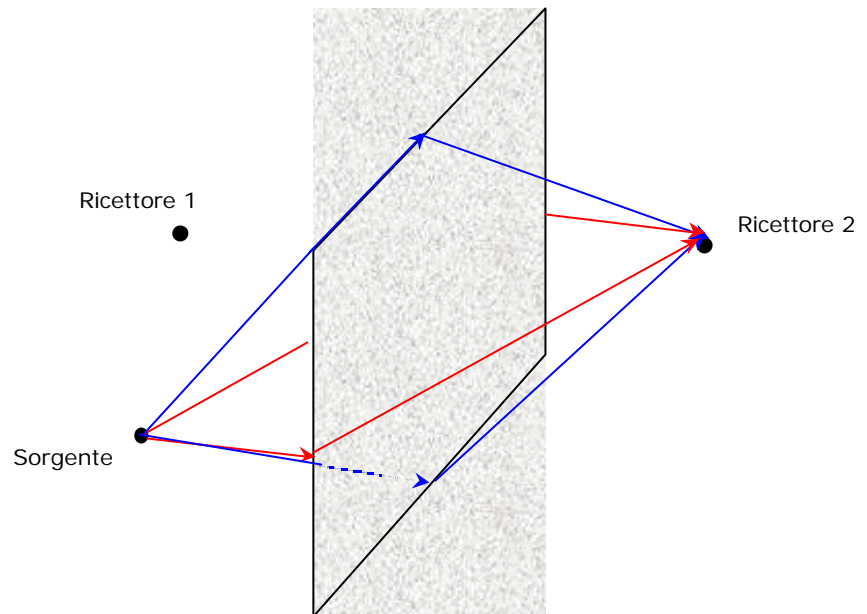
Nota Selezionando dal menu File, l'opzione 'Proprietà' è possibile sapere quanto superficie è ricoperta da un certo materiale; tali dati possono essere di supporto per una prima valutazione economica di interventi.

Nota Come deve essere fatto un disegno con AutoCAD per essere importabile da Ramsete

1. Superfici
Utilizzare l'entità 3DFACE, con un nome di layer pari al numero del materiale di cui la superficie è costituita: ad esempio 27 indica "Tappezz. moquette". Se la superficie è obstructing, aggiungere 1000 al numero del materiale (ad es. 1027 è lo stesso materiale di prima, ma obstructing).
2. Porte e Finestre
Utilizzare entità 3DPOLY, impiegando come sempre un layer di nome uguale al numero del materiale: anche per esse può essere settato il carattere obstructing aggiungendo 1000 al numero del materiale.
3. Buchi (Holes)
Utilizzare anche per essi entità tipo 3DPOLY, ma adottando uno speciale layer di nome HOLES.
4. Sorgenti
Utilizzare l'entità ATTDEF con uno speciale layer di nome SOURCES, dando come TAG il path completo che identifica il file della sorgente sonora (ad esempio C:\PROGRAMMI\RAMSETE2\SOURCES\OMNI.SPK). Impiegare l'opzione di fitting fra due punti, dando come insertion point la posizione della sorgente e come secondo punto il target point. Il roll angle può infine venire impostato come inclinazione delle scritte (non come rotazione!). Ciò deforma in maniera considerevole i caratteri in caso di roll angle elevati.
1. Ricevitori
Utilizzare la comune entità LINE, avendo però cura di impostare un layer denominato RECEIVERS. Il primo punto della linea rappresenta la posizione del ricevitore, il secondo punto rappresenta il target point.

Nota Questa nota riassume alcune FAQ che sono state fatte dagli utenti di Ramsete:

1. Quanti ascoltatori bisogna inserire nella geometria per avere una mappatura corretta?
Per ottenere una mappatura corretta bisogna tenere conto che gli unici valori "veri" che il software mappa sono quelli in cui è presente un ricevitore. Tutti gli altri sono ottenuti per interpolazione e quindi variando il metodo di interpolazione può variare anche la mappa. L'abilità sta quindi nel saper correttamente disporre gli ascoltatori nello spazio. La pratica suggerisce di predisporre un reticolo con passo costante aggiungendo qualche ascoltatore in prossimità di situazioni di discontinuità (p. es. barriere) e della sorgente (in modo che non si creino dei falsi minimi fra la sorgente e l'ascoltatore più vicino). In campo completamente diffuso, invece, la densità di ascoltatori può progressivamente calare con la distanza dalla sorgente.
2. Con quale grado di precisione bisogna introdurre la geometria?
Viste le lunghezze d'onda in gioco in campo audio non conviene certamente introdurre particolari come la maniglia di una porta o gli intarsi di un capitello; tali dettagli servono solo ad appesantire il modello aumentando a dismisura il numero di superfici della geometria 3D. L'aumento del numero delle facce ovviamente si ripercuote sul tempo di calcolo. Inoltre bisogna tenere presente che la precisione del modello geometrico contribuisce sì all'accuratezza dei risultati ma solo se il numero di piramidi lanciate è così elevato che la divergenza geometrica al momento dell'impatto ha prodotto una sezione del fascio inferiore alle facce più piccole disegnate; altrimenti il tracciatore non si accorge dell'esistenza di facce tanto piccole e tale dettaglio è come se non fosse disegnato.
3. Quante pareti obstructing si possono interporre tra una sorgente ed un ricevitore?
Non c'è un limite, se non l'accrescere del tempo di calcolo.
4. Quando bisogna dichiarare obstructing una parete?
Data la ricorrenza di tale quesito, e la sua importanza a livello concettuale, tale aspetto delle pareti viene analizzato nel dettaglio.
Se una parete non viene dichiarata obstructing viene attraversata dal raggio che la impatta senza che vi sia decremento di energia qualsiasi sia il potere fonoisolante proprio del materiale della parete stessa. Come norma dovrebbe essere dichiarata obstructing ogni parete che potrebbe trovarsi tra una sorgente (virtuale) ed un ricevitore. Di seguito sono riportati diversi casi tutti riferiti ad una situazione geometrica ben definita qui sotto riportata.

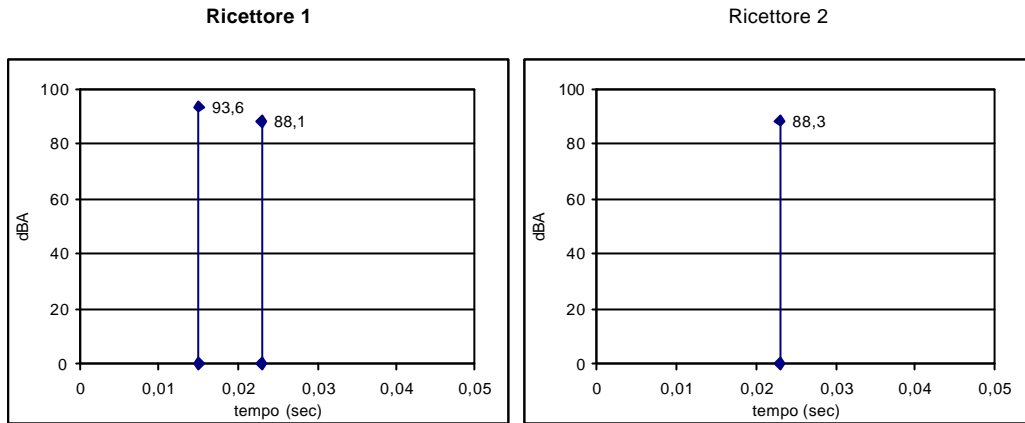


Per chiarire i risultati riportati nei grafici seguenti si specifica che:

- La parete disegnata è un quadrato
- L'altezza della sorgente e dei ricettori è pari alla metà dell'altezza della parete
- I due ricettori sono collocati dalla parte opposta rispetto la parete a pari distanza dalla stessa
- Da quanto sopra esposto risulta che i cammini dei raggi diffratti che giungono su R₂ dalle pareti laterali arrivano nello stesso istante essendo la lunghezza dei percorsi uguale.

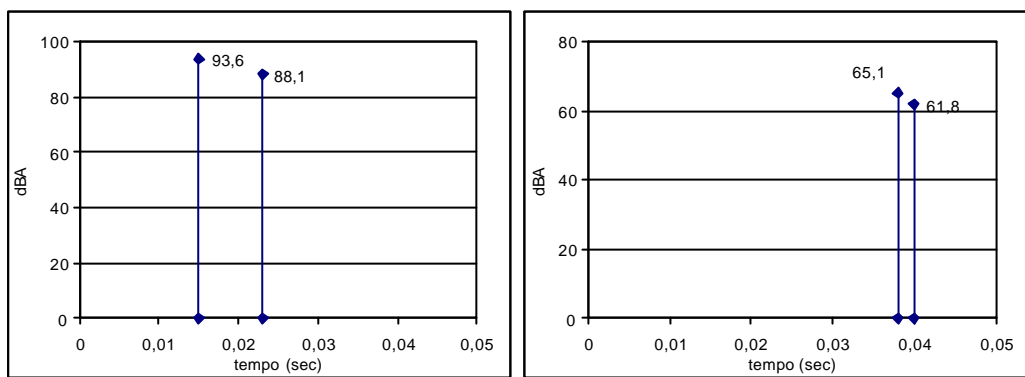
Per ciascun grafico è indicato il tipo di parete (obstructing OB, non obstructing NOB), le sue caratteristiche riflettenti ed assorbenti (α ed R) ed il numero della superficie del database di Ramsete. Con il manuale sono forniti i file sia della geometria sia dei risultati ottenuti per ciascun esempio fatto (file .xls). In tal modo all'utente è data la possibilità di ripetere i calcoli e verificarli.

Esempio 1
 a/= 0
 R = 0
 n = 3
 Sup NOB



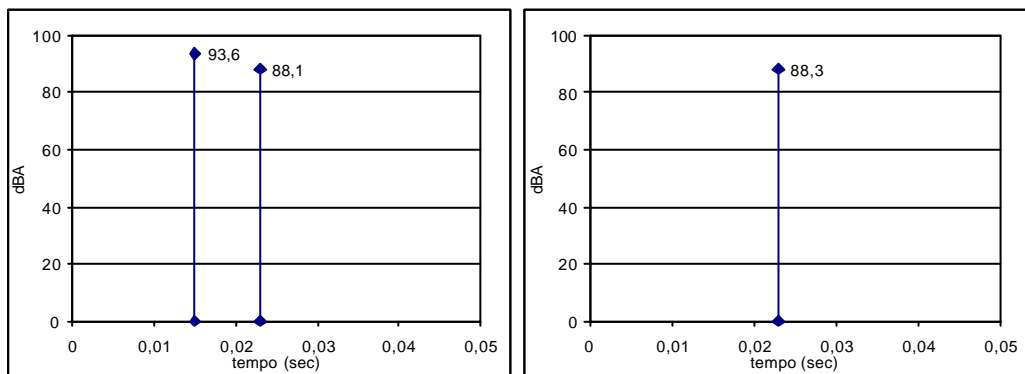
E' evidente che ad R₂ arriva solo l'onda diretta in quanto la superficie tra la sorgente ed il ricettore non è vista come un ostacolo. Il valore su R₂ è corrispondente al secondo raggio su R1: hanno lo stesso tempo di arrivo. Il valore su R₂ è leggermente superiore in quanto non ha subito l'effetto della riflessione, α .

Esempio 2
 a/= 0
 R = 0
 n = 3
 Sup OB



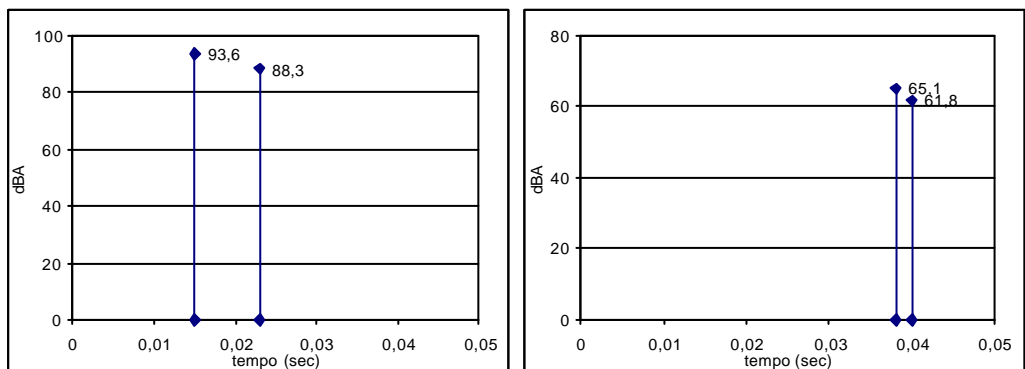
Per R₁ nulla è variato; per R₂ ora si somma all'effetto precedente anche quello diffrattivo. Infatti i valori presenti sono le due riflessioni laterali (e non quattro in quanto essendo i percorsi uguali arrivano a R₂ nello stesso istante). L'onda diretta è stata abbattuta dalla superficie obstruente con R=0.

Esempio 3
 a = 0
 R = 0
 n = 3
 Sup NOB

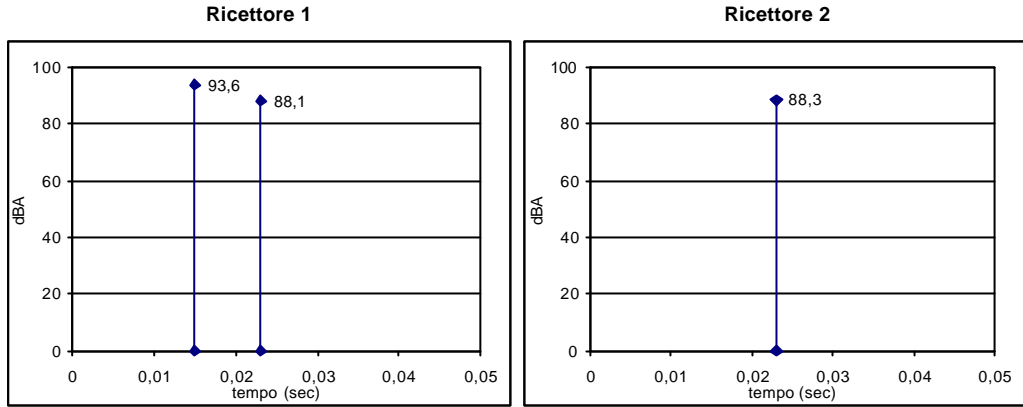


Nulla è cambiato rispetto all'esempio 1. Il valore su R₁ relativo all'onda riflessa è leggermente inferiore per approssimazione nei calcoli.

Esempio 4
 a = 0
 R = 0
 n = 3
 Sup OB

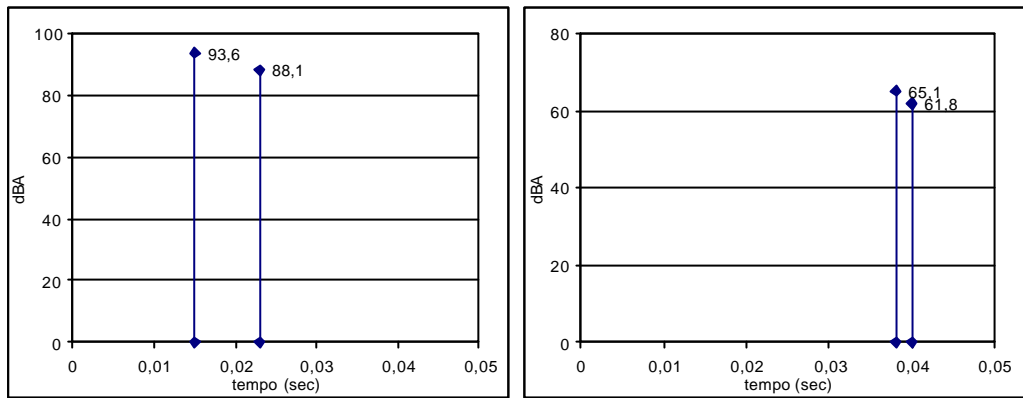


Esempio 5
 a /= 0
 R /= 0, elevato
 n = 3
 Sup NOB



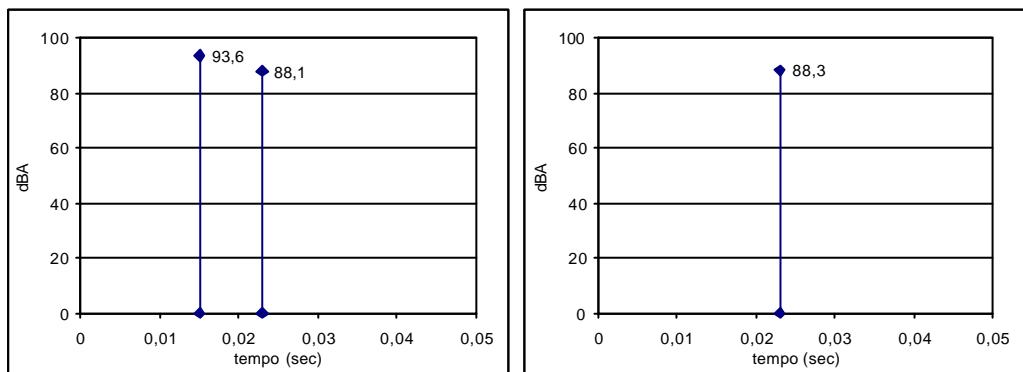
Benchè R sia diverso da 0 nel caso in cui la superficie non sia obstructing non viene influenzato il valore su R₂.

Esempio 6
 a /= 0
 R /= 0, elevato
 n = 3
 Sup OB



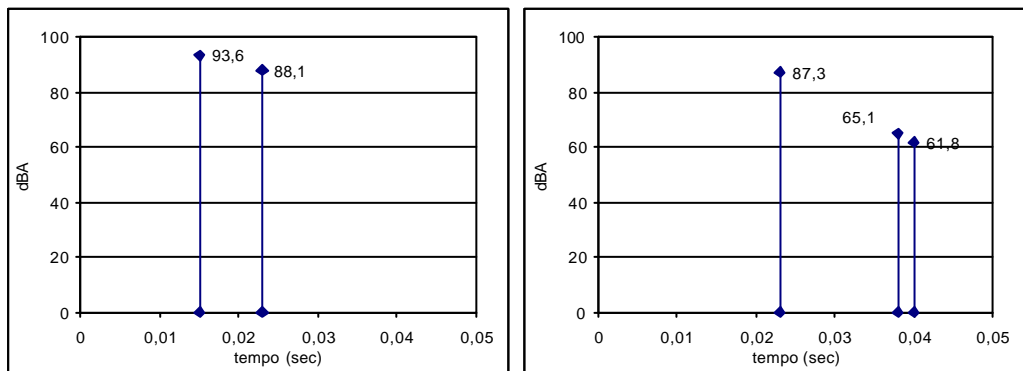
Come esempio 4; anche se R è diverso da 0 il valore su tutte le frequenze è elevato e tale da azzerare l'onda diretta.

Esempio 7
 a /= 0
 R /= 0, basso
 n = 3
 Sup NOB



Come esempio 5.

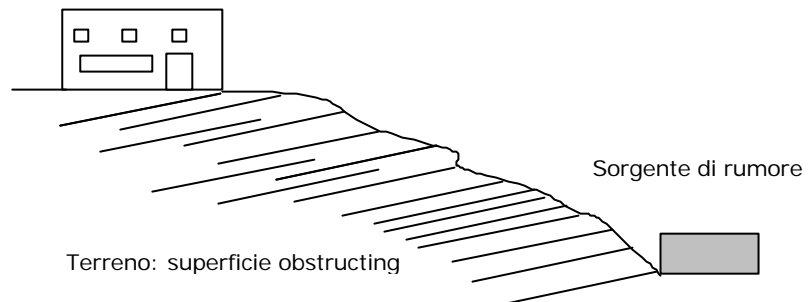
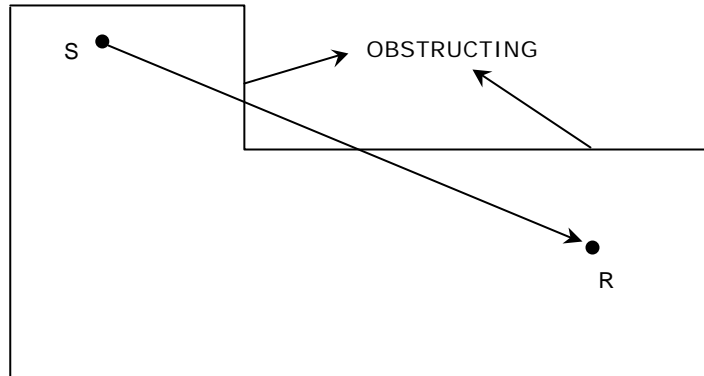
Esempio 8
 a /= 0
 R /= 0, basso
 n = 3
 Sup OB



Essendo R non così elevato emergono non solo le onde diffratte che arrivano agli stessi istanti (il percorso non è cambiato), ma si evidenzia anche l'onda diretta che attraversa la parete.

Esempi

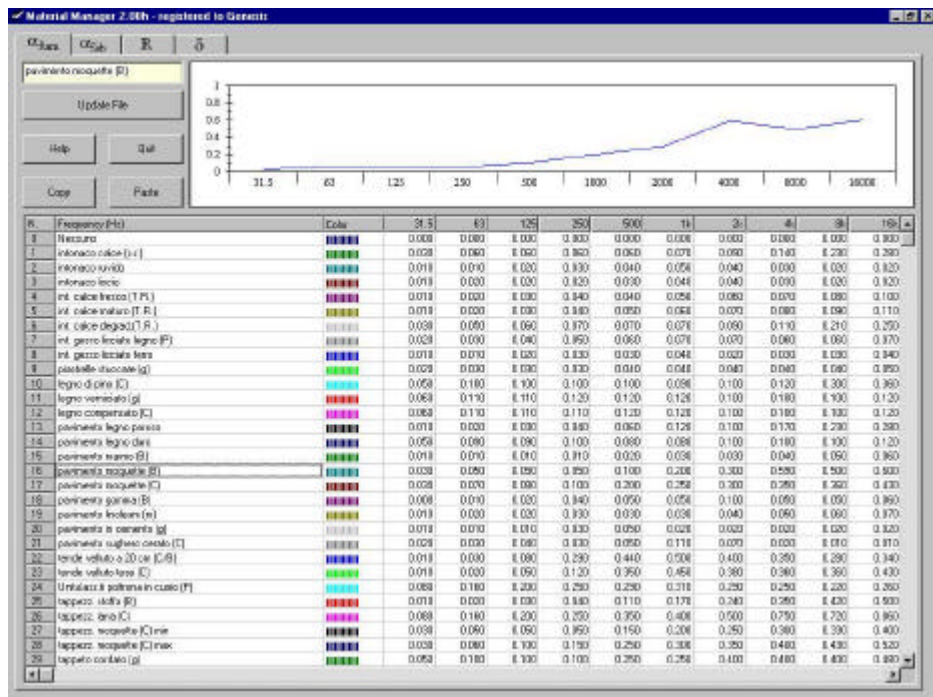
Si riportano ulteriori esempi esplicativi di alcuni casi in cui l'inserimento della superficie obstructing risulta indispensabile.



4.2. Material Manager (matermgr.exe)

Aperto il programma ci si ritrova in un ambiente di tipo Excel che contiene i dati di assorbimento ed isolamento acustico dei materiali. L'utente potrà quindi facilmente creare nuovi materiali editandone il nome e le corrispondenti caratteristiche acustiche nelle relative celle. Si possono visualizzare, banda per banda, i coefficienti di assorbimento α (\Rightarrow Sezione 2, cap 6), oppure i poteri fonoisolanti in dB R (\Rightarrow Sezione 2, cap 6), sempre nelle 10 bande di frequenza considerate (da 31.5 a 16000 Hz).

Nota E' possibile inserire nel programma i valori di α forniti dalla ditta produttrice di quel materiale. Nel programma è già predisposta la funzione di conversione da α_{Sabine} ad $\alpha_{Ramsete}$ (\Rightarrow pag. 15).



La gran parte dei materiali predefiniti contiene solo i dati del coefficiente di assorbimento α . Tuttavia è possibile aggiungere i dati del potere fonoisolante e fonodiffondente.

Si fa notare che per la maggior parte delle superfici tali dati di potere fonoisolante sono superflui: soltanto le superfici marcate "obstructing" in Ramsete CAD possono essere attraversate da energia sonora (barriere antirumore, schermi, etc.). In questi casi, oltre a considerare l'energia che attraversa tali schermi, Ramsete considera anche la quota di energia diffratta dai bordi liberi (se ce ne sono), utilizzando le note relazioni di Maekawa (\Rightarrow Sezione 2, cap. 7).

Nota Come si fa a simulare l'isolamento di pareti multistrato?

Se il materiale è lo stesso su tutte e due le facce della parete è sufficiente attribuire al materiale il potere fonoassorbente del materiale esterno e come potere fonoisolante il potere fonoisolante complessivo di tutti gli strati. Infine è necessario dichiarare questa parete obstructing. Se la parete composta presenta invece sulle due facce materiali diversi, si dovrà, oltre ad avere disegnato la parete, disegnarne una parallela a 10 cm di distanza del materiale di finitura della seconda faccia. Tale seconda parete non deve mai essere dichiarata obstructing e quindi non ha importanza il potere fonoisolante attri-

buito nel Material Manager.

Che differenza c'è tra $\alpha_{ramsete}$ ed α_{sabine} ?

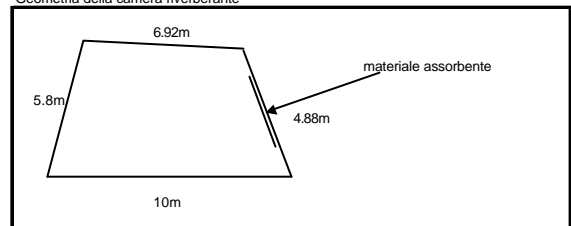
Ramsete, come la maggioranza dei programmi tipo 'ray tracing', richiede in ingresso i valori 'veri' del coefficiente di assorbimento, non i valori 'di Sabine'. I valori veri sono in generale più bassi di quelli di Sabine; i primi non superano mai il valore 1 i secondi sì. Questo argomento è stato studiato sia dall'ing. Oliaro del Politecnico di Torino sia da un gruppo di ricercatori inglesi (Millington); a ciò è seguita una pubblicazione su Applied Acoustics. Si è visto che i programmi basati sull'acustica geometrica richiedono in ingresso i coefficienti di assorbimento di Millington e non di Sabine (si consiglia la lettura dell'articolo 'Studio numerico-sperimentale sulle potenzialità e sulle prestazioni di un codice di simulazione del campo sonoro in spazi confinati; P. Oliaro, M. Castellani). A seguito della pubblicazione di tali studi, è stata introdotta in Ramsete la conversione automatica fra i due valori. Quindi se sono disponibili i valori di α Sabine tratti da una prova ISO 354 e si introducono in Ramsete questi vengono automaticamente convertiti, ovvero ridotti, nei corrispondenti valori di Millington. Se invece sono disponibili i dati di α 'veri' (misurati con tecnica intensimetrica o con il tubo di Kundt) e li si introducono in Ramsete, saranno automaticamente convertiti in α Sabine. Si riporta di seguito il grafico relativo e la geometria dell'ambiente di prova che hanno permesso la conversione fra i due parametri.

AMBIENTE DI PROVA

Dati dimensionali

perimetro [m]	27.61
area [mq]	43.09
altezza [m]	4.60
superficie riflettente [mq]	201.29
superficie assorbente [mq]	11.90
superficie totale [mq]	213.19
volume	198.21

Geometria della camera riverberante

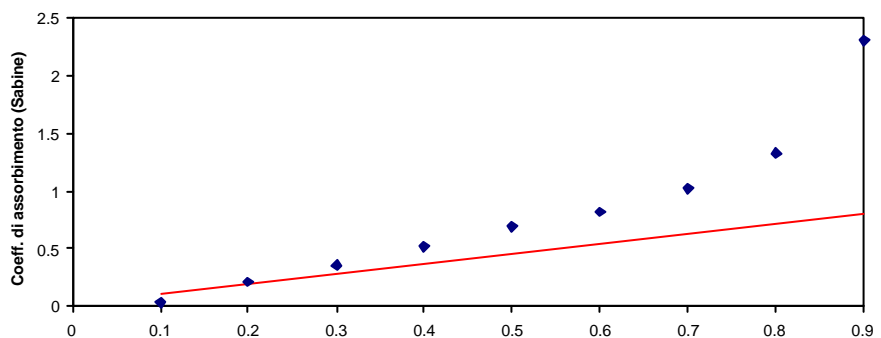


RISULTATI:

Tabella dei risultati numerici

Coeff. assorbimento ambiente riflettente	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Coeff. assorbimento materiale assorbente	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.600	0.900
Assorbimento medio	0.194	0.200	0.206	0.211	0.217	0.222	0.228	0.233	0.239
T60 con materiale assorbente (usando forma di Sabine)	0.784	0.762	0.742	0.722	0.704	0.686	0.689	0.653	0.368
T60 con materiale assorbente (dedotti da simulazione)	0.800	0.760	0.730	0.700	0.670	0.650	0.620	0.580	0.480
coeff. di assorbimento del materiale assorbente usando il tempo di riverberazione della simulazione	0.032	0.211	0.359	0.519	0.694	0.820	1.023	1.327	2.308

Grafico di confronto coefficienti di assorbimento (Sabine-Ramsete) per ottenere uguali T60



Che cosa è il parametro d?

Si tratta del coefficiente di scattering, definito dalla nuova norma ISO sviluppata da Vorlander e Rindell. È definito il rapporto fra l'energia

riflessa in direzione non speculare e l'energia riflessa totale. Per le superfici lisce normali il valore standard è 0.1; per le superfici meno lisce si possono avere coefficienti fino a 0.5. Valori superiori possono essere attribuiti solo a pannelli diffondenti, usati nello studio di teatri e studi di registrazione; in tal caso il valore è fornito direttamente dal costruttore.

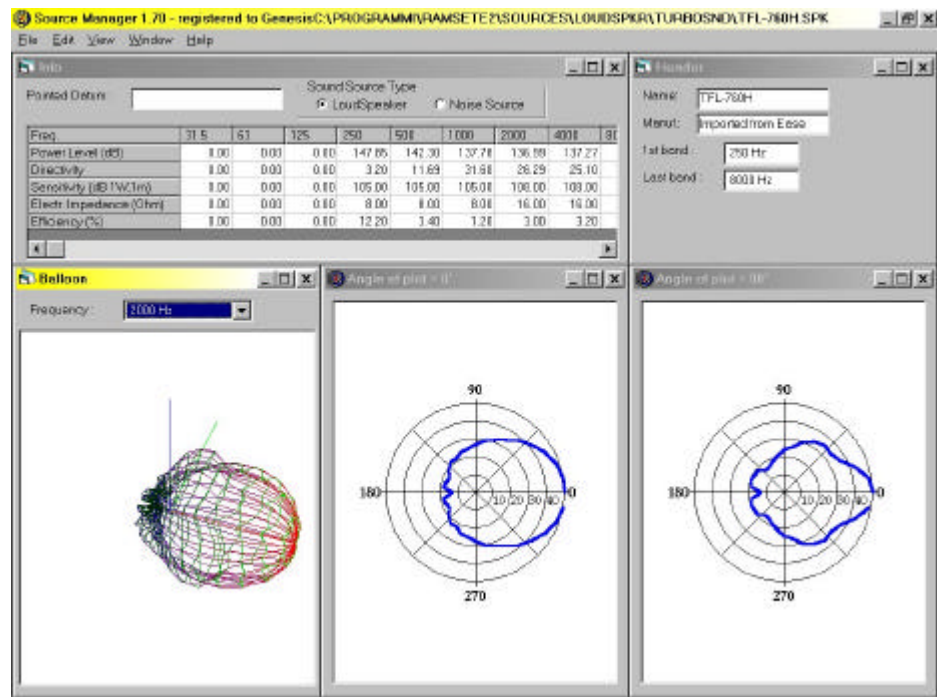
4.3. Source Manager (Sourcmgr.exe)

Questo programma serve per generare e visualizzare i file che contengono i dati sulle sorgenti sonore (.SPK).

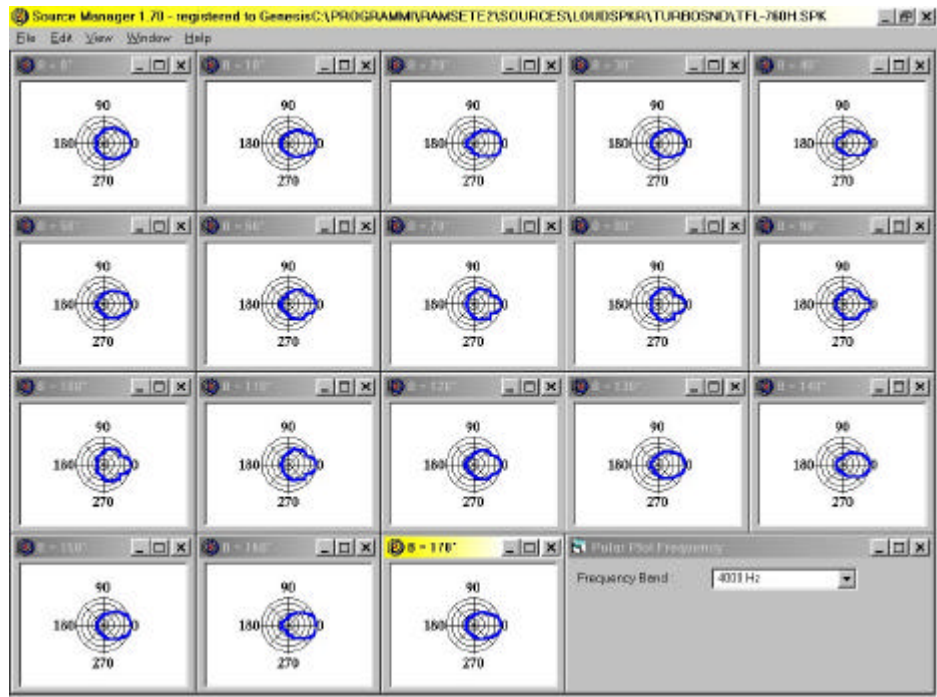
Esso comprende anche un modulo, chiamato ISO 3744 (3746) per l'utilizzo diretto di dati di livello sonoro rilevati attorno ad una sorgente sonora. Tale norma prevede in realtà la possibilità di effettuare i rilievi anche in spazi chiusi, apportando ai dati rilevati una opportuna correzione onde tenere conto della riverberazione dell'ambiente. Per sorgenti sonore di dimensioni medio-piccole, la norma prevede la possibilità di impiegare diverse superfici per involupparla: parallelepipedo con 5 o 9 microfoni, semisfera con 10 microfoni e superficie conforme ad 8 microfoni.

I dati della sorgente possono essere editati in forma tabellare e grafica

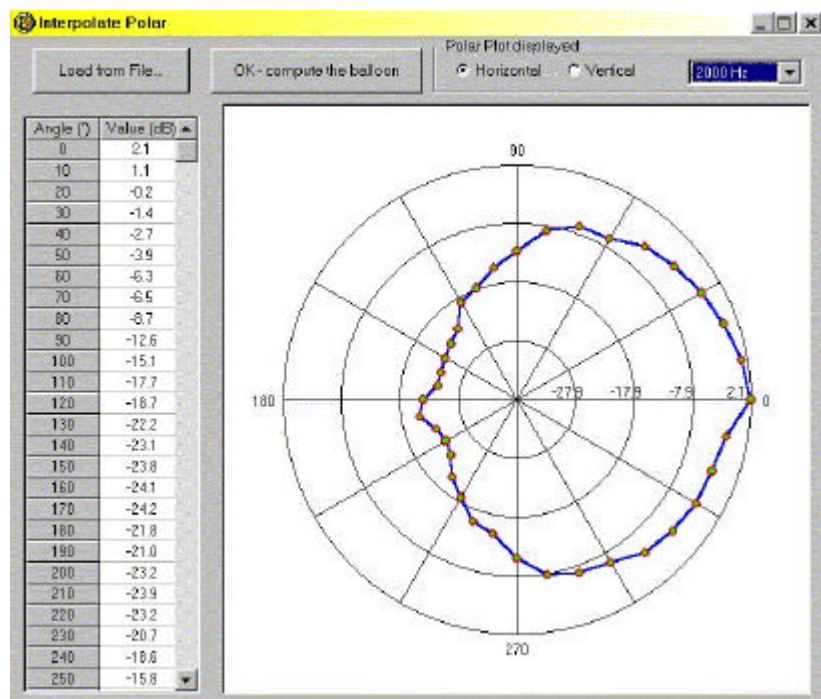
Source Manager è infine in grado di importare file che contengono dati su altoparlanti provenienti dal programma Modeler della Bose Corporation.



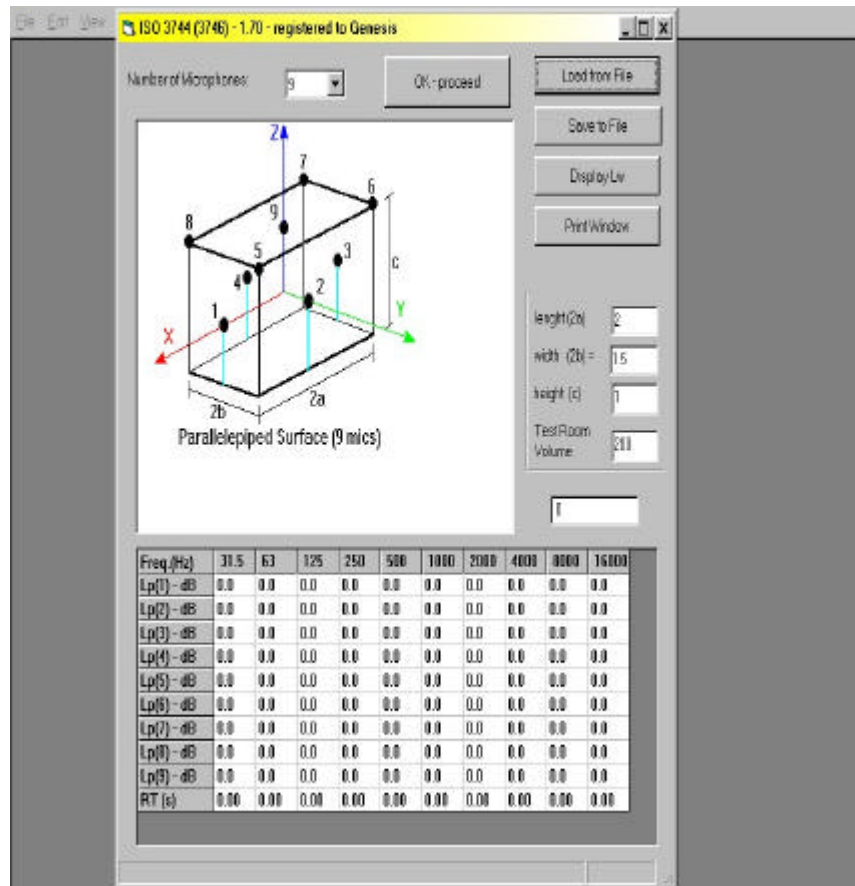
Visualizzazione standard delle caratteristiche di una sorgente presente nella banca dati.



Visualizzazione della direttività della sorgente



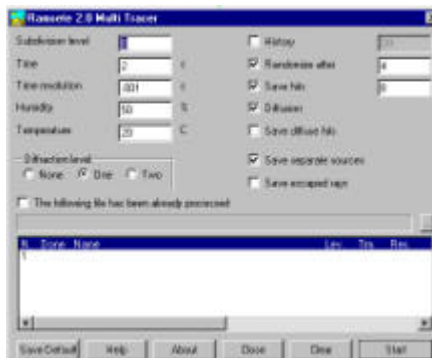
Definizione del diagramma polare per frequenza



Creazione di una sorgente in base ai rilievi eseguiti

4.4. Ramsete Tracer (Rtwin.exe)

Si tratta del modulo di calcolo vero e proprio; per ogni tracciamento devono essere impostati alcuni parametri di seguito descritti e riportati nella figura sotto.



- Level indica quante piramidi tracciare da ogni sorgente: il numero di piramidi è 8×2^N dove N è il valore di Level. Tipicamente con N = 8 (2048 piramidi) si ottengono buoni risultati;
- Time è il tempo di corsa dei raggi: deve essere pari circa al tempo di riverbero (in s);
- Precision è l'ampiezza temporale (in s) degli intervalli in cui viene suddivisa la risposta all'impulso. Si va da 1 ms (0.001) per calcoli ultraraffinati (ad esempio teatri), a 0.1 s per ambienti industriali. Comunque, all'occasione, si possono usare anche valori < 0.001 o > 0.1 . Tale parametro influenza grandemente l'occupazione di memoria e la dimensione dei file risultati prodotti.
- History è il numero di riflessioni che subisce ciascun raggio prima di venire abbandonato: -1 indica di seguire il raggio per tutta la sua storia; si sconsiglia di indicare valori troppo bassi (inferiori a 10), perché la precisione del calcolo verrebbe eccessivamente danneggiata.
- Humidity è la percentuale di umidità relativa dell'aria; essa influenza il calcolo dell'attenuazione dell'aria, che cresce in modo esponenziale con la frequenza. Il valore di default è 80.

L'utente può decidere per quanto tempo il raggio debba essere seguito; è possibile studiare tempi brevi o lunghi. Se l'utente valuta i primi secondi di comportamento della risposta dovrà avere coscienza del fatto che il raggio non avrà compiuto tutta la sua traiettoria. Dall'altra parte chi decide di considerare tempi lunghi rischierà di far proseguire inutilmente il tracciamento di un raggio ormai con energia nulla. Il parametro history è un altro strumento a disposizione dell'utente; qualora il valore sia 0 sarà valutato il contributo dell'onda diretta, con valore pari ad 1 si tiene conto anche della prima riflessione e con valori superiori all'unità, n, si valuta il contributo sia dell'onda diretta che delle prime n riflessioni. Se si imposta -1 seguono un numero di riflessioni limitato praticamente dal parametro Time.

E' possibile anche impostare:

1. Time resolution: il parametro definisce con che frequenza, e quindi accuratezza, l'utente vuole salvare la risposta all'impulso.
2. Diffraction level: rappresenta il numero di effetti di diffrazione che un raggio sonoro può subire; al più sono due. Ovviamente per poter subire l'effetto diffrattivo la superficie deve essere dichiarata obstructing.
3. Randomize after: definisce dopo quante riflessioni la piramide viene rimbalzata indietro senza seguire la legge ottica (legge di Snell) e assume quindi un percorso casuale.
4. Save hits: è possibile visualizzare il percorso fatto dei raggi dalla sorgente ogni ricevitore. Ovviamente ciò implica un impegno di spazio su disco fisso; sono infatti generati dei file .@__ per ogni sorgente che viene processata.
5. Diffusion: l'utente può scegliere se considerare o trascurare la diffusione. Ramsete offre inoltre la possibilità di salvare autonomamente il contributo della diffusione qualora sia stato attivato il comando 'Save diffuse hits'. Tale opzione fa riferimento al parametro d inserito nel database dei materiali.
6. Save separated sources: l'attivazione di tale opzione permette di memorizzare in file diversi gli effetti di ciascuna sorgente inserita nel file.ray.

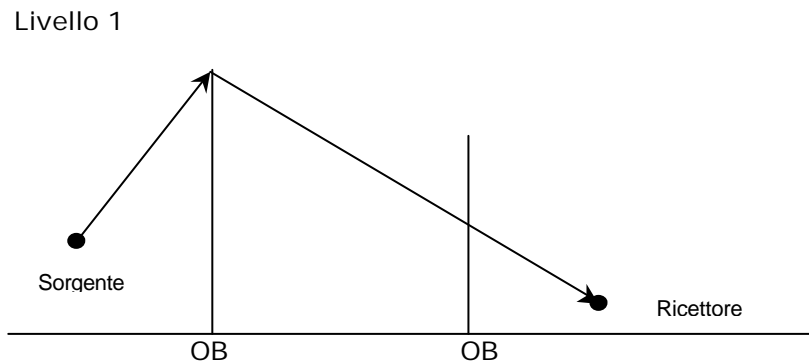
Ulteriore comando molto utile per identificare inesattezze nella costruzione della geometria (.ray) è l'opzione 'Save escaped rays' che permette di visualizzare i raggi che non rimangono all'interno dell'ambiente disegnato.

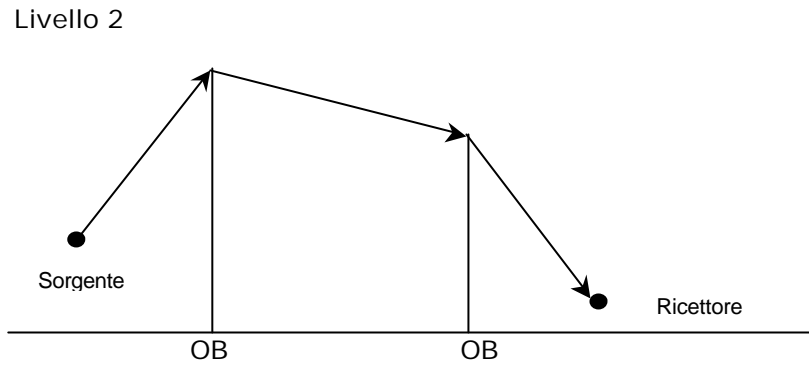
Nota Il valore dei parametri Level, Time e History influisce pesantemente sul tempo di calcolo e più precisamente:

- Level in modo esponenziale;
- Time in modo lineare;
- History in modo lineare

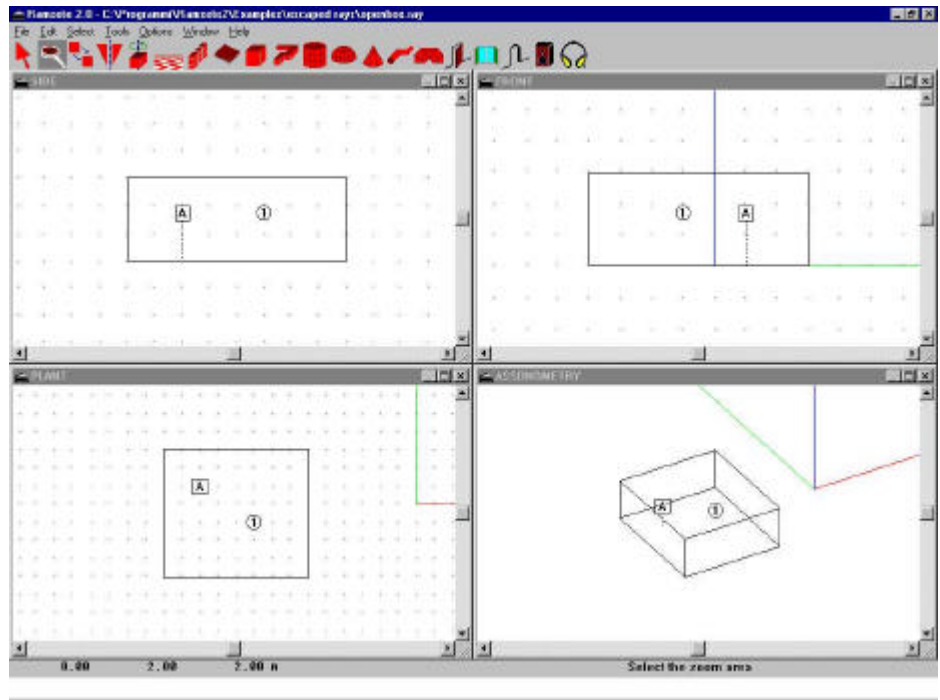
Nota Il valore dei parametri Time e Precision influisce linearmente, così come il numero degli ascoltatori fissato in Ramsete CAD, sull'occupazione di memoria del file dei risultati.

Nota Di seguito si riporta una rappresentazione dell'effetto dell'impostazione diffraction level = 1 o = 2 nel caso di superficie obstructing.

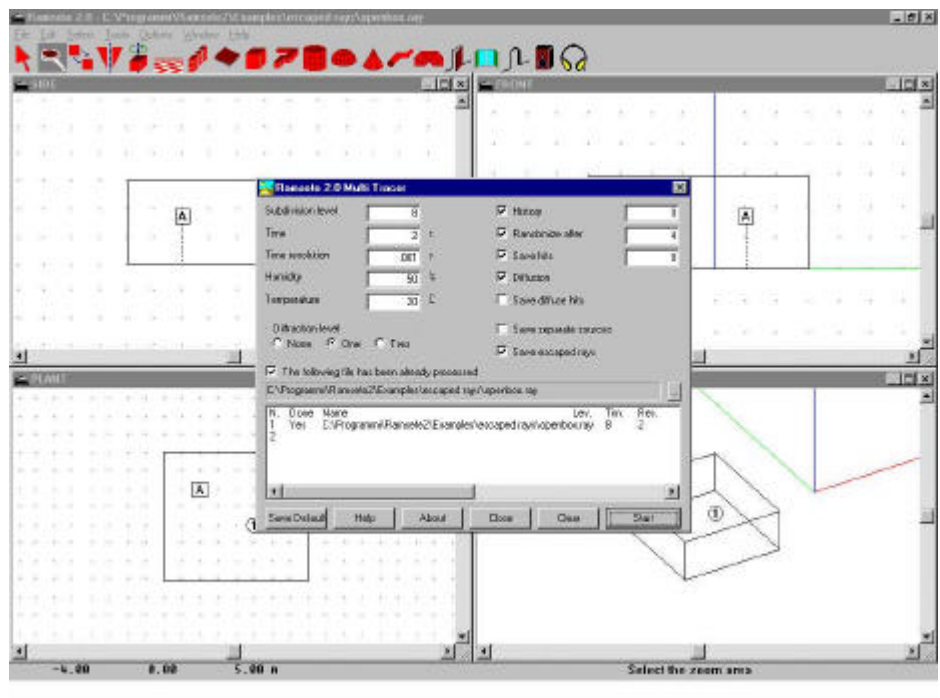




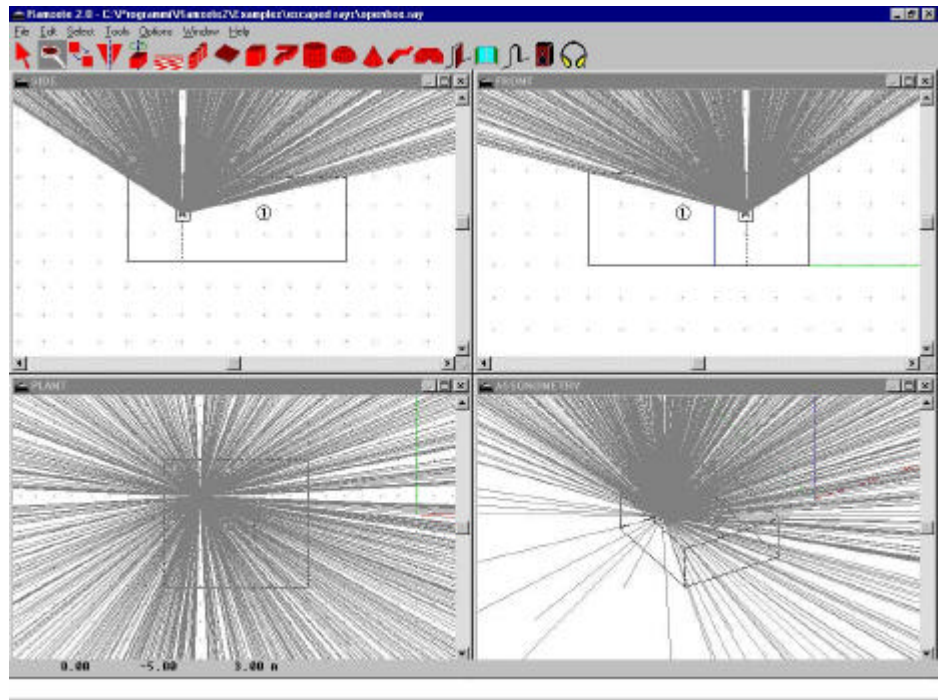
- Nota La diffusione: il concetto di diffusione non è ancora ben definito. In Ramsete il valore è dichiarato per ogni materiale previsto nel database ed è 0.1 (d). Ad oggi gli autori di Ramsete hanno fatto una proposta per individuare la metodica di calcolo di tale coefficiente. Si rimanda alla sezione 2 cap. 6 per ulteriori approfondimenti.
- Nota Quante piramidi bisogna utilizzare per ottenere risultati affidabili? Fino a pochi anni fa era necessario ricorrere alla taratura del modello attraverso α e β a causa della limitata potenza dei PC. Oggi questo problema è superato ed è possibile impostare fin dall'inizio un numero di piramidi pari a 7 o 8 senza che si incorra in tempi di calcolo lunghi.
- Nota Nel CAD di Ramsete talvolta può succedere di dimenticarsi di chiudere una geometria che si pensava chiusa, ovvero è possibile che certi raggi escano dall'ambiente di studio. Per verificare ciò è possibile fare una prova veloce. Disegnata la geometria si esegue il tracciamento delle piramidi attivando l'opzione 'Save escaped rays'; in tal modo viene creato un file (nella directory Ramsete) nominato 'escaped.ray'. Si tratta di un file CAD che visualizza i raggi che sono usciti dall'ambiente; ovviamente non è consigliabile considerare tutti i raggi usciti, ovvero tutte le riflessioni, tutt'altro. E' utile impostare il parametro history pari a 0 in modo tale da visualizzare solo le onde dirette che escono. La superficie mancante è in tal modo univocamente determinata. E' possibile a questo punto sovrapporre il file CAD dei raggi 'scappati' con quello della geometria. Infatti caricando prima il file della geometria e facendo un merge, sempre in CAD, con il file 'escaped.ray' si può visualizzare ed eventualmente salvare un file somma, che conterrà sia l'informazione della geometria sia dei raggi usciti. In RV, si potrà osservare che nelle opzioni di mappatura dei vari parametri è disponibile anche quella degli 'escaped rays'; ovviamente in tal caso il file da caricare dovrà essere quello relativo al merge effettuato. Di seguito si riporta un esempio che l'utente potrà ripetere utilizzando i file forniti.



File openbox.ray



Impostazione dei parametri di tracciamento

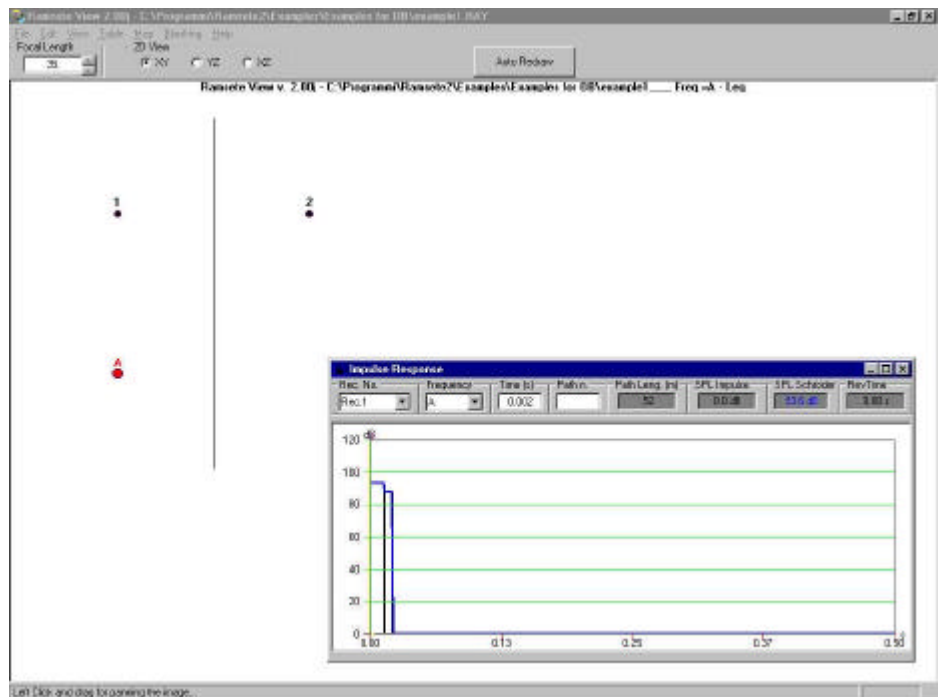


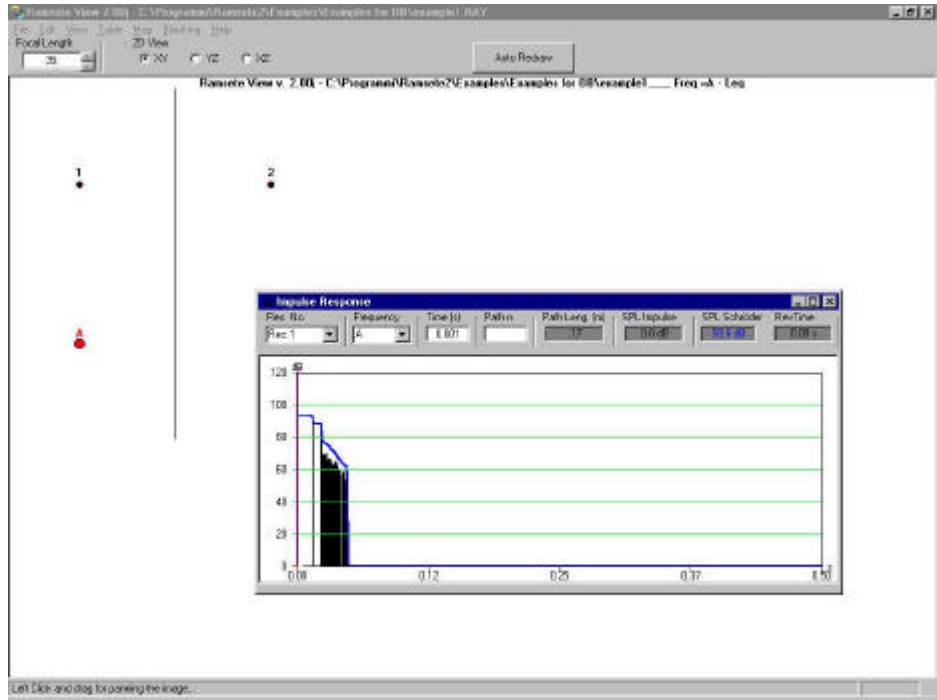
Sovrapposizione della geometria e del file escaped.ray

In questo modo l'utente può correggere la geometria.

Nota Che effetto ha la diffusione?

I file relativi a questo esempio si trovano nella directory 'diffusione'.
 Supponiamo di prendere il solito Example 1 e di attivare l'opzione della diffusione; nelle due figure seguenti si possono osservare le differenze nella risposta all'impulso.





Nota Che file sono generati dal tracciatore delle piramidi?

Usiamo il file dell'esempio 1 e rinomiamolo generate_file.ray. Localizzato in un opportuna directory 'Creazione file', vediamo quali file sono successivamente generati.

Attiviamo RT e facciamo partire il tracciamento. Nella maschera di tracciamento si può osservare, in basso a sinistra, che l'utente è costantemente informato relativamente alle elaborazioni in corso dal sistema. Se, terminata l'elaborazione, si osserva il contenuto della directory si nota che sono stati generati due tipi di file:

1. generate_file.@__: contiene, per ogni ricettore, il percorso dei raggi fino all'ordine impostato dall'utente ed il loro preciso tempo di arrivo indipendentemente dalla 'precision' impostata; ciò nel caso sia attivata l'opzione 'Save hits'.
2. generate_file.____ : contiene, per ogni ricettore, i risultati del tracciamento delle piramidi, ovvero l'insieme delle risposte all'impulso. Tale file sarebbe stato sostituito da un numero n di file pari al numero di sorgenti qualora l'utente avesse attivato l'opzione 'Save separate sources'. Questo file sarà così strutturato:

```
[Version]
Program = Ramsete 2.0
Version = 2
Author = Genesis
Date = Feb 18 2001
Time = 12:18:54
```

```
[File]
Name = generate_file.____
Revision = 1
Author = Genesis
Date = Feb 22 2002
Time = 20:42:21
```

```
[Model]
Name = c:\programmi\ramsete2\examples\file crea-
```

```

tion\generate_file.ray
Microphones = 2
Sources     = 1
Walls      = 1
Obstructing = 0
    
```

```

[Source]
Name      = omni.spk
Power     = 110 110 110 110 110 110 110 110 110 110
Position  = -13 -1 5.5
Direction = 0.00181818 0 -0.999998
Roll angle = 0
First band = 0 (31.5Hz)
Last band  = 9 (16KHz)
Number    = 1 of 1
    
```

```

[Statistics]
Pyramids traced   = 2048
Mean free path    = 4.41185 m
Standard deviation = 1.69513 m
Mean history      = 0.25293 reflections
Pyramids escaped   = 2048
Edges hit         = 0
Processing time    = 00:00:00
    
```

```

[Parameters]
Level      = 8
Time       = 2 s
Precision  = 0.001 s
History    = 50 Reflections
Humidity   = 50 %
Temperature = 20 C
SoundSpeed = 343.294 m/s
Alfa       = 2
Beta       = 0.1
Diffraction = 1
Diffusion  = On
DiffusionMode = 7
Format     = 1.2
ErrorLog   = Off
HitLevel   = 8
RandomizeAfter = 4
SaveAll    = Off
    
```

```

[Microphone_1]
Position = -13 4 5.5 0.707107 0.707107 0
Direct Wave = 0.0145642 s
LFC = 0.332943 0.296974 0.287016 0.284456 0.280944
0.27797 0.277476 0.278742 0.278467 0.269724
LE = 0.00279615 0.00283372 0.00261981 0.0020792
0.00141508 0.00115015 0.000905353 0.000511539
0.000312744 0.000273069
LF = 0.317909 0.289125 0.282548 0.280839 0.27768
0.274875 0.274455 0.275756 0.275523 0.266956
Impulse response =
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0
    
```

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3.18335e+008 3.18335e+008 3.18333e+008 3.18328e+008
3.18304e+008 3.18211e+008 3.17837e+008 3.16348e+008
3.1046e+008 2.87983e+008
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1.12704e+008 1.15158e+008 1.15157e+008 1.15153e+008
1.13965e+008 1.12739e+008 1.12532e+008 1.12871e+008
1.10729e+008 9.84393e+007
4.17019e+006 1.61881e+006 1.6188e+006 1.61875e+006
1.60205e+006 1.58478e+006 1.58179e+006 1.58623e+006
1.55484e+006 1.37769e+006
5.68014e+006 1.64313e+006 1.64311e+006 1.64306e+006
1.6261e+006 1.60855e+006 1.60539e+006 1.60943e+006
1.57574e+006 1.3897e+006
6.43834e+006 1.50938e+006 1.50937e+006 1.50932e+006
1.49372e+006 1.47757e+006 1.47454e+006 1.47771e+006
1.44468e+006 1.26676e+006
4.3005e+006 899495 882370 882341 873221 863757 861916
863491 843103 735457
9.88796e+006 2.44402e+006 1.80878e+006 1.80872e+006
1.79002e+006 1.77058e+006 1.76666e+006 1.76931e+006
1.72529e+006 1.49718e+006
4.56044e+006 1.3250.....(continua)

```

3. escaped.ray se attivato il relativo comando.

Per continuare l'analisi dei file generati da Ramsete, si vada alla sezione relativa a RV.

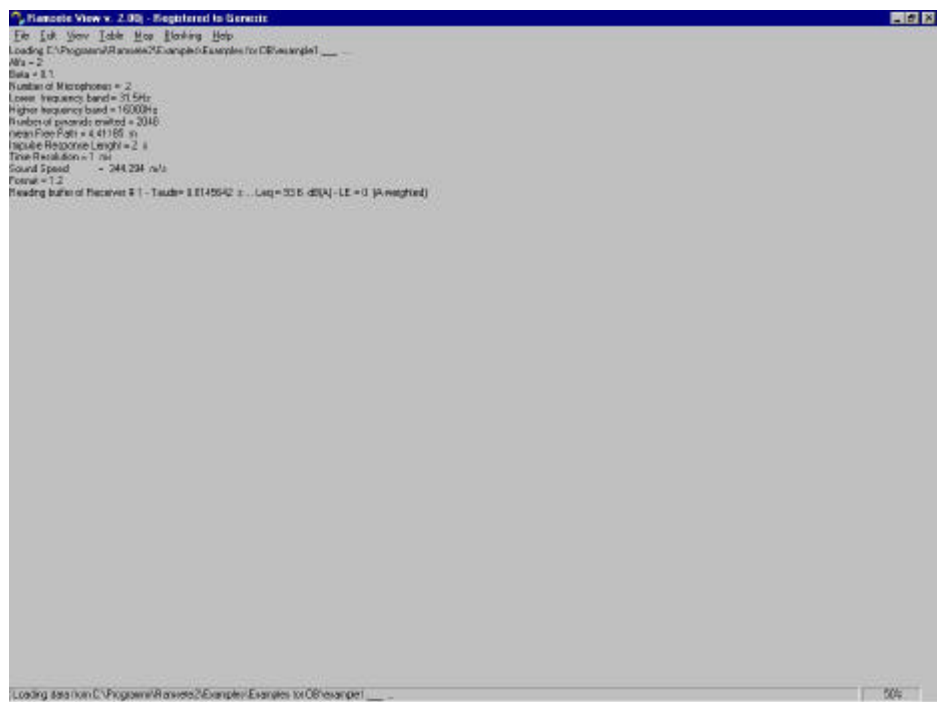
Nota Se si preme il tasto Esc durante l'elaborazione, il tracciamento sarà interrotto e i risultati non saranno salvati. Nel caso in cui ci siano più sorgenti, il tracciamento ed il salvataggio dei risultati avverrà in modo sequenziale cominciando dalla prima fino all'ultima sorgente. In questo caso se si clicca il tasto Cancel durante il tracciamento relativo all'n-esima sorgente, verranno salvati i risultati di tutte le sorgenti fino alla (n-1)-esima.

4.5. Ramsete View

E' un post-processor che consente da un lato di effettuare visualizzazioni tridimensionali prospettiche della geometria disegnata con Ramsete CAD o con AutoCAD, dall'altro di mappare (sia a colori sia con curve isolivello) in pianta o in prospettiva i risultati elaborati e tutti i tipici parametri acustici (indici di chiarezza, definizione, STI). E' inoltre possibile visualizzare:

- risposta all'impulso in ciascun ricevitore, o media della sala;
- risposta integrata con Schroeder (curva di decadimento);
- percorso dei raggi fino all'ordine impostato;
- spettro in ottave in ciascun punto ricevente e complessivo dell'ambiente: tabelle numeriche di tutti i dati (SPL, tempi di riverbero).

E' stato implementato un algoritmo di mappatura interna ma, per dare all'utente la possibilità di ottenere output grafici di livello professionale per la presentazione del proprio lavoro, si può utilizzare in modo trasparente il motore di calcolo Surfer



Nota Ritorniamo all'esempio che avevamo lasciato in RT relativo ai diversi file che vengono generati da Ramsete nelle sue varie parti.

In RV si chiede di aprire un file di geometria e di dati 'Open Response+Geometry file'; il file in questione è uno di quelli del tipo .____. Successivamente sullo schermo appare una schermata grigia (come sopra) che illustra le operazioni di caricamento del file in corso, contemporaneamente vengono calcolati tutti i parametri che RV offre come tabelle. Terminato il caricamento viene richiesto all'utente di valutare il parametro STI; trascuriamo per ora questa maschera e lasciamo che il 'Background noise' sia trascurabile: clicchiamo su OK. Successivamente sarà richiesto all'utente se vuole salvare i valori calcolati in un opportuno file (file compresso); questo file sarà quello che contiene tutte le tabelle di dati (LE, Sti, T20, T30,...) calcolate sulla base del file .____. Ovviamente è conveniente avere a disposi-

zione tale file in quanto molto più leggero del corrispondente che contiene tutte le risposte all'impulso, ma soprattutto potrà essere utilizzato quando si vuole trasferire le tabelle di dati in Excel, ad esempio. A questo punto se si va nella directory in cui si sta lavorando si potrà osservare che è stato aggiunto il file .-___, proprio quello delle tabelle di dati; l'utente potrà verificare come le dimensioni di tale file sono decisamente inferiori a quello .____.

Se ora si apre il file .-___ in modalità testo si potrà osservare che il suo contenuto è:

```
"New File Format - Version 1.7 and above!"
"Acoustic Parameters from file:"
"C:\Programmi\Ramsete2\Examples\File Creation\generate_file.____"
"Geometry file:"
"C:\Programmi\Ramsete2\Examples\File Creation\generate_file.RAY"
"Number of receivers =",2
"Parameter =", "Leq"
"Rec.", "Frequency Bands"
"Num.", "31.5", "63", "125", "250", "500", "1k", "2k", "4k", "8k", "16k", "L",
"A"
0 , 85.00382, 84.76803, 84.69022, 84.6128, 84.6128, 84.6128,
84.59022, 84.59022, 84.49022, 84.06803, 94.59022, 91.71281
1 , 87, 86.7, 86.6, 86.5, 86.5, 86.5, 86.5, 86.5, 86.4, 86, 96.5,
93.6
2 , 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.1, 81.1, 81, 80.5, 91.1,
88.3
"Parameter =", "Ldir"
"Rec.", "Frequency Bands"
"Num.", "31.5", "63", "125", "250", "500", "1k", "2k", "4k", "8k", "16k", "L",
"A"
0 , 83.1, 83.1, 83.1, 83.1, 83.1, 83.1, 83.05, 83.05, 82.95, 82.55,
93.05, 90.25
1 , 85, 85, 85, 85, 85, 85, 85, 85, 84.9, 84.6, 95, 92.2
2 , 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.1, 81.1, 81, 80.5, 91.1,
88.3
"Parameter =", "Lrev"
"Rec.", "Frequency Bands"
"Num.", "31.5", "63", "125", "250", "500", "1k", "2k", "4k", "8k", "16k", "L",
"A"
0 , 41.35, 40.9, 40.7, 40.6, 40.55, 40.5, 40.5, 40.5, 40.45, 40.2,
45.65, 44.1
1 , 82.7, 81.8, 81.4, 81.2, 81.1, 81, 81, 81, 80.9, 80.4, 91.3, 88.2
2 , 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
"Parameter =", "Riv/Direct"
"Rec.", "Frequency Bands"
"Num.", "31.5", "63", "125", "250", "500", "1k", "2k", "4k", "8k", "16k", "L",
"A"
0 , 41.75, 42.2, 42.4, 42.5, 42.55, 42.6, 42.55, 42.55, 42.5, 42.35,
47.4, 46.15
1 , 2.300003, 3.199997, 3.599998, 3.800003, 3.900002, 4, 4, 4, 4,
4.199997, 3.699997, 4
2 , 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.2, 81.1, 81.1, 81, 80.5, 91.1,
88.3
"Parameter =", "Lp - Lw"
"Rec.", "Frequency Bands"
"Num.", "31.5", "63", "125", "250", "500", "1k", "2k", "4k", "8k", "16k", "L",
"A"
```

```

0      , -24.99618, -25.23197, -25.30978, -25.3872, -25.3872, -25.3872, -
25.40978, -25.40978, -25.50978, -25.93197, -25.40978, -22.2872
1      , -23, -23.3, -23.4, -23.5, -23.5, -23.5, -23.5, -23.5, -23.6, -24, -23.5, -
20.4
2      , -28.8, -28.8, -28.8, -28.8, -28.8, -28.8, -28.9, -28.9, -29, -29.5, -
28.9, -25.7
"Parameter =" , "C50"
"Rec." , "Frequency Bands"
"Num." , "31.5", "63", "125", "250", "500", "1k", "2k", "4k", "8k", "16k", "L",
"A"
0 , 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
1 , 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
.....(continua)

```

si possono osservare i parametri inclusi.

Ora è stato aperto il file ____ . Se si apre il menu 'View' tutti i comando sono attivi, in particolare la risposta all'impulso e la visualizzazione del cammino dei raggi.

Supponiamo ora di chiudere RV; successivamente ci accorgiamo di non avere acquisito alcuni parametri dalle tabelle. Per vederli sarà sufficiente riaprire RV e dal menu File scegliere 'Open Response+Geometry file'; questa volta comparirà la domanda 'Do you want to load directly only the acoustical parameter without impulse response data?'. Questa domanda fa capire all'utente che esiste già un file contenente i valori dei parametri e senza l'informazione completa della risposta all'impulso; caricare solo le tabelle di dati è ovviamente più veloce che non ripetere il loro calcolo dal file _____. Qualora si risponda 'si' al quesito in RV non saranno disponibili le opzioni per la visualizzazione delle risposte all'impulso e per il percorso dei raggi. Viceversa se si risponde 'no' RV elaborerà nuovamente il file ____ (come descritto sopra) per estrarre una nuova tabella di parametri sicuramente figlia del nuovo file processato _____ e che sostituirà il file esistente.

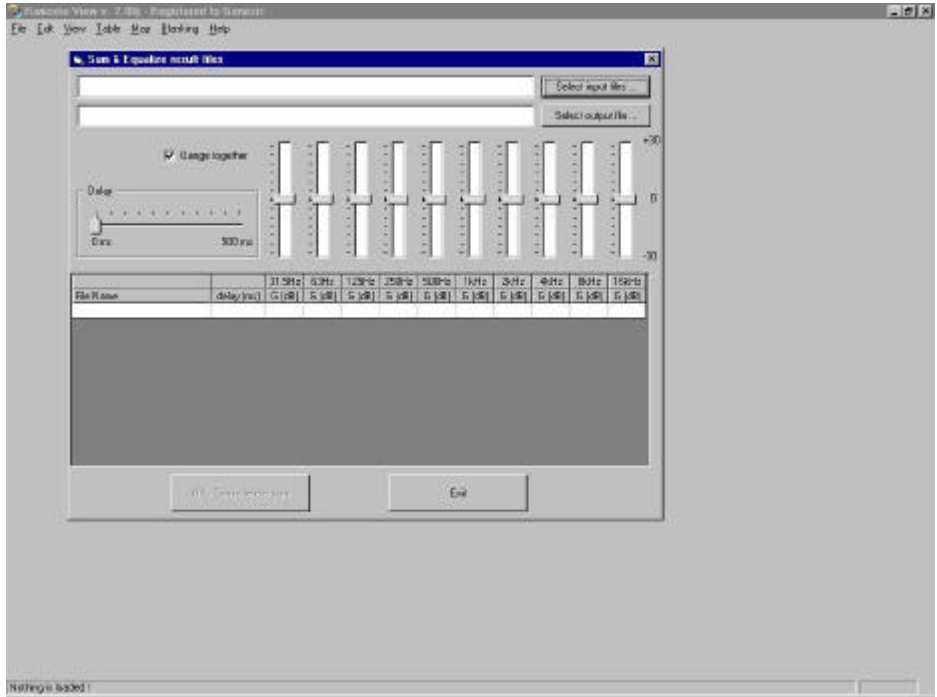
Nota Finora gli esempi fatti hanno mostrato la presenza di una sola sorgente. E' possibile, e spesso molto utile, qualora in un ambiente sia presente più di una sorgente, elaborare singolarmente il contributo di ognuna di esse all'acustica dell'ambiente. I file relativi all'esempio di seguito illustrato possono essere ritrovati nella directory '+sources'.

SUM&EQUALIZE Come visto in RT, per memorizzare le risposte all'impulso dovute ad ogni sorgente, dovrà essere attiva l'opzione 'Save separate sources'. In tal caso si ritroveranno nella directory file del tipo ____a, ____b..... (oltre ai file @_a, @_b...). In RV sarà possibile sommare i contributi delle due sorgenti scegliendo dal menu 'File' la voce 'Sum&Equalize'. Tale comando richiederà i file di input da sommare ed il nome del file finale in cui inserire i risultati dei calcoli (nel nostro caso il file si chiama 'suma+b' [questo comando permette inoltre di inserire un ritardo temporale rispetto ad uno zero temporale fissato dall'utente; permette anche di eseguire, su ogni sorgente, l'operazione di equalizzazione]. Solo a questo punto sarà disponibile il file dei risultati nella forma più completa, ovvero suma+b.____. Il file è pronto come se fosse stato processato per la prima volta da RT. Ora in RV sarà possibile seguire l'ormai noto percorso per l'apertura di un file di risposta, ovvero:

- dati 'Open Response+Geometry file': suma+b.____
- maschera di esecuzione calcoli
- opzioni per lo STI. OK

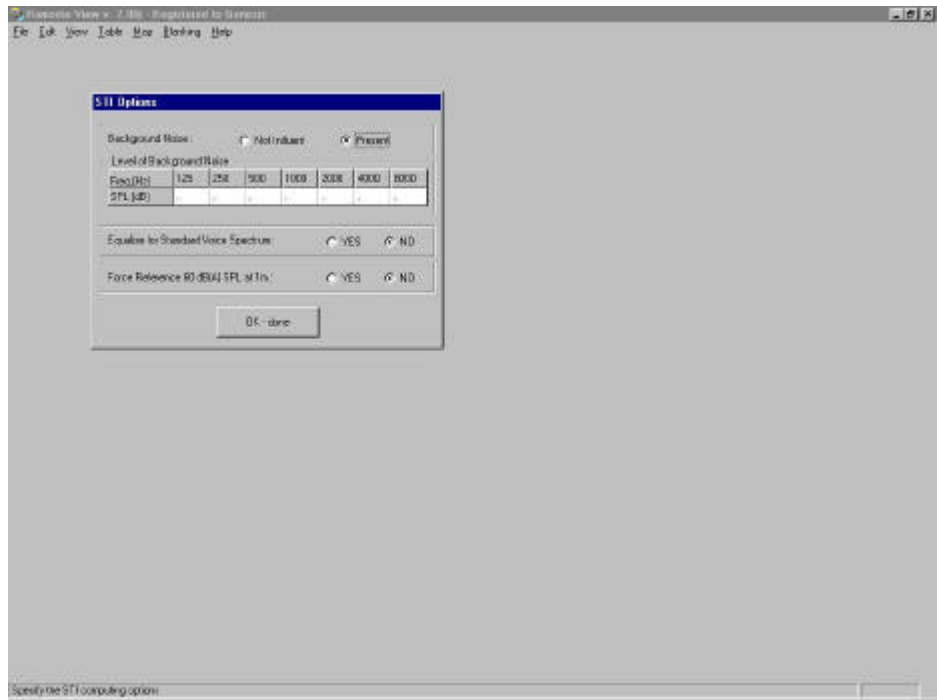
- salvataggio dei risultati in un opportuno file che sarà suma+b.-__
- RV chiede la geometria associata al file e si attribuirà il file +sources.ray.

A questo punto il file somma conterrà, sommati, i contributi di entrambe le sorgenti.



Nota STI ed RaSTI

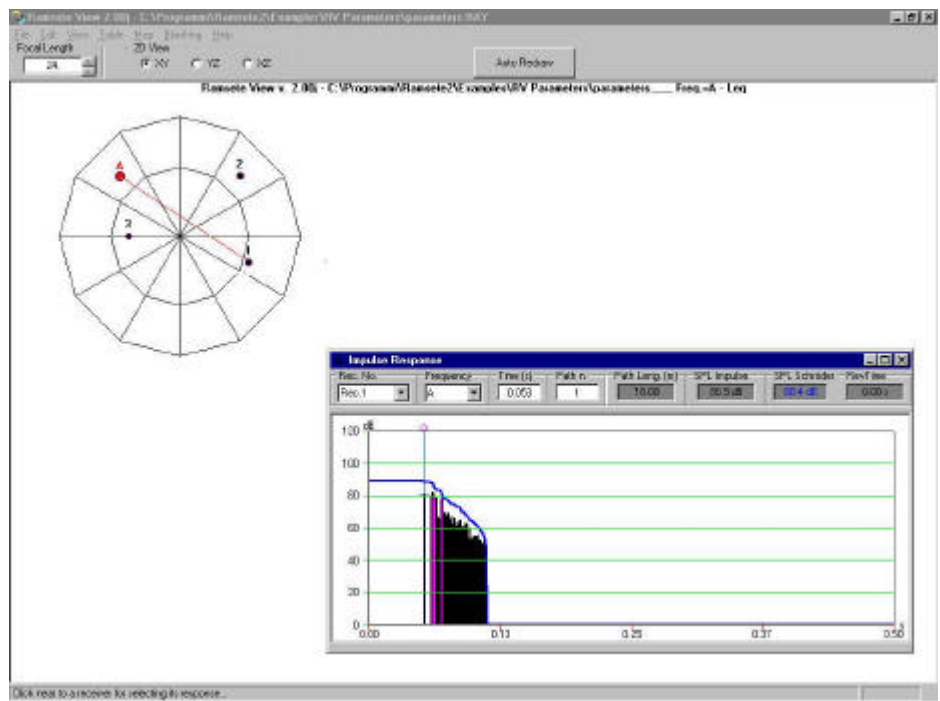
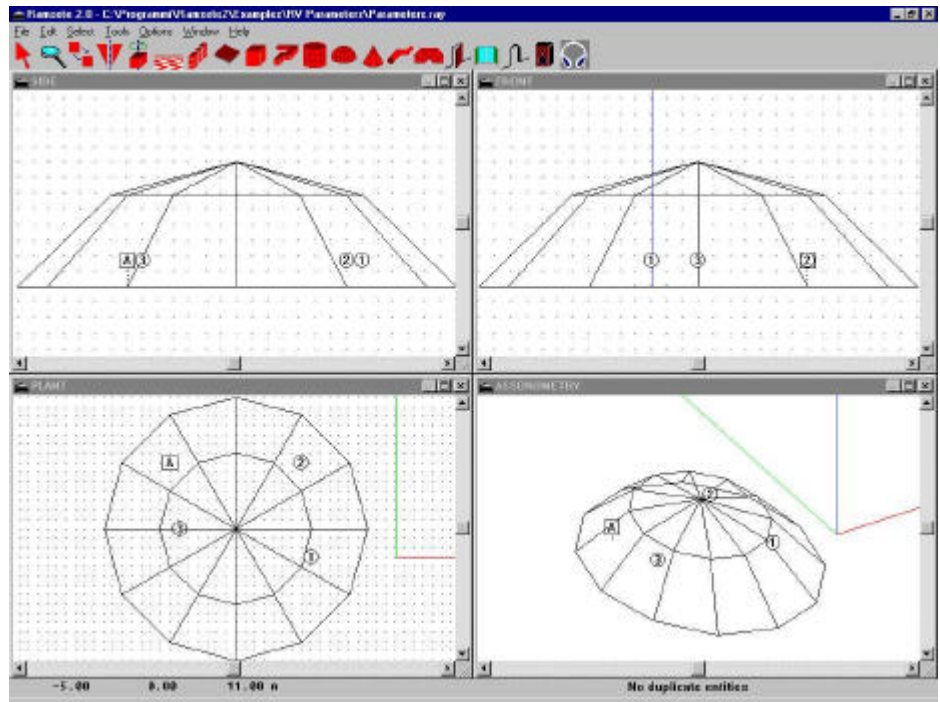
I risultati relativi a questo esempio si trovano nella directory STI. Vediamo quale è il significato della maschera che si presenta sempre all'utente qualora voglia aprire un file in RV. Per quanto concerne il significato in sè del parametro ed il suo utilizzo per la caratterizzazione soprattutto di una sala da conferenze si rimanda alla teoria; vediamo invece come operare alla presentazione della maschera. Costruiamo una scatola con una sorgente omnidirezionale ed un ricevitore. Utilizzando l'esempio verifichiamo l'influsso del rumore di fondo sul calcolo dello STI. Dalla maschera si può osservare che è possibile inserire l'SPL del rumore alle frequenze in cui il parametro è calcolato. E' anche possibile considerare gli effetti della standardizzazione della sorgente.



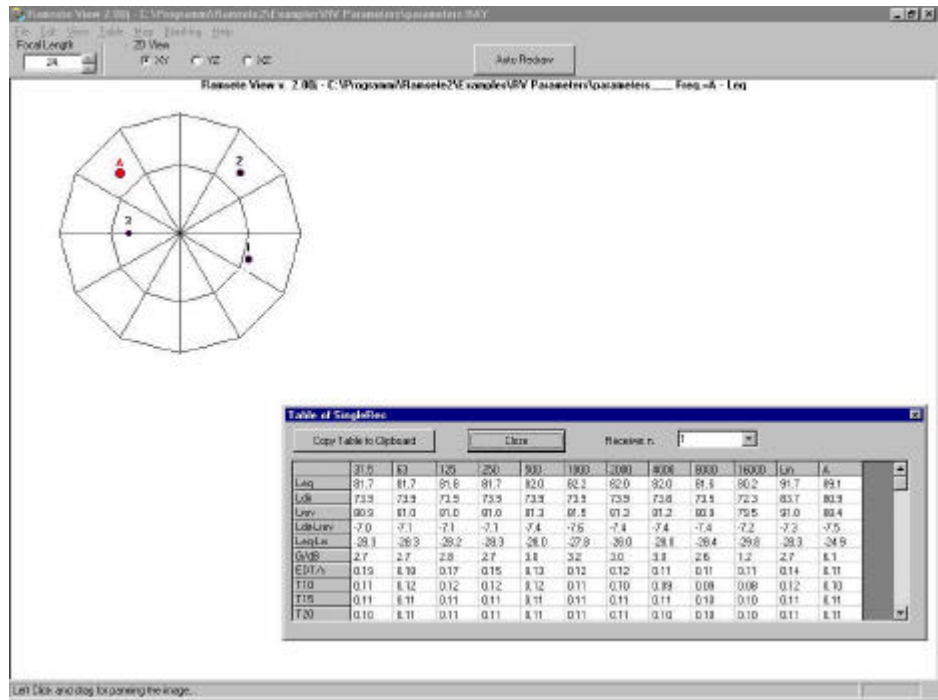
Di seguito si riportano i risultati ottenuti considerando tutti i casi possibili per una geometria semplice (una scatola chiusa la cui interno sono posizionati una sorgente ed una ricettore; i dati per ripetere l'esempio sono nella directory Sti).

	background noise	Equalize for Standard Voice Spectrum	Force Reference 60dB(A) SPL at 1 m	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	Rasti
1° caso	NO			0.7	0.78	0.86	0.86	0.86	0.87	0.85	0.86	0.83
2° caso	SI (SPL=80)	NO	NO	0.69	0.76	0.81	0.81	0.81	0.81	0.85	0.8	0.79
3° caso	SI (SPL=90)	NO	NO	0.61	0.63	0.59	0.59	0.59	0.58	0.85	0.59	0.63
4° caso	SI (SPL=90)	SI	NO	0.57	0.63	0.57	0.44	0.28	0.04	0.85	0.32	0.46
5° caso	SI (SPL=90)	SI	SI	0	0	0	0	0	0	0.85	0	0.12
6° caso	SI (SPL=90)	NO	SI	0	0	0	0	0	0	0.85	0	0.12

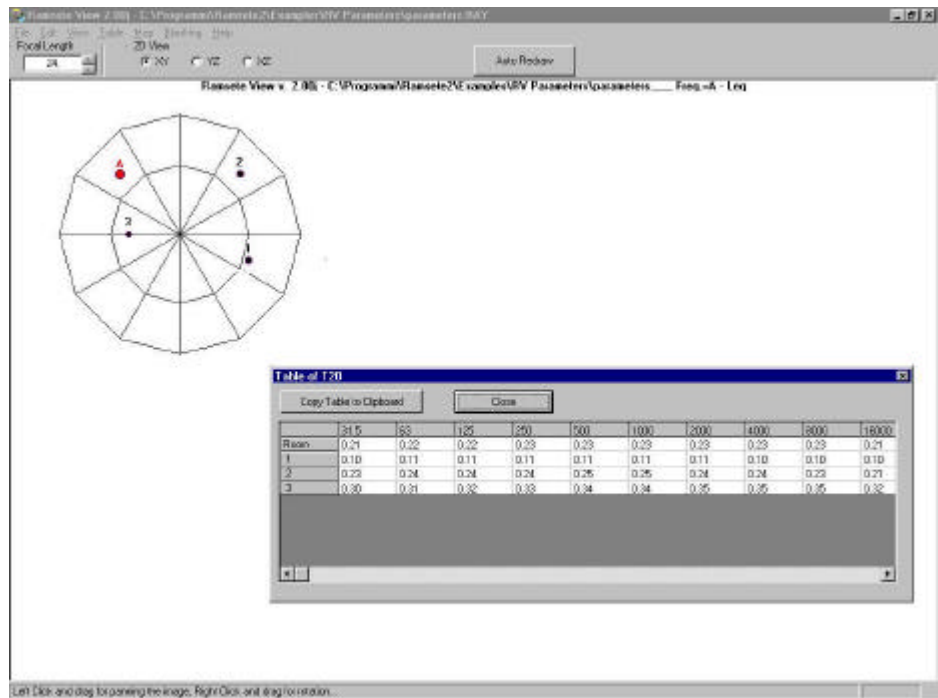
Le possibilità di visualizzazione dei risultati di RV sono diverse. Si riportano di seguito alcuni esempi.



Percorsi dei raggi per ogni ricettore



Tablelle dei parametri calcolati per ogni ricettore



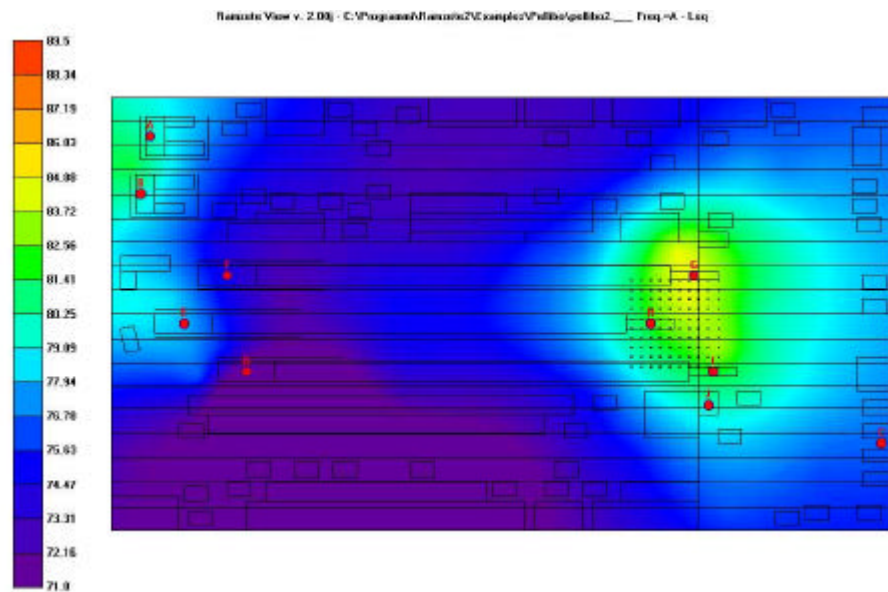
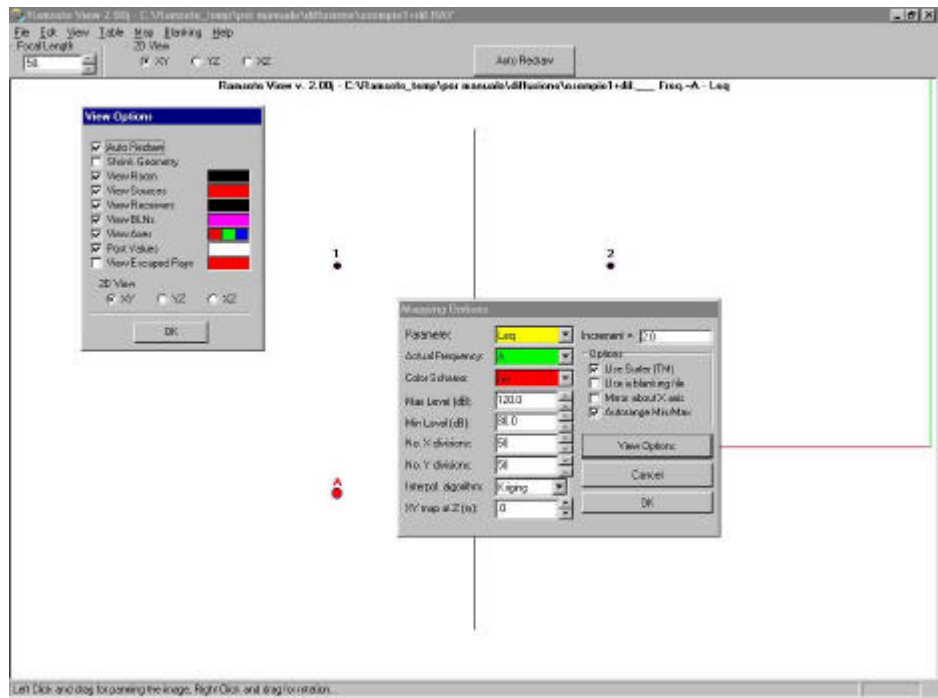
Per ogni parametro tabella dei valori per ogni ricettore

Nota Tutti i file relativi a questo esempio possono essere trovati nella directory Mappatura.

Le mappe possono essere realizzate sia in modalità DoCountur (curve isolivello) o in DoDither (ovvero una mappa colorata piena).

Le mappe possono essere predisposte sia su un piano orizzontale, xy ad una quota qualsivoglia, sia su un piano ortogonale, yz o xz. Ovviamente per poter fare eseguire la mappatura su qualsiasi piano parallelo ad uno dei tre ortogonali è necessario avere collocato opportunamente i ricettori in modo che siano disponibili i valori calcolati

nei corretti punti dello spazio.



Nota La mappatura e il software Surfer

L'utente può notare che nelle opzioni di mappatura è possibile scegliere di elaborare mappe con Ramsete direttamente o utilizzando Surfer. Si consiglia di utilizzare questa opzione se si vogliono ottenere mappe più raffinate ed utilizzare l'opzione di blanking. Surfer inoltre permette di scegliere la relazione di interpolazione dei valori sui ricettori per derivarne il valore negli altri punti della mappa secondo una griglia assegnata. La relazione di interpolazione disponibile di default si basa sul metodo di Kriging; Surfer offre un'ampia possibilità di scelta.

Quale è l'area da mappare?

L'utente può definire a suo piacimento l'area da mappare attraverso

il caricamento di un file esterno precedentemente predisposto che definisce i confini dell'area (file del tipo .bln) oppure direttamente in RV disegnando sulla base caricata i limiti interessati (Voce di menu: 'Blanking').

Nota Per cosa può essere utilizzato il comando del menu file 'AlfaBetaOptimizer'?

La presenza di questo comando si giustifica con la storia di Ramsete ed in particolare al periodo della sua nascita quando ancora i PC avevano capacità di calcolo molto inferiori a quelli oggi sul mercato. Allora il numero di piramidi di default che poteva essere lanciato con tempi di calcolo ragionevoli era 256 (corrispondente al Level 5); con questo numero l'incertezza sulla coda sonora (si veda la parte di teoria per approfondire questo aspetto) poteva essere anche elevato. Perciò al fine di ottenere una corretta taratura della risposta all'impulso, si procedeva come di seguito descritto:

Si calcola la risposta all'impulso con N Level, elevato, fino a 8-10 (quando N è elevato la risposta all'impulso è indipendente da α e β)

Si calcola la risposta all'impulso con N basso, massimo 5

Si corregge la risposta all'impulso con N basso sulla base di quella con N elevato. Per far ciò si attiva il comando 'AlfaBetaOptimizer' e si caricano le due curve che vengono visualizzate contemporaneamente. Si correggono i valori di α e β fino a che le due curve si sovrappongono.

A questo punto si saranno trovati i valori di α e β che permettono di ottenere precisione elevata anche sparando un basso numero di piramidi.

in genere tale procedura non è più necessaria; i valori di default di α e β sono rispettivamente 2 e 0.1. L'unico caso in cui è necessario ricorrere alla taratura di α e β è per gli ambienti in cui una delle dimensioni è nettamente superiore alle altre due per cui si procede come descritto sopra; bisognerà ottimizzare l'aderenza delle due curve nella parte più importante della risposta all'impulso, ovvero nei primi 20-25 dB di decadimento.

Nota La taratura di un modello

La parte fondamentale in un software di simulazione e previsione è la taratura del modello. La correttezza dei risultati è quindi funzione dei dati di input e della capacità dell'utente di modellare l'ambiente. Con l'esperienza e la sempre più approfondita conoscenza del modello si riusciranno ad ottenere ottime convergenze con i casi reali utilizzando i materiali di default senza essere costretti ad inventare dei materiali con coefficienti tali da far coincidere il T20 misurato con quello calcolato. Qualsiasi forzatura va evitata; le opere di bonifica ipotizzate daranno i risultati previsti solo se il progettista sarà riuscito ad attribuire ad una certa tipologia di superficie un opportuno materiale, ovvero le corrette caratteristiche acustiche.

4.6. Ramsete Audio Converter

Questo programma permette di convertire file di diversa origine in file di altra estensione.

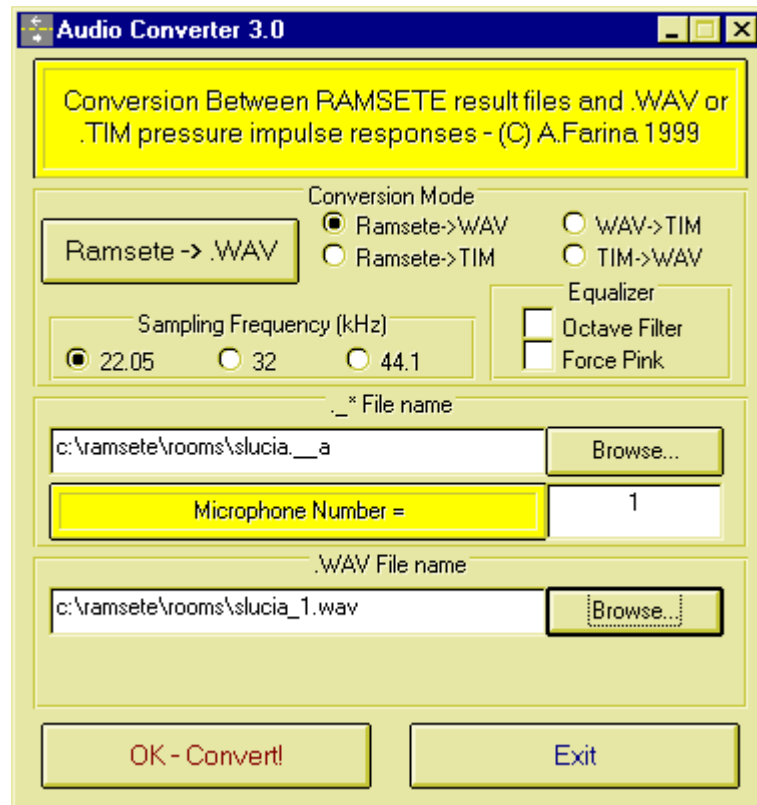
Sono possibili quattro conversioni:

- Dai file di risposta all'impulso di Ramsete (*.____) a file di risposta all'impulso .WAV
- Dai file di risposta all'impulso di Ramsete (*.____) a file di risposta all'impulso .TIM di MLSSA
- Da file .WAV di Windows a file .TIM di MLSSA
- Da file MLSSA .TIM a file standard .WAV di Windows

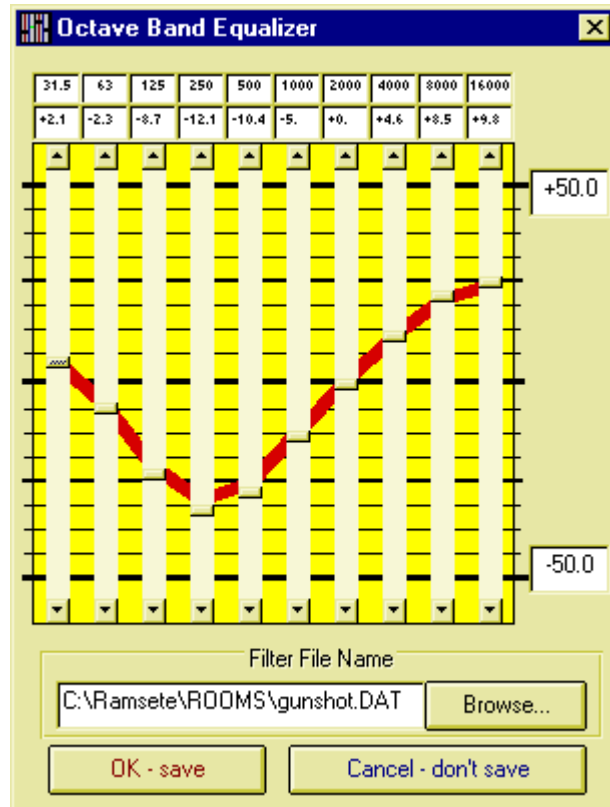
Scopo dell'Audio Converter è quello di trasformare la risposta all'impulso di Ramsete in una risposta all'impulso pronta per i processi di auralizzazione tramite software di convoluzione.

All'apertura dell'Audio Converter sono scelti il nome del file e il numero del ricevitore interessato dal processo:

Da Ramsete a WAV

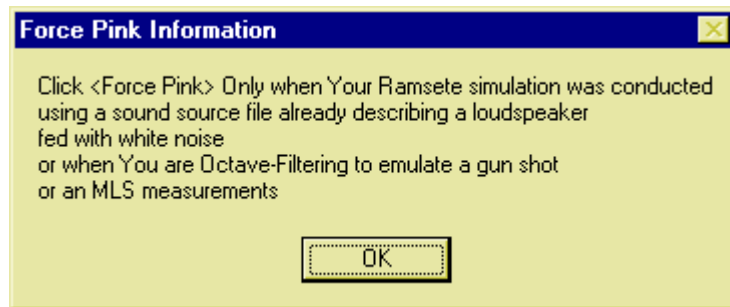


Si vede che è possibile scegliere la frequenza di campionamento; sono inoltre presenti due opzioni per l'equalizzazione: filtro in bande di ottava o equalizzazione forzata allo spettro di rumore rosa.



Octave Filter

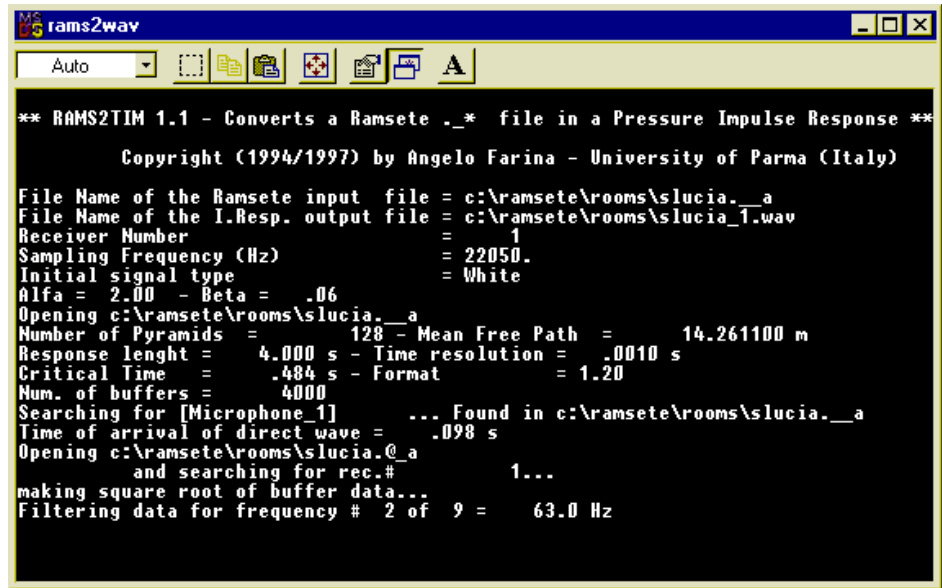
Le impostazioni dell'equalizzatore sono salvate in un file ASCII per essere successivamente utilizzate durante la conversione. Ciò è utile per compensare la risposta in frequenza e renderla simile alla risposta di una generica sorgente di rumore.



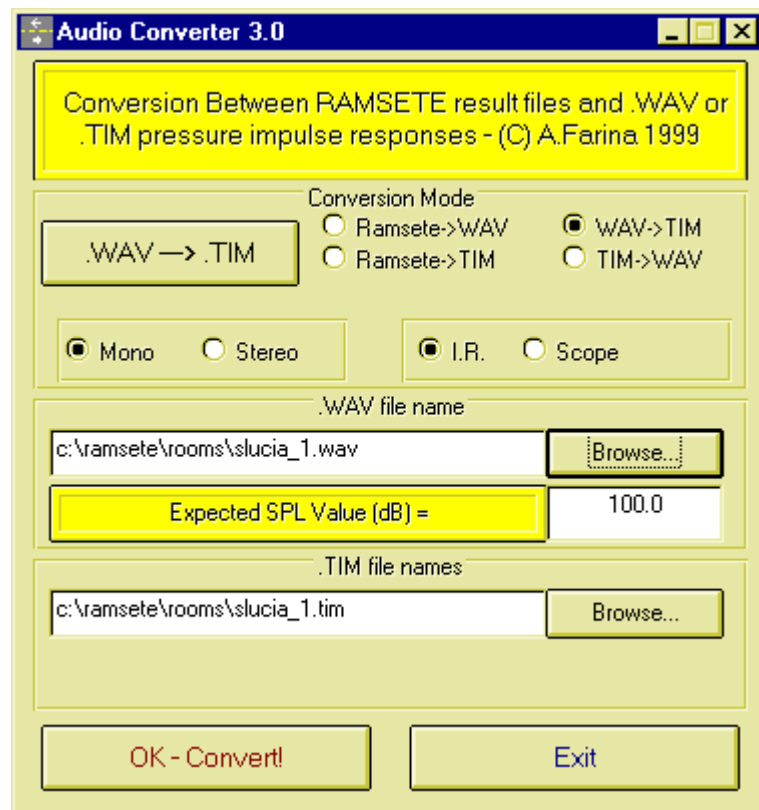
Scelta l'opzione viene visualizzata una maschera informativa (vedi figura sopra).

In genere non è necessaria alcuna di queste due opzioni. Si deve inoltre considerare che, se si vuole confrontare il caso reale con quello simulato, è sempre meglio equalizzare la misura effettuata e non il risultato della simulazione di Ramsete.

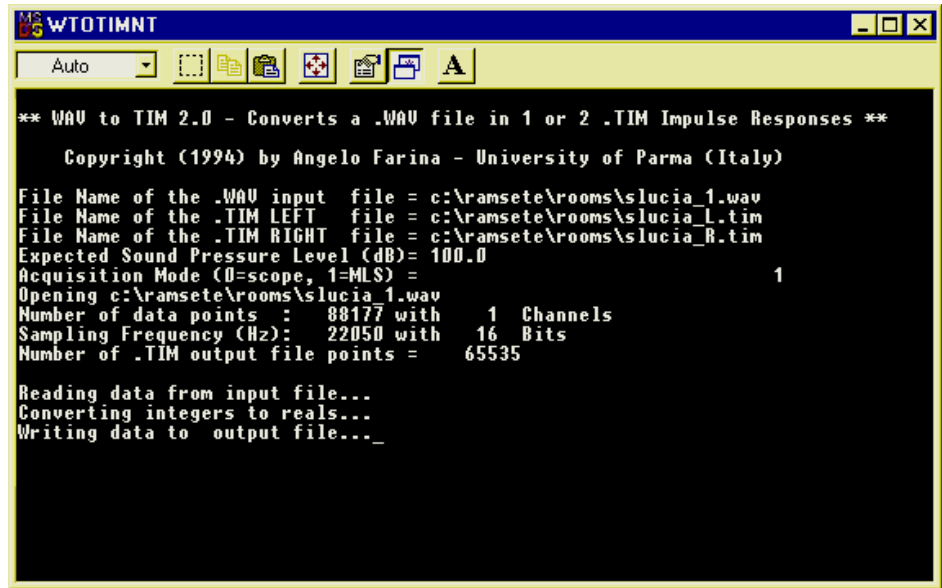
Una volta che si preme sull'OK, partono le operazioni di calcolo ed è visualizzata una maschera che mostra il processo di conversione (RAMS2WAV.EXE).



Da .WAV a .TIM
 Scegliendo questa opzione la maschera principale è leggermente modificata e si presenta come sotto.

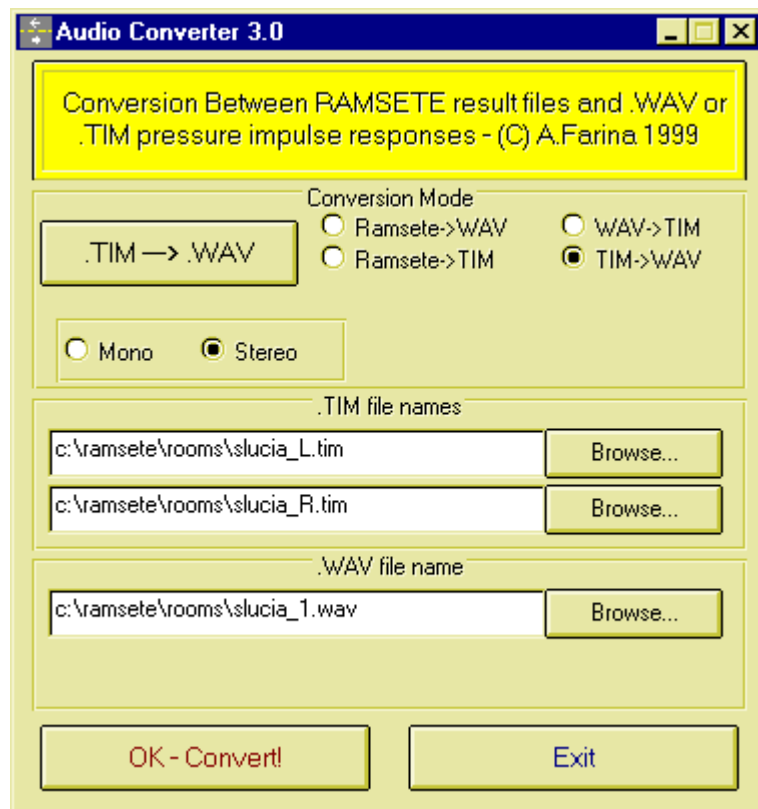


In questo caso è possibile convertire un file stereo .WAV in due file .TIM e scegliere l'opzione appropriata per il tipo di misura MLSSA (I.R. o Scope). Inoltre è possibile eseguire una sorta di calibrazione della risposta all'impulso imponendo il valore complessivo dell'SPL. Una volta avviato il convertitore, si visualizzerà la maschera sotto, relativa al programma WTOTIMNT.EXE

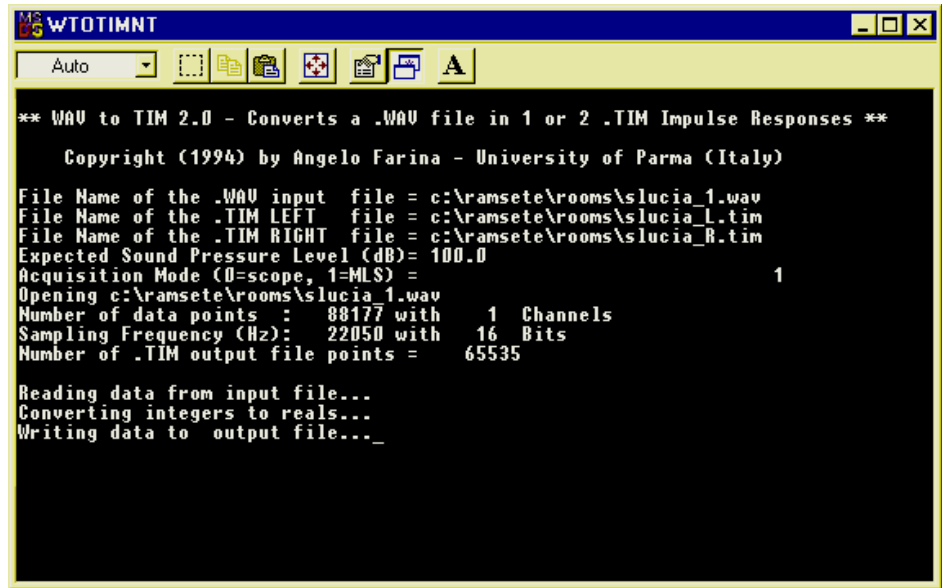


Da TIM a WAV

E' l'operazione inversa di quella sopra descritta. La maschera iniziale si presenta come sotto.



In questo caso è possibile scegliere l'opzione sia mono sia stereo; in quest'ultimo caso due file .TIM sono convertiti in un file .WAV. In questo caso parte l'eseguibile TTOWATNT.EXE



4.7. Ramsete Convolver

Permette il processo di auralizzazione; il funzionamento prevede il campionamento a 44.1 Hz. I file, il segnale anecoico da convolvere e la risposta all'impulso, devono essere trascinati (nel senso proprio del termine) dalla directory in cui si trovano alle righe corrispondenti dell'immagine sotto riportata. Scelto il nome e il percorso del file in cui riportare i risultati, può essere avviato il processo di convoluzione.



5. ESEMPI

Gli esempi sono la parte fondamentale del manuale. Nel seguito saranno esposti alcuni casi reali e si descriveranno passo per passo le procedure seguite. Questi esempi non sono solo un modo per imparare ad utilizzare un modello di calcolo, ma possono essere visti come uno strumento attraverso il quale imparare 'ad accorgersi' di alcuni particolari che solo un occhio più esperto talvolta può cogliere. Con il manuale saranno forniti anche i file della geometria e dei risultati ottenuti in modo tale che l'utente possa ripercorrere lo stesso percorso di seguito descritto e confrontare i risultati ottenuti con quelli proposti.

Si ricorda che Ramsete si differenzia a seconda se l'intervento è inerente ad un'opera già esistente o ancora da costruire.

Nel primo caso occorrerà effettuare delle misure in loco, quali il tempo di riverbero e la mappatura dell'SPL, per poter tarare il modello. Nel caso infatti di un intervento su costruzioni già esistenti, è bene sfruttare appieno la possibilità di studio dello stato di fatto, al fine di comprendere a fondo le problematiche specifiche dell'intervento e poter scegliere così le soluzioni più appropriate. Inoltre, partendo da una condizione reale e misurabile, si ha la possibilità di tarare lo stato di fatto. Fermo restando poi che eventuali differenze fra i risultati sperimentali e quelli calcolati sono da imputarsi, non tanto al modello di calcolo, più volte testato, quanto ai dati che si sono forniti al calcolatore (geometria, materiali ecc...), la taratura del programma consiste nel modificare i dati in ingresso e la loro precisione, fino ad ottenere risultati congruenti con la realtà. Da questo punto in avanti il programma sarà affidabile e si potranno "prevedere" in tempi irrisori i risultati di un qualsiasi intervento semplicemente variando i dati in ingresso. A questo punto risulta possibile il processo di "progettazione iterativa", necessario in certi casi ma irrealizzabile in pratica.

Nel caso in cui invece si stia lavorando quando ancora l'edificio non esiste, e quindi non si abbia la possibilità di effettuare misure, normalmente viene richiesta una minore precisione dell'elaborazione; tramite la simulazione numerica sarà possibile all'acustico proporre un più ampio ventaglio di soluzioni progettuali, si conosceranno meglio le caratteristiche dei materiali da scegliere e si potrà stimare il beneficio ottenibile, anche se ovviamente i risultati avranno, in assenza di taratura, una minore accuratezza.

Di seguito riportiamo quattro studi di altrettante sale per i quali è stato utilizzato a fondo Ramsete.

PROGETTO DELLA SOFFITTATURA DEL TEATRO BUERO VALLEJO A MADRID

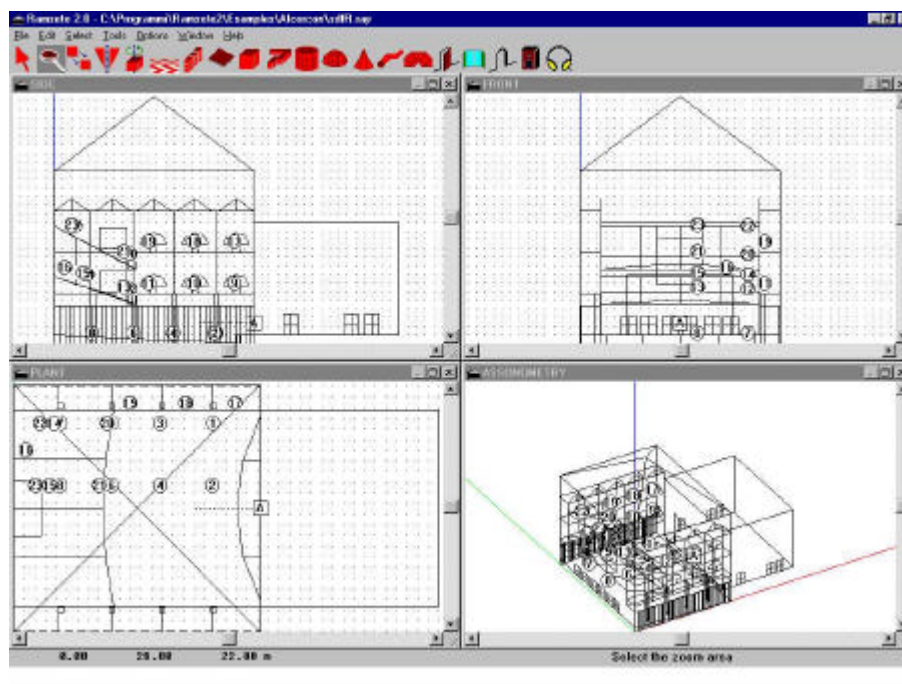
Si tratta di un edificio esistente per il quale risulta necessario operare un intervento risolutivo di alcuni problemi insorti. Lo studio acustico è stato effettuato solo a teatro strutturalmente ultimato e non in fase progettuale dello stesso; in altre parole al momento della prima sessione di misure acustiche il teatro era già in essere, la sua forma geometrica determinata ed invariabile e, benchè allora l'interno del teatro risultasse ancora allo stato "grezzo", anche i vari materiali di rivestimento (legno, moquette, poltrone, tappezzeria, ecc.) erano già stati fissati. Inoltre il budget a disposizione era tale per cui è stato obbligatorio limitare la tipologia e la finalità dell'intervento, concentrando l'attenzione sulla eliminazione o comunque sulla riduzione dei deficit acustici più gravi ed evidenti, addivenendo, gioco forza, ad un com-

promesso dettato, lo si sottolinea di nuovo, solo ed esclusivamente dai limiti economici imposti.

Presso il teatro sono state eseguite misure in situazione di teatro "nudo" cioè privo di ogni rivestimento e/o allestimento.

Data la simmetria della pianta del teatro, si è convenuto di eseguire 23 misure solo in una metà del teatro stesso, essendo l'altra metà speculare; di questi 23 punti, 8 erano situati in platea, 3 nella prima fila di palchi, 5 nella gradinata di primo ordine, 3 nella seconda fila di palchi e infine 4 nella gradinata di secondo ordine.

La disposizione di tali punti è mostrata nella figura sotto.



Per ogni punto di rilievo si sono effettuate misure secondo due distinte metodologie; la prima prevedeva l'emissione di rumore *MLS* da parte del diffusore acustico e la successiva analisi del segnale mediante il sistema *MLSSA*; la seconda prevedeva invece come sorgente di rumore il colpo di pistola nonché la registrazione del colpo stesso e del successivo decadimento sonoro su *DAT*: successivamente ogni singola registrazione è stata analizzata mediante il sistema per analisi acustiche *MLSSA* in modalità di acquisizione passiva.

Per ogni punto e per ogni singola metodologia di misura è stato eseguito, tramite l'uso della testa artificiale, un duplice rilievo, cioè uno per l'orecchio destro e uno per l'orecchio sinistro; in altre parole per ogni punto è stata eseguita una misura binaurale.

Il sistema di analisi mediante stimolo *MLS* presenta rispetto a metodologie più tradizionali una serie innumerevole di vantaggi; un unico problema in realtà si presenta quando è necessario eseguire rilievi in ambienti molto riverberanti. In questo caso, poiché ciò che il sistema in realtà misura è la *PIR* cioè la Periodic-Impulse-Response o Risposta all'Impulso Periodica, capita che il segnale emesso dal sistema non sia sufficientemente decaduto dal punto di vista energetico durante l'intero periodo di una sequenza e quindi si ripresenti all'ingresso del sistema di analisi e si vada a sommare al segnale di un nuovo ciclo. Questo comportamento, noto come Time Aliasing, stanti gli attuali limiti superiori nell'ordine della massima sequenza generabile, limita l'analisi in banda audio estesa (20 Hz - 20 kHz) ad ambienti i cui

tempi di riverbero non superano i 2,3 s; se il valore di T_{60} supera questi limiti è necessario ridurre l'intervallo di frequenze analizzate.

È proprio per ovviare a questo inconveniente che sono state adottate entrambe le metodologie: quella *MLS* e quella tradizionale del colpo di pistola: anche in quest'ultimo caso, mediante il sistema *MLSSA*, è possibile, selezionando un particolare modo di acquisizione di segnale, estrarre, dalla registrazione dello sparo, la Risposta all'Impulso la quale non risulta essere affetta dai problemi di alias temporale; oltre a ciò il colpo di pistola, essendo l'impulso dello sparo caratterizzato da un contenuto energetico molto elevato, risulta essere maggiormente efficace nella determinazione della presenza di echi all'interno della Risposta all'Impulso.

È infine ovvio che l'adozione di entrambe le metodologie di misura consente di verificare, mediante confronto diretto, volta per volta l'attendibilità e la conformità delle Risposte all'Impulso e dei risultati ottenuti.

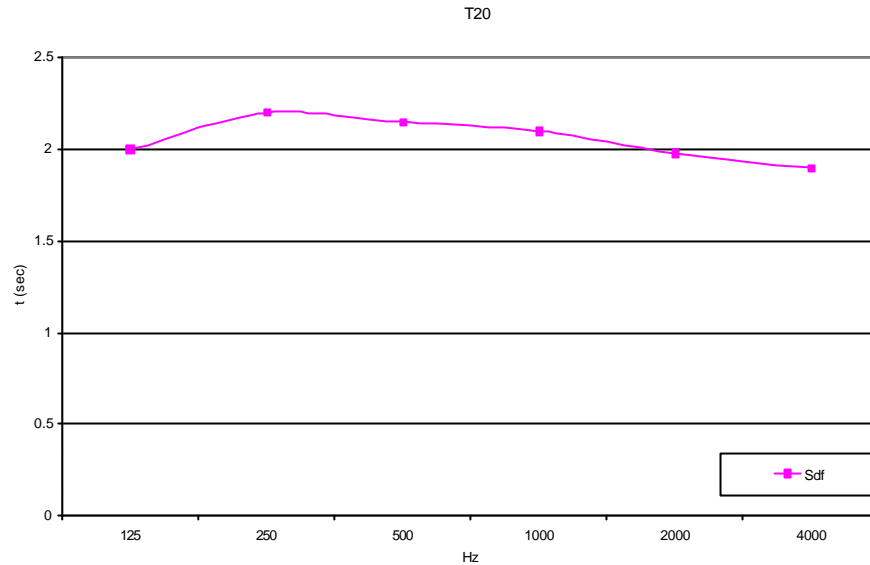
Cerchiamo ora di interpretare i risultati delle misure, in modo da riuscire a tradurli in una fotografia attendibile della situazione acustica del teatro nella sua configurazione "nuda", cioè senza rivestimenti e/o allestimenti, quale era al momento dell'esecuzione delle misure.

I dati rilevati hanno portato ai seguenti risultati:

- Il Tempo di Riverbero, nonostante le misure siano state eseguite a teatro completamente vuoto e senza alcun materiale di allestimento e/o rivestimento, risulta già notevolmente basso. Ciò probabilmente è dovuto ad una serie di motivi di cui i più accreditati sono i seguenti:
 - i.* il tipo di mattone e di malta cementizia impiegati all'interno del teatro risultano particolarmente porosi; di conseguenza il loro potere fonoassorbente è maggiore di quello riscontrabile usualmente nel materiale edile;
 - ii.* il rivestimento in legno delle facciate dei palchi e dei bordi delle balconate risulta anch'esso molto assorbente da un punto di vista acustico a causa anche dell'intercapedine presente dietro al rivestimento stesso.
- L'analisi dell'andamento del Tempo di Riverbero T_{20} medio, mostra una notevole regolarità, sia in funzione della frequenza sia in funzione della posizione spaziale.

In altre parole il Tempo di Riverbero presenta un andamento uniformemente decrescente con la frequenza, il che è logica conseguenza del fatto che sia l'assorbimento dovuto all'aria, sia il coefficiente di assorbimento acustico α dei materiali allora presenti nel teatro, sono funzioni crescenti della frequenza. Il fatto che rispetto al valor medio il valore massimo e quello minimo presentino scostamenti minimi, e comunque conservino lo stesso andamento qualitativo, depone a favore di una buona omogeneità spaziale del campo acustico: spostandosi da un punto all'altro del teatro un generico osservatore non noterà grosse variazioni nel Tempo di Riverbero.

Sotto è riportato l'andamento del T_{20} misurato (*Sdf*); le frequenze considerate si estendono da 125 a 4000 Hz essendo l'analisi significativa solo per questo campo di frequenze; al di fuori si riscontrano comportamenti anomali.



I bassi valori di Tempo di Riverbero fanno supporre che, all'atto dell'introduzione nel teatro dei vari materiali di rivestimento e allestimento (poltroncine imbottite, quinte, tendaggi, moquette, ecc.), essi sarebbero diminuiti ulteriormente, a causa appunto dell'aumentato numero di unità assorbenti. Se a ciò si aggiunge la presenza, a teatro operativo, di circa 1000 persone, appare subito evidente che uno dei rischi maggiori è che il teatro risulti eccessivamente sordo, cioè poco riverberante: in particolare la zona terminale della platea, incassata sotto la prima balconata, può risultare critica dato che il campo acustico è ivi quasi totalmente identificabile col Suono Primario. Possono essere osservati altri problemi che possono influenzare la scelta finale della soluzione:

- man mano che ci si sposta verso il fondo della platea i valori diminuiscono a riprova della carenza di Prime Riflessioni in tale zona; tale comportamento è ancora più evidente salendo verso gli ordini più alti, e quindi allontanandosi dalla sorgente: i valori diventano più negativi il che si traduce in una progressiva perdita di trasparenza sonora.
- si verificano fenomeni di eco nella balconata di 2° ordine.

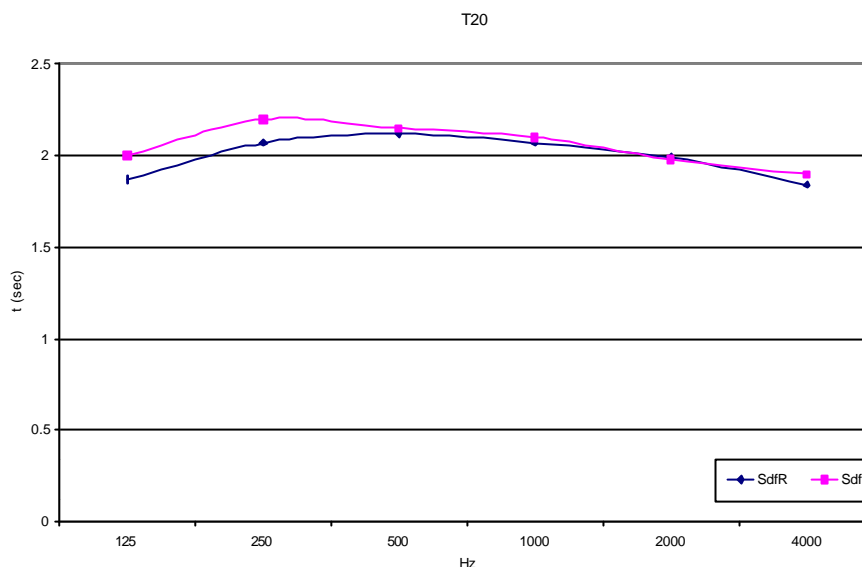
Si dovrà quindi ipotizzare una sorta di controsoffittatura che svolga i seguenti compiti:

- rimuova gli Echi dovuti al soffitto originale.
- aumenti la quantità di Prime Riflessioni che interessano la balconata superiore.
- lasci invariato il Tempo di Riverbero, cioè non introdurre ulteriori unità assorbenti.

Simulazioni acustiche con Ramsete e progetto.

Al termine del processo di tracciamento si ha una Risposta all'Impulso determinata numericamente. La correttezza dei dati simulati dipende in modo stretto dalla prima fase di messa a punto del modello "virtuale"; in altre parole una volta costruito il modello tridimensionale dell'ambiente in esame (modello che ovviamente dovrà possedere un grado di precisione e di dettaglio tanto più elevato quanto maggiore è la richiesta di precisione nei calcoli successivi) si tratta di eseguire

un'ampia serie di simulazioni, correggendo di volta in volta il modello mediante variazioni nell'assegnazione dei coefficienti di assorbimento o variazioni nella griglia dei ricevitori, finché il dato teorico non coincide, all'ordine di precisione desiderato, con il dato sperimentale preventivamente ottenuto. Sotto è riportato l'andamento del T20 misurato (Sdf) e calcolato (SdfR).



Giunti a questo punto è allora corretto ipotizzare che, poiché il modello teorico fornisce gli stessi risultati acustici ottenuti sperimentalmente e quindi descrive correttamente il dato reale, qualsiasi variazione si andrà ora ad introdurre nel modello teorico descriverà altrettanto correttamente la situazione ipotetica finale. In questo modo si è in grado di ipotizzare interventi di natura acustica e analizzarne il risultato finale a solo livello simulativo.

L'ulteriore aspetto innovativo consiste nel fatto che dalla determinazione della nuova Risposta all'Impulso relativa alla situazione modificata si è in grado di analizzare la validità dell'ipotetico intervento, non solo mediante ispezione dei dati numerici relativi ai vari parametri acustici, ma anche mediante l'ascolto in cuffia della realtà acustica finale. In altre parole una volta determinata ad esempio la Risposta all'Impulso relativa al punto di ricezione situato nella quinta poltrona della settima fila di platea, è possibile preascoltare come sentirà l'ipotetico ascoltatore che si trovi in quel punto.

I ricevitori nel modello sono stati posizionati negli stessi punti corrispondenti ai punti di misura.

L'accordo con i dati sperimentali è stato ottenuto dopo una notevole serie di simulazioni, in quanto le caratteristiche acustiche di alcuni dei materiali impiegati all'interno del teatro non corrispondevano ad alcuna di quelle riportate nell'ampio database di materiali contenuto all'interno del software Ramsete.

Il problema da risolvere necessariamente è quello delle balconate, quindi:

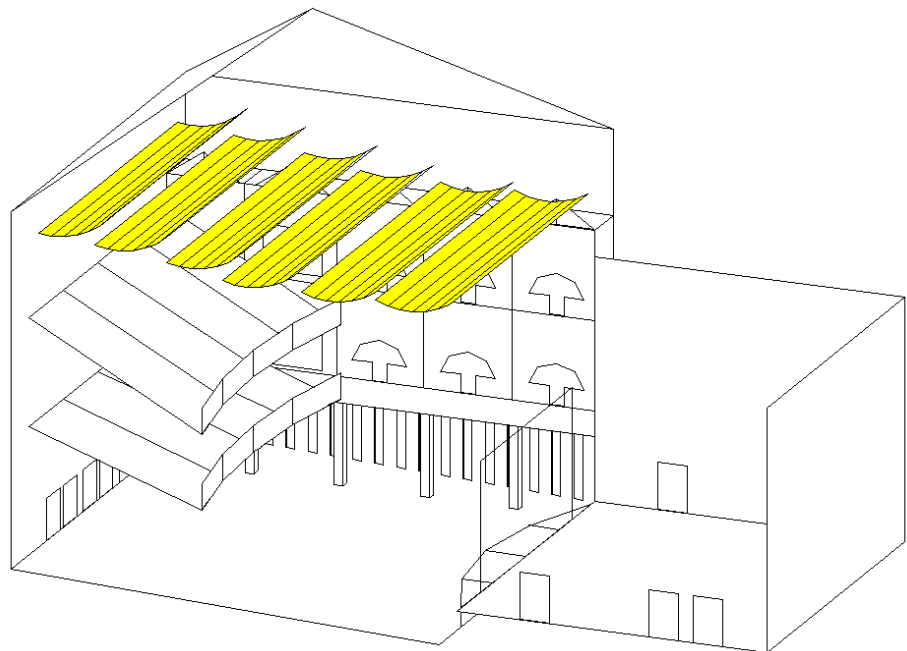
- minor gravità del difetto acustico;
- minor quantità di spettatori interessati dal deficit.

In linea di massima si dovrà:

- evitare di introdurre materiali acusticamente assorbenti nell'ambiente;
- aumentare il numero di Prime Riflessioni interessanti le balconate;
- eliminare o ridurre sensibilmente gli Echi interessanti le balconate.

In altre parole non è pensabile effettuare, ad esempio, un intervento di tipo tradizionale dove il problema insito nel soffitto venisse risolto mediante copertura dello stesso con grandi quantità di materiale fonoassorbente, perché ciò determinerebbe l'eliminazione degli Echi, ma di converso ridurrebbe il Tempo di Riverbero ed eliminerebbe tutte quelle Prime Riflessioni positive provenienti dal soffitto stesso e interessanti le balconate.

L'ipotesi avanzata consiste invece in un soffitto composto di segmenti cilindrici, con la curvatura disposta lungo l'asse trasversale del teatro, disposti secondo altezze leggermente crescenti man mano che ci si allontana dal palcoscenico. Lo spazio esistente tra un segmento cilindrico e l'altro consente al volume retrostante di contribuire positivamente alla formazione del campo riverberante, ed è stato calcolato in modo tale che una generica sorgente posta sul palcoscenico non possa vedere (nel senso ottico del termine) tale spazio; in tal modo viene scongiurato il pericolo che qualche onda diretta generata dalla sorgente possa infiltrarsi nell'intercapedine, colpire il soffitto originale e uscire all'esterno, riproducendo così quei fenomeni di eco che si vuole evitare. La non visibilità delle intercapedini da parte della sorgente garantisce che i raggi acustici penetranti all'interno del volume retrostante il controsoffitto ipotizzato, siano comunque riflessioni di 1° ordine o superiori, il che si traduce perlomeno in una riduzione dei fenomeni di eco.



La soluzione proposta - sdp

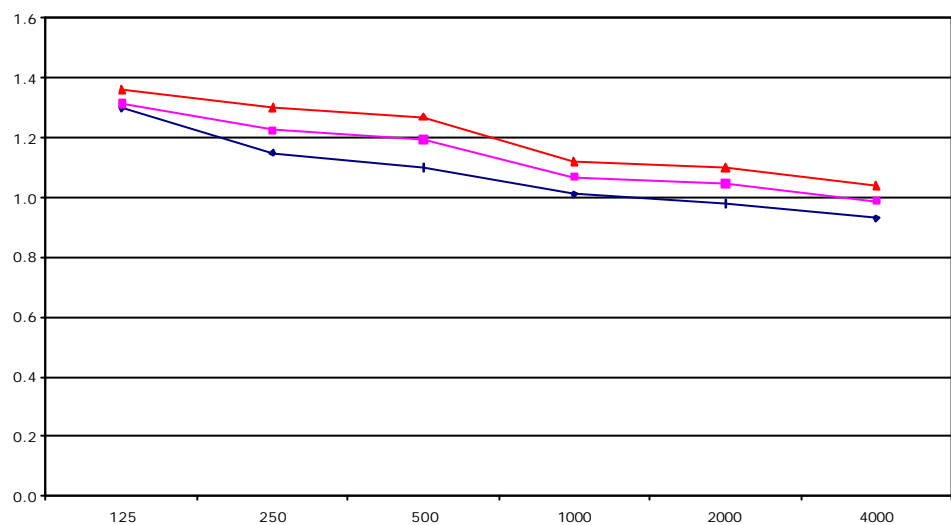
Dopo il necessario confronto con il progettista sull'accettabilità dell'ipotesi dal punto di vista estetico, si provvede a formulare l'ipotesi finale, consistente appunto nel posizionamento di una controsoffittatura composta da segmenti cilindrici; tali segmenti presentano una superficie fortemente riflettente nei confronti dell'uditorio del teatro in quanto costituiti di pannelli di fibra di vetro, mentre sulla parte

retrostante (quella che guarda il soffitto originale) si stato applica un materassino, di scarso spessore, di materiale fonoassorbente, per evitare che le onde uscenti dalle intercapedini, generate dalle molteplici riflessioni prodotte dal soffitto originale, siano caratterizzate da un eccessivo contenuto energetico.

Il miglioramento delle caratteristiche acustiche consiste nell'abbassamento del Tempo di Riverbero che si porta su valori ottimali, mentre gli Indici di Chiarezza, il Tempo Baricentrico e l'Intelligibilità del Parlato aumentano sensibilmente.

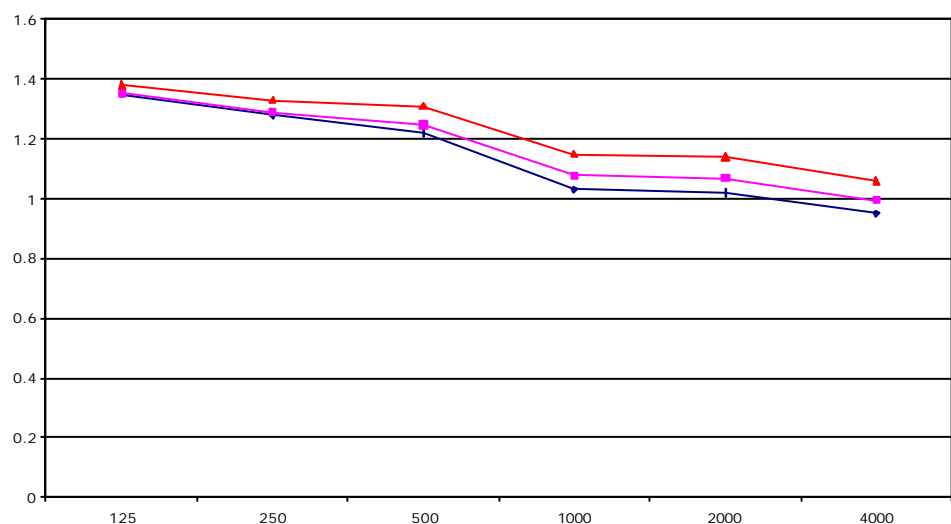
Di seguito sono mostrati i risultati delle simulazioni effettuate relativamente a tale ipotesi (considerata anche l'introduzione dei cosiddetti materiali di arredamento, e cioè poltrone, moquette, tendaggi, ecc.).

T20 punti 1-7

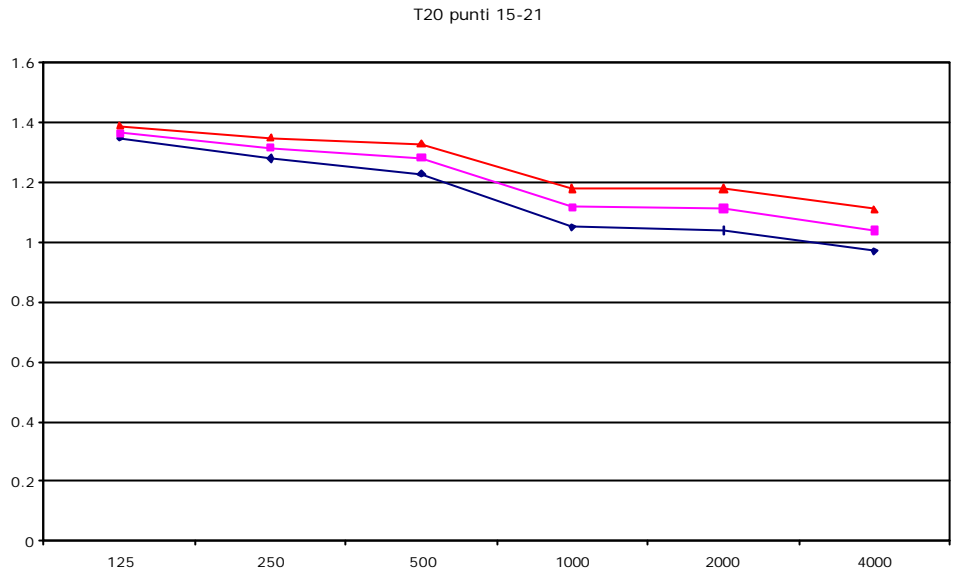


Valore minimo, medio e massimo del T_{20} previsto con Ramsete secondo l'sdp-R nei punti di misura 1-7 previsti.

T20 punti 8-14



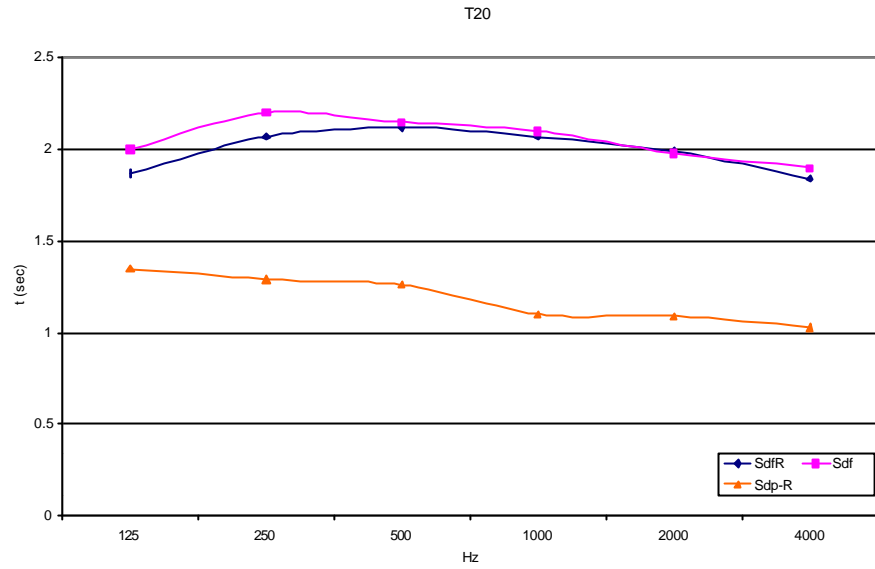
Valore minimo, medio e massimo del T_{20} previsto con Ramsete secondo l'sdp-R nei punti di misura 8-14.



Valore minimo, medio e massimo del T_{20} previsto con Ramsete secondo l'sdp-R nei punti di misura 15-21.

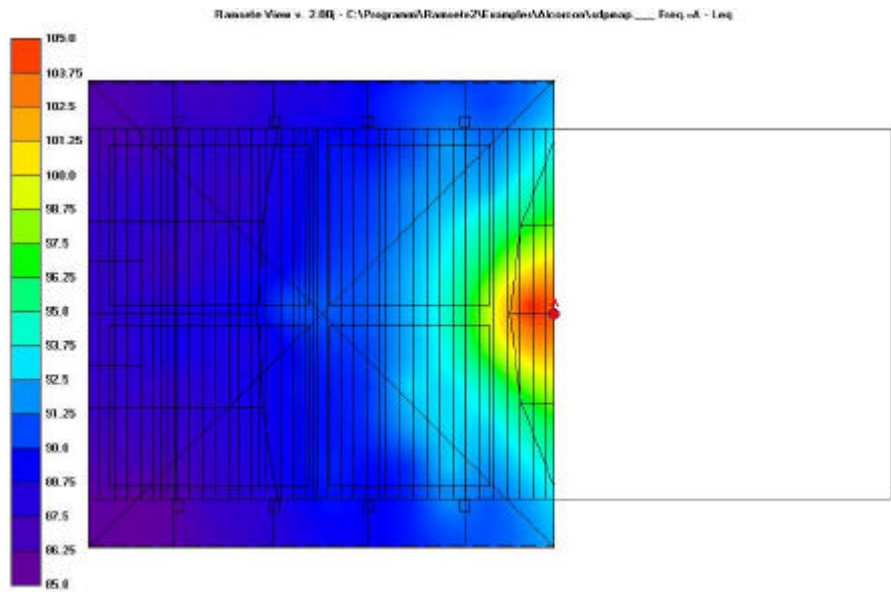


Valore minimo, medio e massimo del T_{20} previsto con Ramsete secondo l'sdp-R nei punti di misura 22-23.

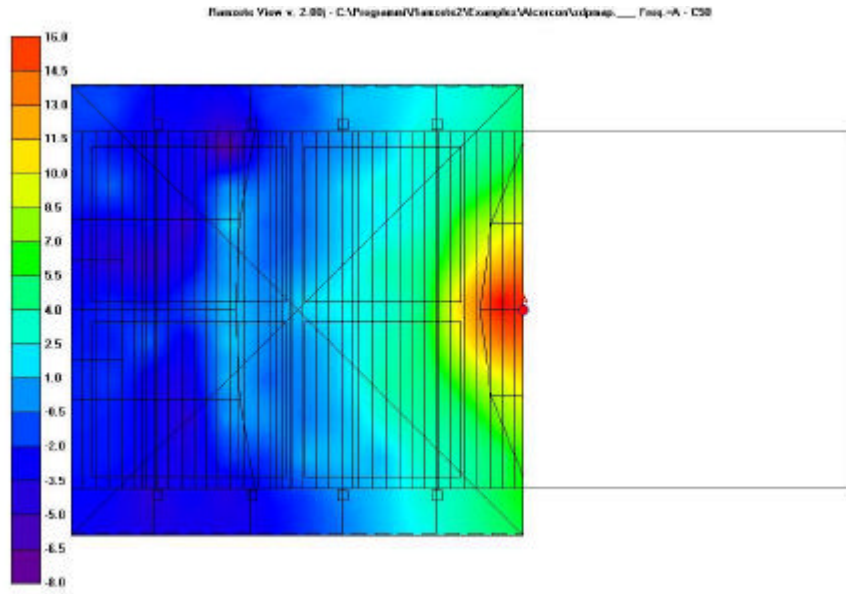


T20 misurato a teatro vuoto (Sdf), T20 a seguito della taratura del modello (Sdf-R) e T20 del teatro previsto dal modello con la soluzione proposta.

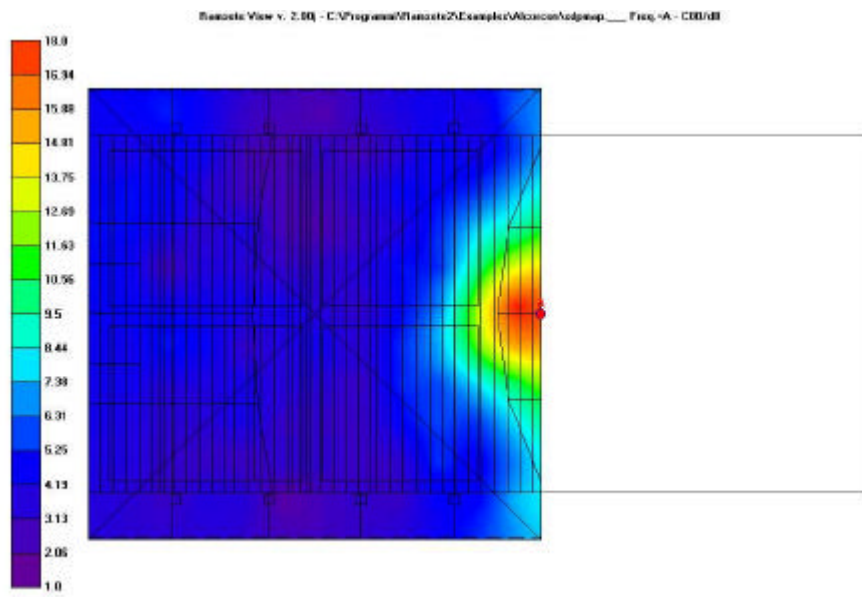
Si riportano di seguito alcune mappe relative ai risultati derivanti dalla previsione acustica con la soluzione proposta.



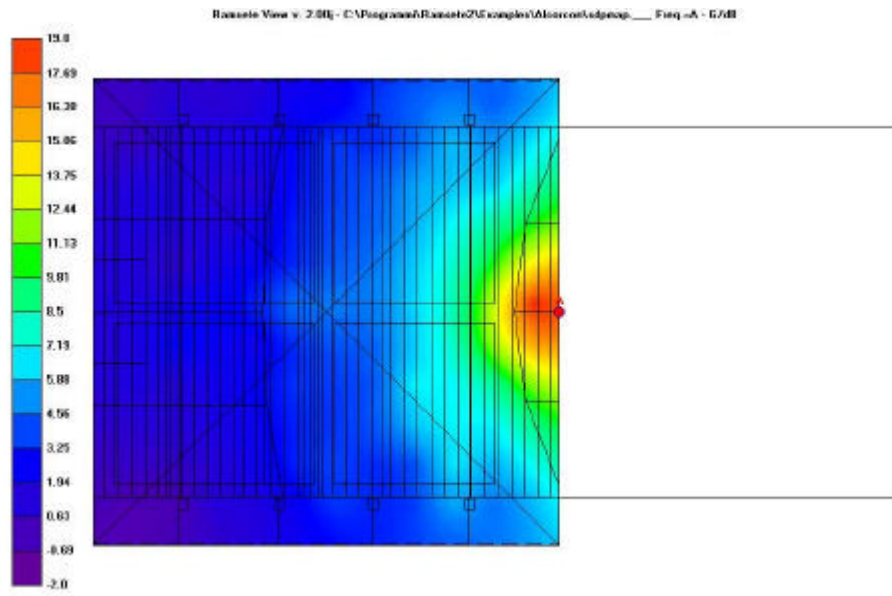
Lee (dBA)



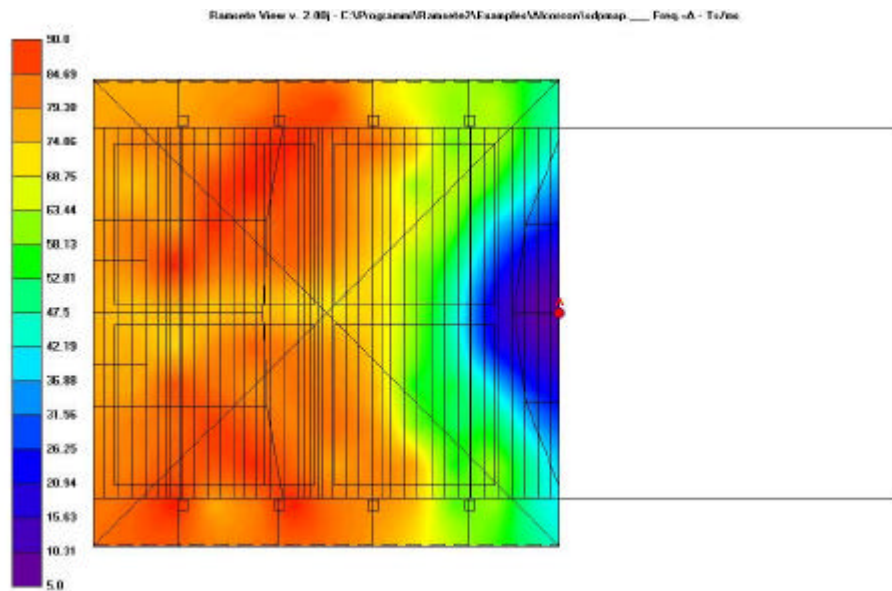
C50



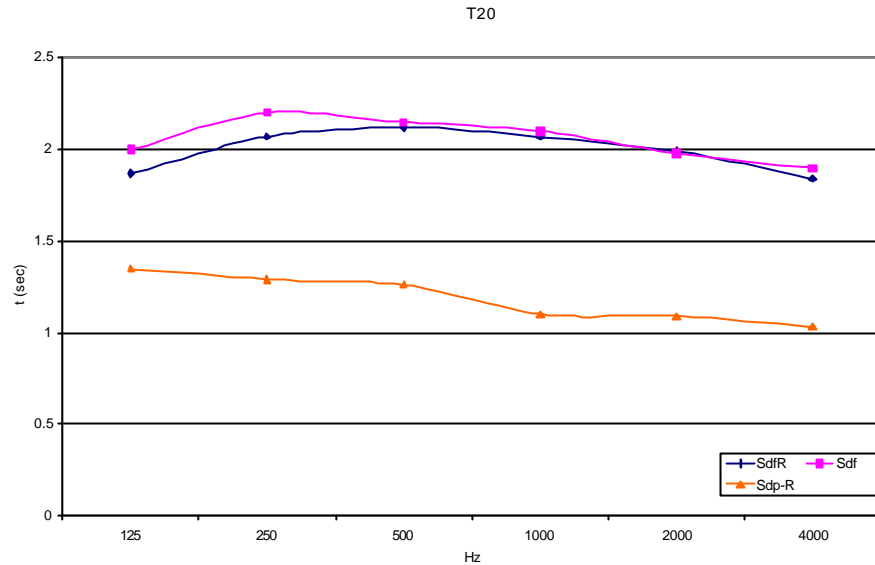
C80



G



Ts



T20 misurato (Sdf), calcolato con Ramsete (Sdf-R) e della proposta progettuale (Sdp)

Per motivi di ordine tecnico in realtà il controsoffitto installato nel teatro differisce leggermente da quello progettato; da un lato infatti non è possibile costruire preventivamente il controsoffitto in Italia in 6 blocchi di 15 metri di lunghezza ciascuno, ma va ovviamente segmentato in pezzi di dimensioni inferiori; dall'altro il numero di segmenti longitudinali del controsoffitto è ridotto perché la localizzazione dei possibili punti di ancoraggio sul soffitto originale non consente, nè da un punto di vista strutturale nè da un punto di vista pratico, il fissaggio nelle posizioni indicate nel progetto acustico originale. Ovviamente per mantenere costante la superficie del controsoffitto, stante la riduzione del numero di pezzi che lo compongono, è necessario aumentare le superfici dei pezzi singoli. Relativamente a tale modifica sono state eseguite ulteriori simulazioni di verifica, i cui risultati però, non hanno mostrato variazioni sostanziali da un punto di vista acustico rispetto al progetto originario e che, per questo motivo, non vengono qui riportate.

Risulta così ultimato il progetto di intervento sul teatro.

IPOSTESI DI BONIFICA ACUSTICA PER AMBIENTI INDUSTRIALI

1° Esempio

In questo caso lo studio è finalizzato alla previsione degli scostamenti dei livelli di rumore al confine di un'area produttiva che saranno provocati dalla ristrutturazione di una parte dello stesso con il conseguente spostamento di un suo reparto.

Ai fini dello studio si procede come di seguito:

- si acquisiscono i rilievi acustici eseguiti nel sito;
- si esegue il rilievo con analizzatore di spettro di tutte le fonti di rumore all'interno dello stabilimento;
- si esegue il rilievo del rumore all'esterno dello stabilimento in corrispondenza a punti di misura interni per determinare il potere fonoisolante delle pareti;
- si esegue il rilievo del rumore di fondo esterno;

- si esegue il rilievo della geometria dello stabilimento;
- si modella la geometria mediante Ramsete CAD;
- si esegue la taratura del modello di calcolo Ramsete;
- si prevedono i livelli di rumore dopo l'intervento.

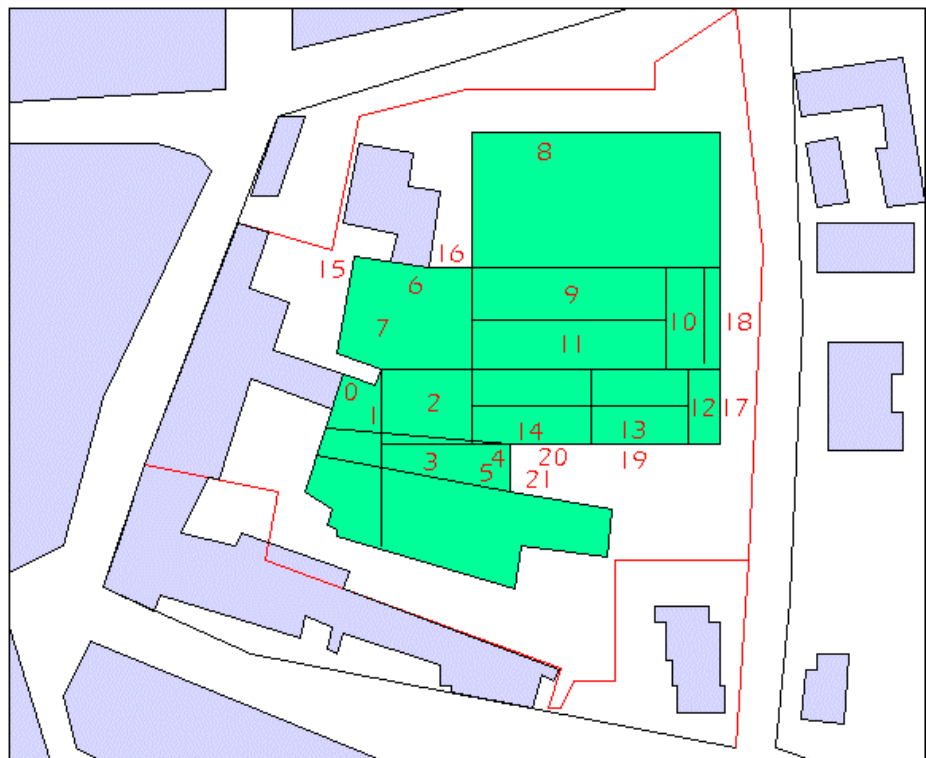
I criteri di rilevazione utilizzati sono scelti per rispondere alle indicazioni previste dalle normative di riferimento adottate ed alla vigente legislazione sulla valutazione del Livello di Esposizione dei lavoratori (D.L. 277), e alle norme di buona tecnica.

In particolare, in ogni ambiente dello stabilimento, la misura si è svolta nella situazione peggiore (tutti i macchinari attivi); è opportuno che ogni misura sia protratta fino a quando il valore evidenziato sul display dello strumento non è risultato stabile.

Sotto è riportata la mappa dei 21 punti di misura; 15 sono stati effettuati all'interno dello stabilimento, mentre i rimanenti all'esterno.

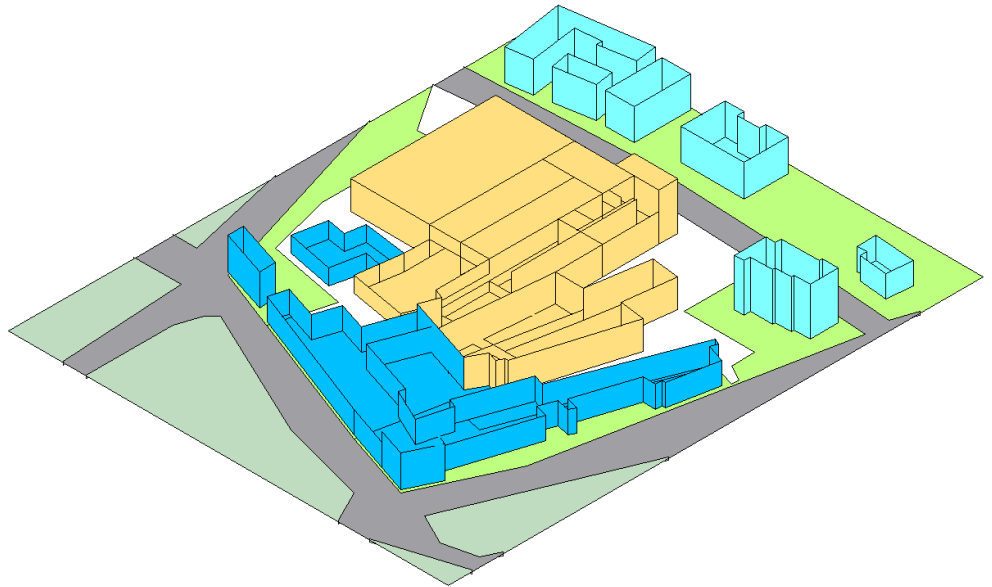
I primi 15 punti sono utilizzati per caratterizzare l'emissione di ogni singolo reparto produttivo, in modo da poter attribuire a ciascuna sorgente sonora descritta con Ramsete dati realistici.

Quelli esterni sono finalizzati a caratterizzare il rumore di fondo ed a calcolare il potere fonoisolante delle pareti.



Esempio 2 – planimetria dell'ambiente di studio

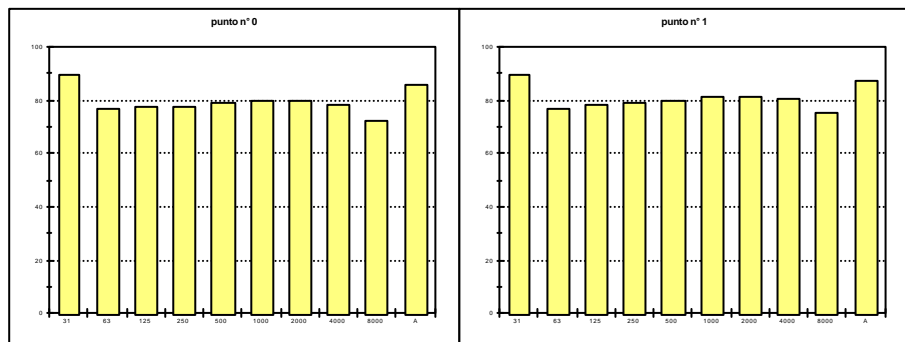
I risultati dei rilievi sono riportati nella tabella sotto; le righe con sfondo azzurro si riferiscono ai rilievi in esterno.

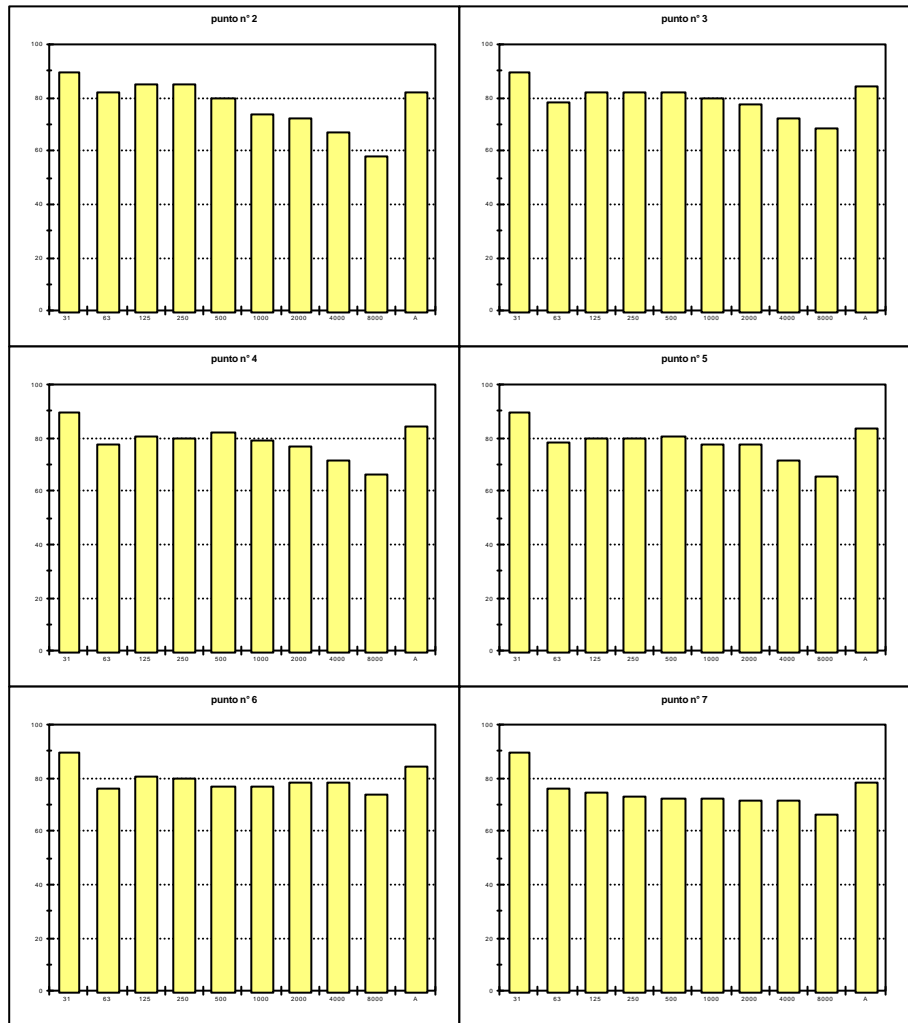


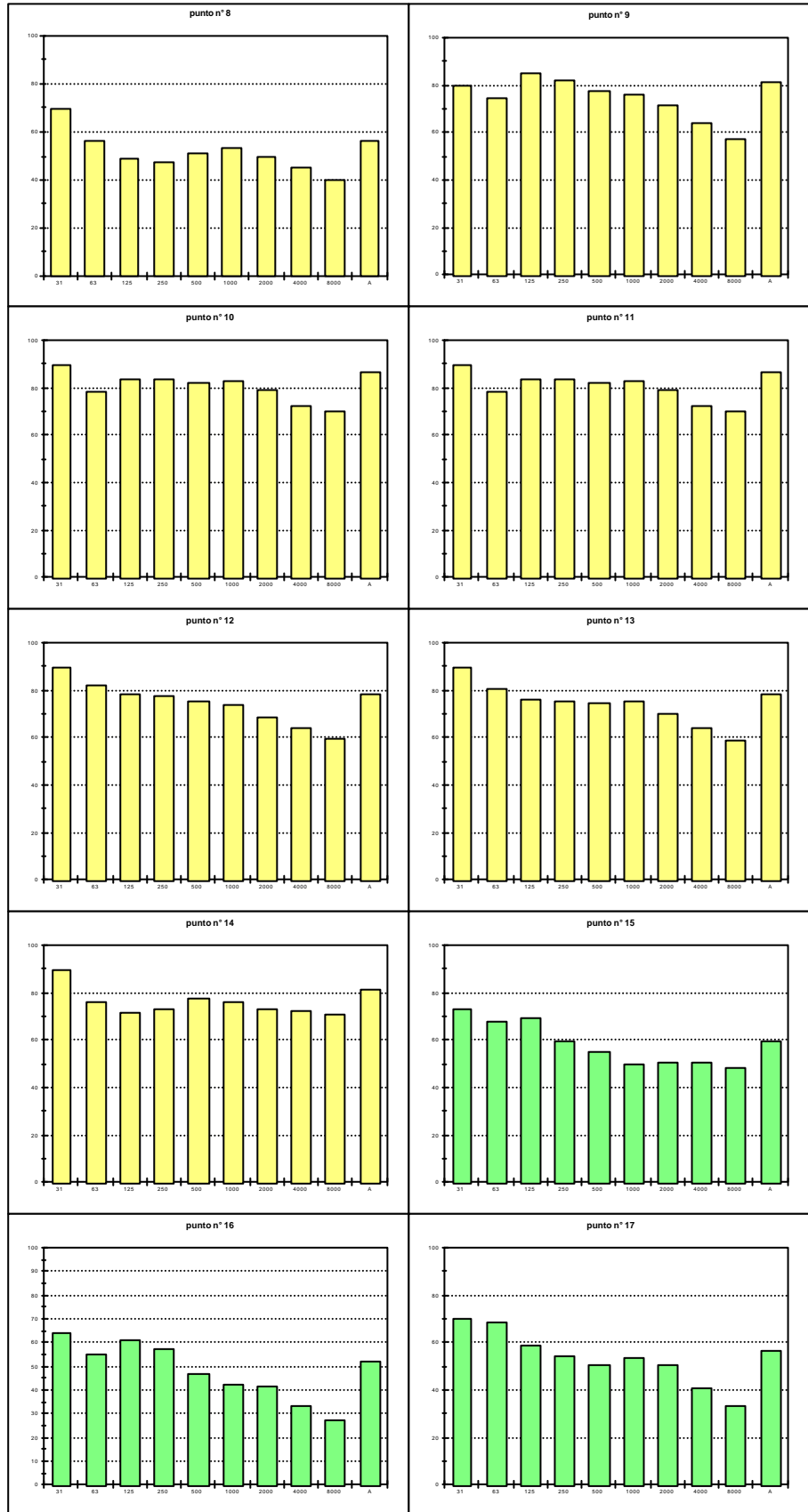
Esempio 2 – 3D dell’ambiente di studio

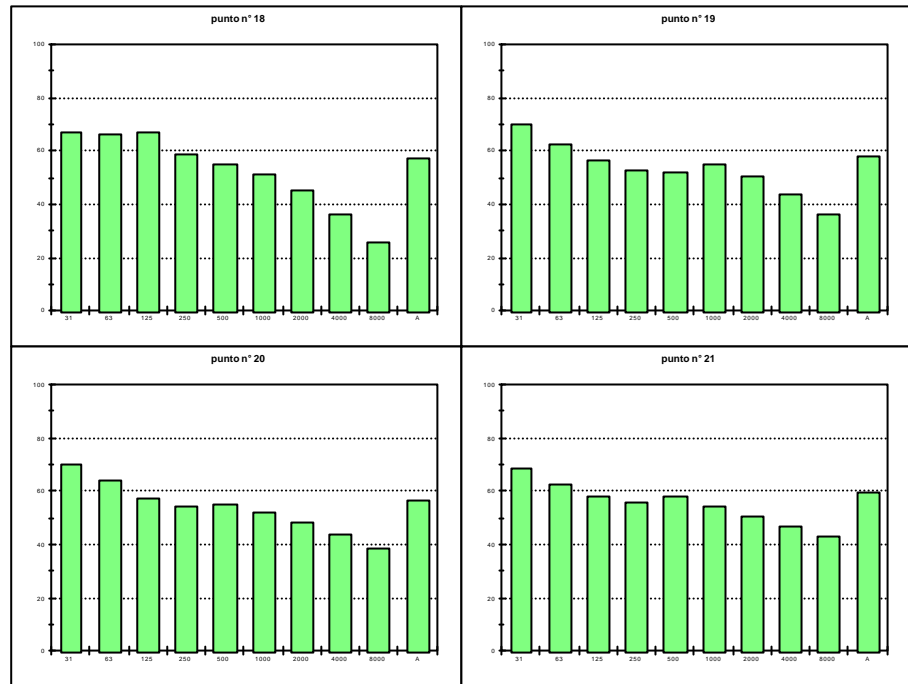
	31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	A
0	89.4	76.3	77.3	77.5	78.9	79.6	79.8	78.3	71.9	85.5
1	89.4	76.3	78.2	79.1	79.6	81.2	81.4	80.4	74.9	87.2
2	89.4	81.8	85.0	85.3	79.7	73.9	72.0	67.1	58.3	81.7
3	89.4	78.1	82.1	82.1	82.3	79.5	77.2	71.9	68.5	84.5
4	89.4	77.6	80.1	79.6	81.6	78.8	76.7	71.4	66.0	83.8
5	89.4	78.3	80.0	79.9	80.2	77.8	77.1	71.4	65.8	83.2
6	89.4	76.2	80.5	79.3	77.0	76.8	78.3	78.5	73.8	84.5
7	89.4	76.2	74.8	72.7	72.5	72.0	71.8	71.1	66.1	78.2
8	69.4	56.2	48.9	47.1	51.4	53.1	49.3	45.5	40.3	56.4
9	79.5	74.8	84.6	82.3	77.5	76.0	71.8	63.8	57.1	80.8
10	89.4	78.0	83.2	83.5	82.2	82.5	79.1	72.4	70.0	86.3
11	89.4	78.0	83.2	83.5	82.2	82.5	79.1	72.4	70.0	86.3
12	89.5	81.8	78.0	77.3	75.0	74.0	68.6	63.9	59.7	78.0
13	89.4	80.7	75.7	75.0	74.5	75.0	70.1	63.7	58.8	78.2
14	89.4	76.2	71.3	73.2	77.6	75.6	72.7	72.5	70.5	80.9
15	72.9	67.8	68.9	59.7	54.7	49.6	50.6	50.4	47.9	59.5
16	63.6	55.3	61.3	57.5	46.8	42.1	41.1	33.2	27.2	52.3
17	69.8	68.7	58.9	54.0	50.4	53.3	50.1	40.9	32.9	56.8
18	66.6	66.5	66.9	58.4	54.6	51.4	45.5	35.9	26.0	57.4
19	70.2	62.6	56.7	52.8	52.3	54.9	50.1	43.6	36.5	57.7
20	70.1	64.0	56.9	54.2	54.8	52.1	48.4	43.6	38.8	56.8
21	68.8	62.1	57.6	55.5	58.2	54.5	50.1	46.4	42.6	59.3

Sotto sono riportati gli spettri di emissione delle sorgenti esistenti.







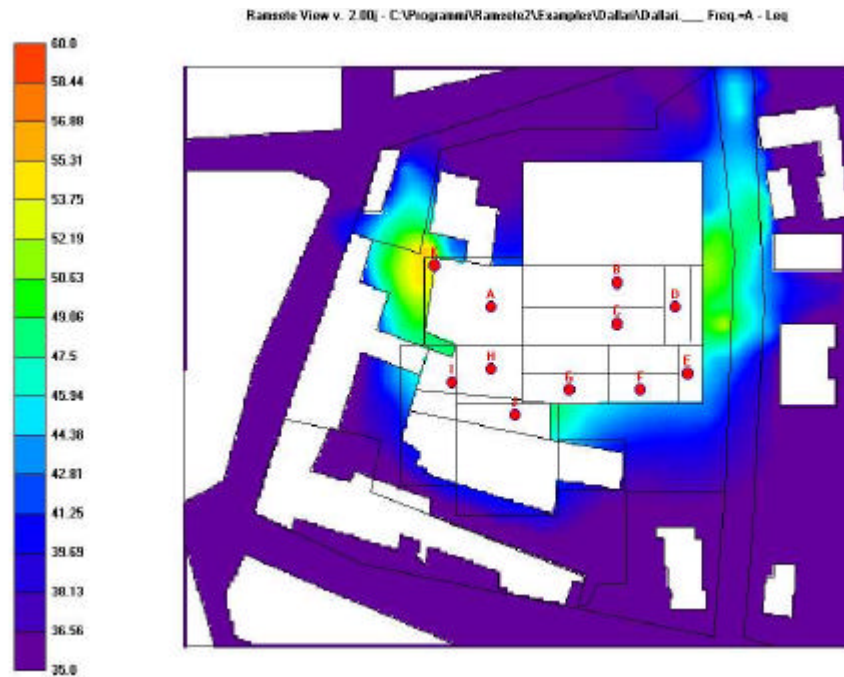


Gli spettri e la determinazione della potenza sonora delle sorgenti sono fondamentali per creare le sorgenti nel modello attraverso il Source Manager.

	31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
A	103.4	90.2	88.8	86.7	86.5	86.0	85.8	85.1	80.1
B	93.5	88.8	98.6	96.3	91.5	90.0	85.8	77.8	71.1
C	103.4	92.0	97.2	97.5	96.2	96.5	93.1	86.4	84.0
D	103.4	92.0	97.2	97.5	96.2	96.5	93.1	86.4	84.0
E	103.5	95.8	92.0	91.3	89.0	88.0	82.6	77.9	73.7
F	103.4	94.7	89.7	89.0	88.5	89.0	84.1	77.7	72.8
G	103.4	90.2	85.3	87.2	91.6	89.6	86.7	86.5	84.5
H	103.4	95.8	99.0	99.3	93.7	87.9	86.0	81.1	72.3
I	103.4	90.3	91.3	91.5	92.9	93.6	93.8	92.3	85.9
J	103.4	92.1	96.1	96.1	96.3	93.5	91.2	85.9	82.5
K	86.9	81.8	82.9	73.7	68.7	63.6	64.6	64.4	61.9

Noti tutti i dati di input compreso il rilievo dei materiali durante il sopralluogo per i rilievi è possibile tarare il modello di Ramsete in modo che i valori misurati siano ben approssimati da quelli calcolati dal programma. Al fine di considerare la situazione peggiore, quindi con tutti i macchinari in funzione, si potranno rilevare leggeri scostamenti tra i valori misurati e quelli previsti.

Di seguito è riportata la mappa dei livelli di pressione acustica calcolati relativi allo stato di fatto.



Esempio 3 – Stato di fatto

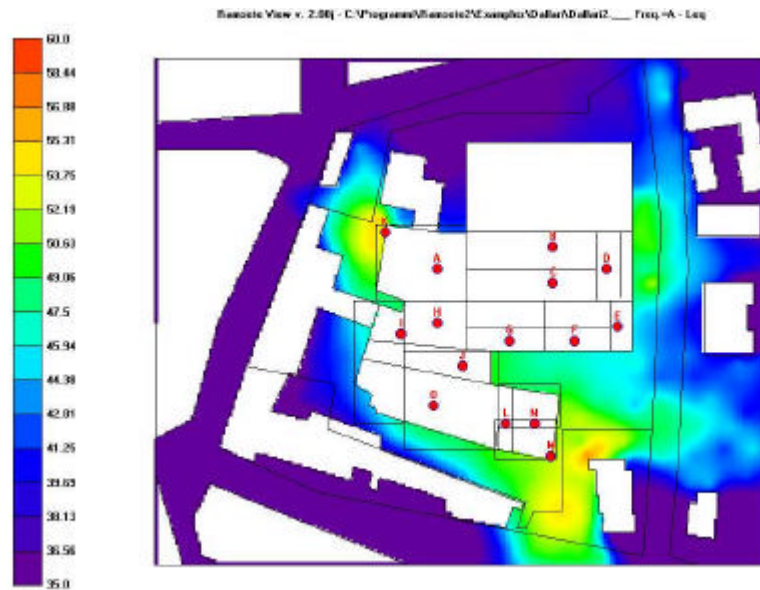
Primo intervento

Per ottenere lo stato di progetto, deve essere modificata la geometria come previsto dalla ristrutturazione: devono essere spostate le due sorgenti di rumore rappresentanti il pastore/essicatoio, l'altra il reparto impastatrici.

Per la caratterizzazione delle nuove fonti di rumore si è fatto riferimento alle macchine più simili attualmente in funzione presso lo stesso stabilimento (tabella sotto). Tali sorgenti di rumore sono denominate N ed O in figura.

In più sono state prese in considerazione altre due nuove sorgenti di rumore: il ventilatore di mandata ed il torrino di estrazione che faranno parte della nuova ala dello stabilimento (L ed M in figura).

	<i>dB(A)</i>
<i>Ventilatore di mandata</i>	63 (a 1 m)
<i>Torrino di estrazione</i>	57 (a 3 m)



Esempio 3 – Primo intervento

Come si può notare dalla mappa colorata e dalle isolivello, tale intervento comporterà un incremento del livello di rumorosità in una zona limitata, mentre in tutta la restante area, la situazione risulta rimanere pressochè invariata.

Bisogna osservare che, seppure i livelli previsti siano relativamente bassi, l'ampliamento viene effettuato proprio nelle immediate vicinanze di una costruzione di quattro piani che potrebbe quindi risentirne.

Il livello di rumorosità indotto nell'ambiente dallo stabilimento non varierà in modo significativo, se non in una zona che, purtroppo, risulta essere prospiciente ad un'abitazione.

In questo punto la rumorosità, pur aumentando in modo significativo, non raggiunge livelli preoccupanti, e in ogni caso allineati ai limiti previsti per la zona in esame.

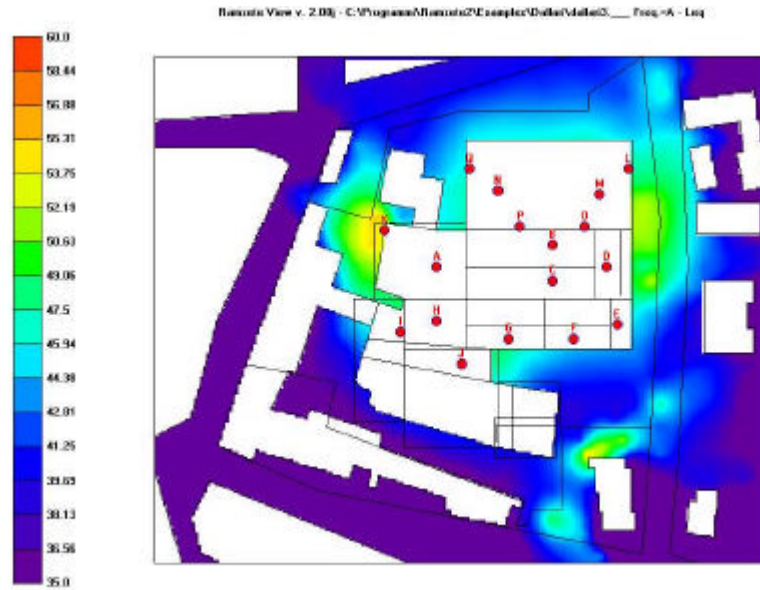
Nel caso di future lamentele, comunque, data la situazione, non dovrebbe essere difficile abbattere ulteriormente i livelli di rumore con interventi di bonifica acustica mirati.

Secondo intervento

In questo caso per ottenere lo stato di progetto, deve essere modificata la geometria come previsto dalla ristrutturazione: devono essere spostate le due sorgenti di rumore rappresentanti il pastorizzatore/essicatoio, l'altra il reparto impastatrici.

Per la caratterizzazione delle nuove fonti di rumore si è fatto riferimento alle macchine più simili attualmente in funzione presso lo stesso stabilimento. Tali sorgenti di rumore sono denominate M ed N in figura.

In più devono essere prese in considerazione altre quattro sorgenti di rumore: i ventilatori di mandata e i torrini di estrazione che faranno parte della nuova ala dello stabilimento (L, O, P e Q in figura).



Esempio 3 – Secondo intervento

Come si può notare dalla mappa colorata, tale intervento comporterà un incremento del livello di rumorosità in una zona limitata, mentre in tutta la restante area, la situazione risulta migliorare decisamente.

Le conclusioni di questo secondo studio non differiscono, nella sostanza, dal primo; se non per un miglioramento della situazione.

Infatti, rispetto allo stato di progetto precedente, in un solo punto si nota la crescita dei livelli di pressione sonora, mentre in tutte le altre zone si può riscontrare un notevole calo degli stessi.

In aggiunta, è proprio nelle vicinanze delle abitazioni che si registrano i miglioramenti più significativi.

Nel caso di future lamentele, comunque, data la situazione, non dovrebbe essere difficile abbattere ulteriormente i livelli di rumore con interventi di bonifica acustica mirati.

Si può concludere come questa variazione al progetto precedente porti a notevoli vantaggi dal punto di vista della riduzione dell'immissione di rumore nell'ambiente esterno.

Questi studi si basano su dati ipotetici (le due nuove linee non sono ancora state costruite e non ne esistono di simili da poter misurare) e quindi è inteso che, una volta montate e funzionanti (e quindi realmente misurabili) le nuove linee di produzione, possa venire modificato e completato con un maggior margine di accuratezza.

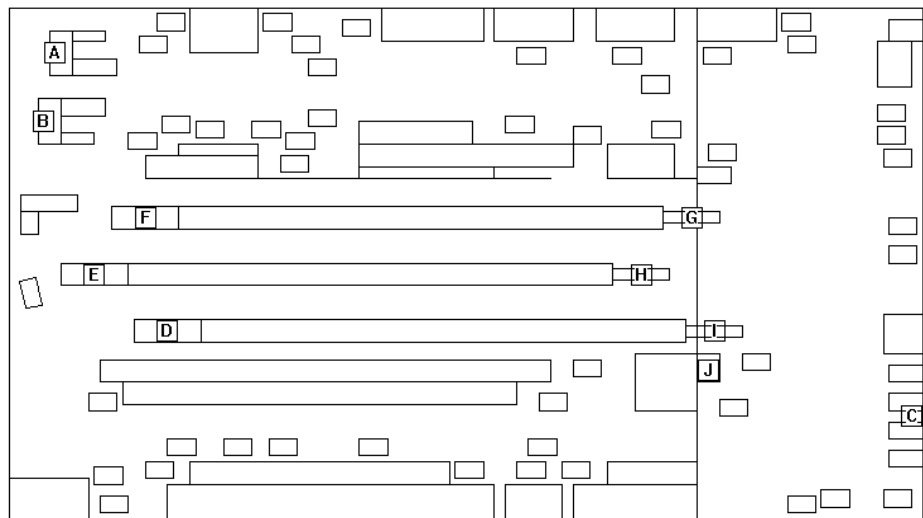
Per ottenere risultati più accurati, che cioè considerino anche del rumore di fondo, bisognerebbe proseguire lo studio con una stazione di monitoraggio in continua per 24 ore o addirittura una settimana, procedere all'analisi della storia temporale dei livelli di pressione sonora registrati, della loro distribuzione statistica ed in frequenza e, contemporaneamente, utilizzare stazioni mobili sincronizzate per saggiare il comportamento di tutta la zona studiata. Tutto ciò perché, trovandosi in un caso in cui per molta parte della giornata è prevalente il rumore esterno rispetto a quello indotto dalla fabbrica, è necessario utilizzare sistemi di misura ed elaborazione dati molto avanzati per scindere con certezza il contributo da attribuire all'attività industriale dello stabilimento in questione dal rumore di fondo vero e proprio. Visti i costi di tale operazione, se ne consiglia l'eventuale effettuazione

solo se, a lavori ultimati, a seguito di lamentele, prima di procedere ad opere di bonifica si voglia verificare se, veramente, il disturbo sia da attribuire al nuovo reparto o al rumore di fondo proprio della zona.

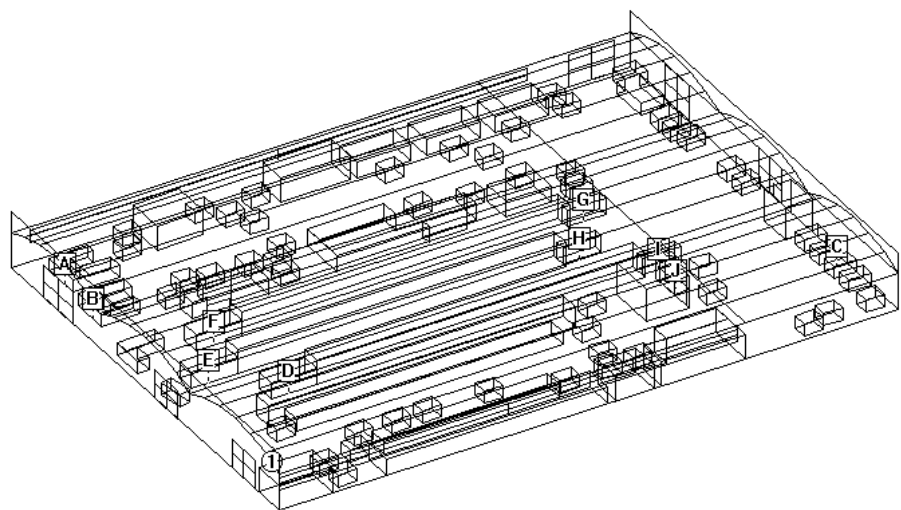
2° Esempio

Lo studio è relativo ad una realtà industriale per la stesura di un piano di risanamento acustico di un reparto produttivo; il lavoro di analisi si compone di una prima parte costituita dal rilievo dello stato di fatto, effettuato tramite misure sperimentali, e da una seconda parte previsionale sviluppata tramite il software di previsione acustica Ramsete.

L'ambiente studiato è riportato nelle figure sotto.



Esempio 3 – Planimetria dell'ambiente di studio



Esempio 3 – Assonometria dell'ambiente di studio

Attività svolte:

1. Caratterizzazione delle principali sorgenti di rumore (identificate nell'elaborazione computerizzata con le lettere A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) secondo le norme ISO 3744, utilizzando la configurazione con 5 postazioni di misura, ottenendo i seguenti risultati:

Sorgenti A e B

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	46.5	57.7	73.3	77.3	81.6	83.2	80.2	77.9	71.5
Lp(2) :	46.4	57.8	71.7	78.9	82.0	82.2	78.0	72.9	65.0
Lp(3) :	46.4	58.0	74.3	79.1	83.2	83.8	79.8	74.3	66.2
Lp(4) :	46.2	56.5	73.5	79.4	83.2	83.7	80.1	76.5	69.2
Lp(5) :	46.4	57.9	75.1	81.2	83.9	84.7	81.4	75.6	67.3
RevTime :	3.0	2.1	2.0	2.2	2.3	2.3	2.1	1.9	2.2

Sorgente C

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	45.0	54.0	66.5	75.3	79.6	86.3	80.3	76.4	72.2
Lp(2) :	41.4	52.0	66.5	76.6	79.7	85.9	79.6	75.6	71.2
Lp(3) :	40.8	51.8	63.4	74.7	79.0	84.2	79.8	76.9	73.5
Lp(4) :	45.1	52.0	65.5	75.6	81.4	85.2	79.7	76.5	72.6
Lp(5) :	41.9	53.3	67.0	77.0	79.6	85.1	79.7	76.1	72.3
RevTime :	3.2	3.1	2.3	2.5	2.6	2.4	2.2	2.0	2.0

Sorgente D

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	46.5	57.7	73.3	77.3	81.6	83.2	80.2	77.9	71.5
Lp(2) :	46.4	57.8	71.7	78.9	82.0	82.2	78.0	72.9	65.0
Lp(3) :	46.4	58.0	74.3	79.1	83.2	83.8	79.8	74.3	66.2
Lp(4) :	46.2	56.5	73.5	79.4	83.2	83.7	80.1	76.5	69.2
Lp(5) :	46.4	57.9	75.1	81.2	83.9	84.7	81.4	75.6	67.3
RevTime :	3.0	2.1	2.0	2.2	2.3	2.3	2.1	1.9	2.2

Sorgente E

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	44.1	57.1	73.9	77.8	81.6	83.0	81.7	78.6	72.3
Lp(2) :	45.3	58.3	74.9	80.1	83	83.1	80.1	75.5	67.6
Lp(3) :	46.4	58.6	77.5	80.8	82.8	82.9	80.5	77.4	72.3
Lp(4) :	43.8	56.8	71.7	77.7	82.1	83.7	81.4	78.6	72.4
Lp(5) :	43.8	57.5	73.2	80.3	83.1	84.2	81.4	77.6	72.5
RevTime :	6.6	3.1	2.4	2.3	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8

Sorgente F

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	45.8	56.7	76.0	79.3	81.5	81.6	79.3	77.0	72.5
Lp(2) :	48.3	58.2	74.4	79.7	82.8	82.0	79.2	76.1	71.8
Lp(3) :	46.1	56.1	71.6	79.5	81.7	80.3	77.5	74.9	70.3
Lp(4) :	46.7	55.5	70.4	76.8	80.2	80.2	77.3	73.6	67.0
Lp(5) :	45.0	56.7	71.8	80.5	82.8	83.0	81.4	78.5	73.5
RevTime :	3.1	2.2	1.9	2.2	2.3	2.3	2.0	2.0	2.1

Sorgente G

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	46.7	55.5	66.5	74.2	81.4	83.7	82.8	81.1	79.9
Lp(2) :	45.8	54.0	65.5	73.3	80.4	84.5	83.4	81.8	81.5
Lp(3) :	47.2	53.6	65.4	73.1	79.8	83.0	82.1	80.8	78.9
Lp(4) :	46.6	54.0	65.6	73.5	79.7	81.7	80.9	79.3	77.7
Lp(5) :	44.8	55.2	67.0	74.1	79.9	82.4	81.2	79.3	77.0
RevTime :	7.7	1.8	1.7	2.3	2.3	2.3	2.1	2.0	2.3

Sorgente H

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	47.6	57.3	66.5	75.2	80.4	82.6	81.3	78.6	73.8
Lp(2) :	48.2	55.5	66.1	74.8	81.5	84.4	83.2	81.0	76.8
Lp(3) :	48.6	55.5	66.5	74.5	81.6	84.2	83.0	81.5	77.8
Lp(4) :	46.9	55.8	66.8	75.0	81.2	83.4	82.2	80.0	75.5
Lp(5) :	47.2	56.1	66.3	74.7	81.3	83.9	82.8	81.2	76.5
RevTime :	7.7	1.8	1.7	2.3	2.3	2.3	2.1	2.0	2.3

Sorgente I

Time 18:22:20

Nmicros: 5

Frequency:	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp(1) :	44.1	53.8	66	72.9	79.2	81.2	80.0	77.4	75.1
Lp(2) :	46.4	53.4	64.5	74.3	80.1	83.6	81.8	80.5	79.1
Lp(3) :	45.8	56.1	65.8	73.5	80.2	83.1	82.1	80.8	78.2
Lp(4) :	47.5	54.6	65.0	72.8	78.8	80.3	79.0	77.7	75.3
Lp(5) :	45.3	56.8	66.5	74.8	80.1	82.1	80.6	78.0	74.3
RevTime :	3.1	2.2	1.9	2.2	2.3	2.3	2.0	2.0	2.1

La sorgente J è stata ritenuta omnidirezionale e caratterizzata da un valore di 87.8 dBA ad 1 m di distanza.

Tutte le informazioni acquisite sono state introdotte nel Source Manager in modo da poterne calcolare la direttività.

2. Tracciamento di una griglia immaginaria con un centinaio di nodi in ognuno dei quali è stata fatta una misurazione del livello di pressione sonora del rumore ambientale. Così facendo si è potuto ottenere una fotografia sia di ciascuna fonte di rumore, sia del livello di disturbo in ogni punto dello stabilimento, potendo così trarre utili conclusioni sulle zone da risanare.

	31Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	AP
1)	45.8;	56.7;	76.0;	79.3;	81.5;	81.6;	79.3;	77.0;	72.5;	87.5
2)	48.3;	58.2;	74.4;	79.7;	82.8;	82.0;	79.2;	76.1;	71.8;	87.8
3)	46.1;	56.1;	71.6;	79.5;	81.7;	80.3;	77.5;	74.9;	70.3;	86.6
4)	46.7;	55.5;	70.4;	76.8;	80.2;	80.2;	77.3;	73.6;	67.0;	85.4
5)	45.0;	56.7;	71.8;	80.5;	82.8;	83.0;	81.4;	78.5;	73.5;	88.7
6)	44.1;	57.1;	73.9;	77.8;	81.6;	83.0;	81.7;	78.6;	72.3;	88.2
7)	45.3;	58.3;	74.9;	80.1;	83.0;	83.1;	80.1;	75.5;	67.6;	88.3
8)	46.4;	58.6;	77.5;	80.8;	82.8;	82.9;	80.5;	77.4;	72.3;	88.7
9)	43.8;	56.8;	71.7;	77.7;	82.1;	83.7;	81.4;	78.6;	72.4;	88.4
10)	43.8;	57.5;	73.2;	80.3;	83.1;	84.2;	81.4;	77.6;	72.5;	89.0
11)	46.5;	57.5;	73.3;	77.3;	81.6;	83.2;	80.2;	77.9;	71.5;	87.8
12)	46.4;	57.8;	71.7;	78.9;	82.0;	82.2;	78.0;	72.9;	65.0;	87.0
13)	46.4;	58.0;	74.3;	79.1;	83.2;	83.8;	79.8;	74.3;	66.2;	88.3
14)	46.2;	56.5;	73.5;	79.4;	83.2;	83.7;	80.1;	76.5;	69.2;	88.5
15)	46.4;	57.9;	75.1;	81.2;	83.9;	84.9;	81.4;	75.6;	67.3;	89.5
16)	44.1;	53.8;	66.0;	72.9;	79.2;	81.2;	80.0;	77.4;	75.1;	86.3
17)	46.4;	53.4;	64.5;	74.3;	80.1;	83.6;	81.8;	80.5;	79.1;	88.6
18)	45.8;	56.1;	65.8;	73.5;	80.2;	83.1;	82.1;	80.8;	78.2;	88.4
19)	47.5;	54.6;	65.0;	72.8;	78.8;	80.3;	79.0;	77.7;	75.3;	85.8
20)	45.3;	56.8;	66.5;	74.8;	80.1;	82.1;	80.6;	78.0;	74.3;	87.1
21)	47.6;	57.3;	66.5;	75.2;	80.4;	82.6;	81.3;	78.6;	73.8;	87.4
22)	48.2;	55.5;	66.1;	74.8;	81.5;	84.4;	83.2;	81.0;	76.8;	89.2
23)	48.6;	55.5;	66.5;	74.5;	81.6;	84.2;	83.0;	81.5;	77.8;	89.3
24)	46.9;	55.8;	66.8;	75.0;	81.2;	83.4;	82.2;	80.0;	75.5;	88.3
25)	47.2;	56.1;	66.3;	74.7;	81.3;	83.9;	82.8;	81.2;	76.5;	88.9
26)	46.7;	55.5;	66.5;	74.2;	81.4;	83.7;	82.8;	81.1;	79.9;	89.3
27)	45.8;	54.0;	65.5;	73.3;	80.4;	84.5;	83.4;	81.8;	81.5;	89.8
28)	47.2;	53.6;	65.4;	73.1;	79.8;	83.0;	82.1;	80.8;	78.9;	88.4
29)	46.6;	54.0;	65.6;	73.5;	79.7;	81.7;	80.9;	79.3;	77.7;	87.5
30)	44.8;	55.2;	67.0;	74.1;	79.9;	82.4;	81.2;	79.3;	77.0;	87.6
31)	45.0;	54.0;	66.5;	75.3;	79.6;	86.3;	80.3;	76.4;	72.2;	88.6
32)	41.4;	52.0;	66.5;	76.6;	79.7;	85.9;	79.6;	75.6;	71.2;	88.3
33)	40.8;	51.8;	63.4;	74.7;	79.0;	84.2;	79.8;	76.9;	73.5;	87.4
34)	45.1;	52.0;	65.5;	75.6;	81.4;	85.2;	79.7;	76.5;	72.6;	88.3
35)	41.9;	53.3;	67.0;	77.0;	79.6;	85.1;	79.7;	76.1;	72.3;	87.9
36)	46.6;	52.6;	70.3;	75.9;	80.1;	81.2;	79.2;	75.9;	69.2;	86.1

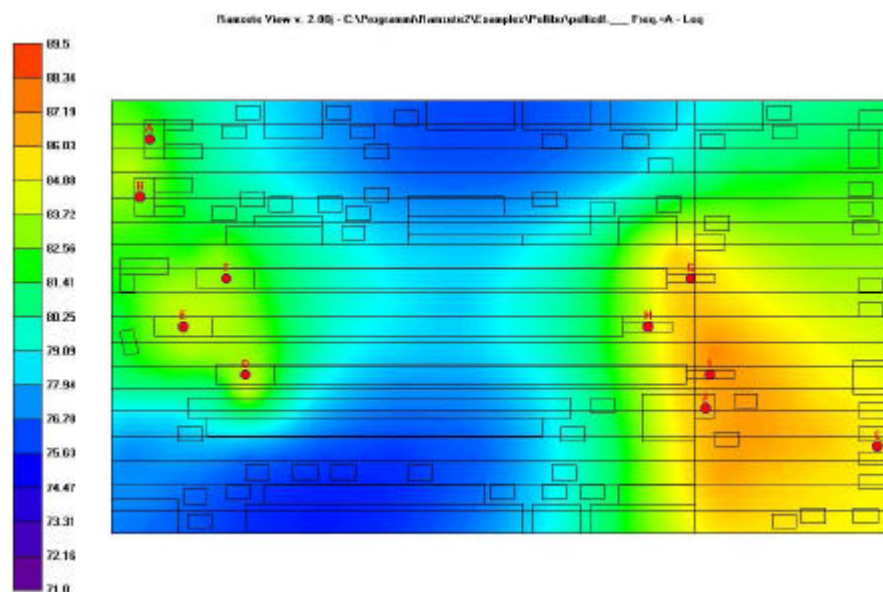
37)	44.7;	55.6;	73.0;	77.7;	81.6;	82.7;	79.7;	75.3;	67.2;	87.3
38)	45.3;	55.1;	70.6;	75.8;	80.3;	83.1;	79.9;	75.6;	67.8;	87.0
39)	44.8;	52.0;	71.6;	76.2;	79.9;	80.6;	78.5;	75.7;	69.5;	85.9
40)	42.8;	53.7;	69.8;	75.6;	80.0;	81.2;	79.0;	75.4;	68.4;	86.0
41)	43.7;	53.0;	65.3;	74.0;	76.5;	79.6;	75.5;	70.2;	63.0;	83.2
42)	41.6;	52.3;	63.3;	75.2;	77.3;	80.2;	76.5;	73.3;	68.3;	84.3
43)	43.4;	49.9;	62.1;	71.7;	76.3;	80.7;	76.1;	71.3;	64.0;	83.6
44)	43.7;	50.4;	62.1;	70.9;	75.1;	77.9;	75.4;	71.0;	63.4;	82.0
45)	42.9;	51.3;	62.6;	70.3;	74.5;	77.2;	75.2;	71.0;	63.8;	81.5
46)	43.1;	51.1;	63.4;	70.0;	73.8;	76.0;	73.8;	69.7;	63.0;	80.4
47)	42.6;	51.8;	62.9;	69.9;	73.6;	76.3;	73.2;	68.4;	61.1;	80.2
48)	42.2;	51.3;	61.6;	69.1;	73.1;	74.4;	71.6;	66.9;	59.4;	78.8
49)	42.0;	51.7;	62.5;	69.7;	73.0;	73.3;	69.7;	65.0;	56.7;	78.1
50)	42.9;	52.3;	63.5;	69.9;	72.4;	71.7;	67.7;	63.2;	55.0;	77.1
51)	42.3;	51.9;	65.1;	70.6;	74.3;	71.4;	66.5;	61.7;	53.6;	77.9
52)	43.2;	53.5;	68.4;	71.9;	74.1;	72.2;	68.0;	63.3;	55.5;	78.6
53)	44.4;	54.5;	69.4;	73.5;	74.6;	71.9;	67.3;	62.6;	55.5;	79.2
54)	44.7;	53.6;	67.8;	72.4;	72.9;	71.0;	67.0;	62.4;	54.9;	77.9
55)	43.3;	52.7;	67.6;	73.1;	75.1;	74.3;	71.3;	67.5;	59.1;	80.2
56)	42.5;	53.0;	69.3;	73.4;	75.9;	75.1;	72.1;	68.0;	59.1;	81.0
57)	42.3;	54.1;	68.2;	71.1;	75.5;	74.7;	71.7;	69.6;	58.8;	80.3
58)	41.8;	50.5;	66.6;	70.8;	73.7;	75.7;	72.9;	67.8;	57.9;	80.1
59)	41.1;	51.8;	65.3;	71.4;	76.2;	77.2;	74.7;	69.6;	59.8;	81.7
60)	42.0;	52.1;	68.1;	72.1;	76.2;	77.5;	74.7;	69.3;	59.2;	82.0
61)	46.3;	52.3;	67.9;	73.4;	76.1;	77.0;	74.2;	69.0;	58.7;	81.9
62)	44.8;	51.9;	65.1;	71.4;	75.1;	76.6;	73.8;	68.3;	58.0;	81.0
63)	42.1;	51.4;	66.1;	70.6;	73.5;	75.0;	72.0;	66.6;	57.4;	79.5
64)	45.0;	51.2;	62.4;	68.4;	72.2;	73.7;	70.9;	66.2;	57.6;	78.1
65)	40.7;	49.9;	62.9;	68.1;	72.1;	73.5;	70.8;	66.3;	59.2;	78.1
66)	43.8;	53.5;	63.9;	67.5;	71.5;	72.9;	70.1;	66.1;	60.6;	77.6
67)	47.8;	53.1;	62.1;	67.7;	71.9;	73.6;	70.7;	67.8;	62.4;	78.1
68)	48.6;	52.4;	63.2;	67.2;	71.6;	73.6;	70.7;	67.4;	62.3;	78.0
69)	42.1;	51.0;	61.3;	67.2;	72.1;	74.0;	71.5;	68.0;	62.5;	78.4
70)	42.0;	50.6;	61.4;	66.7;	71.6;	74.5;	72.3;	69.7;	64.8;	78.9
71)	42.1;	49.6;	60.8;	66.7;	72.0;	74.3;	72.0;	68.7;	64.0;	78.7
72)	44.4;	49.6;	59.6;	66.6;	72.3;	75.6;	74.9;	72.7;	66.5;	80.5
73)	41.3;	48.3;	59.9;	68.0;	72.3;	75.8;	74.1;	70.0;	65.2;	80.0
74)	41.3;	46.7;	57.7;	66.3;	70.8;	72.9;	71.2;	68.5;	66.4;	78.0
75)	45.0;	51.9;	62.0;	71.2;	75.9;	80.0;	76.8;	73.9;	70.6;	83.8
76)	40.6;	50.7;	62.4;	70.6;	75.1;	79.5;	77.3;	75.1;	75.7;	84.3
77)	46.5;	54.3;	64.6;	73.5;	79.3;	81.9;	80.4;	79.3;	80.1;	88.0
78)	46.4;	53.2;	65.5;	72.0;	79.1;	82.4;	80.7;	78.1;	75.4;	86.9
79)	49.1;	57.9;	68.2;	75.0;	79.3;	83.1;	81.7;	79.0;	76.0;	87.8
80)	50.5;	59.0;	68.2;	73.7;	79.0;	81.5;	79.3;	75.7;	71.5;	85.9
81)	52.5;	55.8;	68.0;	74.2;	79.2;	79.8;	77.2;	73.2;	68.3;	84.6
82)	51.3;	56.3;	69.6;	78.0;	80.2;	80.2;	77.1;	72.5;	66.7;	85.4
83)	50.8;	55.7;	68.4;	75.1;	77.6;	78.1;	75.0;	70.8;	64.8;	83.2
84)	49.6;	55.4;	70.0;	73.7;	78.4;	77.9;	74.6;	69.9;	62.7;	83.1
85)	50.4;	56.7;	72.5;	78.0;	79.3;	78.2;	74.3;	69.2;	61.8;	84.3
86)	51.6;	57.6;	73.3;	77.9;	79.7;	78.9;	75.1;	70.4;	62.7;	84.7
87)	49.8;	58.5;	72.2;	79.8;	80.2;	78.5;	75.4;	71.0;	63.5;	85.2
88)	46.3;	56.0;	72.3;	77.9;	79.5;	79.3;	76.1;	71.8;	64.9;	84.9
89)	43.4;	55.3;	69.6;	76.1;	78.9;	79.2;	76.1;	72.1;	65.4;	84.3
90)	46.2;	54.7;	71.9;	76.8;	79.8;	81.2;	78.6;	74.5;	67.4;	86.0
91)	47.2;	55.9;	71.3;	74.1;	78.2;	79.0;	76.7;	73.9;	68.0;	84.2
92)	46.1;	57.0;	71.4;	75.4;	80.1;	81.1;	78.8;	74.9;	67.2;	85.9
93)	44.5;	55.7;	72.4;	77.7;	82.3;	83.8;	80.5;	75.4;	67.7;	88.0
94)	45.8;	55.8;	73.4;	78.3;	81.9;	83.0;	80.0;	75.5;	67.8;	87.6
95)	47.7;	58.6;	75.8;	81.6;	83.1;	82.2;	78.9;	74.2;	66.9;	88.2
96)	49.2;	57.6;	73.9;	79.2;	83.3;	81.7;	78.1;	73.2;	66.0;	87.4
97)	49.1;	55.7;	71.5;	78.2;	81.8;	81.0;	77.4;	72.9;	66.0;	86.4
98)	48.4;	55.0;	69.3;	76.6;	82.6;	80.6;	77.1;	73.0;	66.9;	86.3
99)	47.9;	53.9;	67.5;	74.6;	79.8;	79.2;	75.9;	71.7;	66.6;	84.3
100)	48.3;	54.0;	66.1;	73.6;	78.7;	79.5;	76.5;	73.6;	71.1;	84.3
101)	48.5;	55.0;	66.6;	73.9;	79.3;	80.4;	77.9;	75.2;	73.1;	85.3
102)	48.0;	55.9;	66.1;	74.5;	79.6;	80.9;	78.9;	75.7;	72.4;	85.8
103)	50.0;	55.2;	66.3;	74.1;	80.1;	81.7;	79.6;	76.5;	72.8;	86.4
104)	47.4;	55.7;	66.6;	74.0;	80.4;	83.5;	81.6;	78.5;	74.7;	87.8
105)	46.1;	53.6;	66.2;	74.1;	79.7;	83.1;	81.5;	78.8;	74.7;	87.6
106)	44.8;	53.4;	63.9;	72.6;	78.1;	81.3;	78.3;	75.4;	71.1;	85.3
107)	42.3;	51.4;	62.6;	72.0;	77.5;	80.9;	77.1;	74.3;	71.6;	84.8
108)	41.4;	50.4;	62.9;	72.3;	76.1;	79.3;	77.3;	75.5;	74.7;	84.3
109)	43.5;	51.9;	63.8;	72.6;	76.4;	80.6;	77.6;	75.9;	73.4;	84.8

110)	45.9;	55.0;	65.1;	71.8;	76.8;	80.0;	78.5;	77.7;	74.7;	85.1
111)	47.5;	54.3;	65.0;	73.7;	79.0;	82.2;	80.3;	77.8;	73.1;	86.6
112)	47.4;	55.3;	65.8;	73.8;	79.3;	81.6;	80.3;	77.6;	72.0;	86.4
113)	49.9;	56.5;	66.6;	74.4;	79.6;	81.4;	79.0;	75.6;	70.0;	85.8
114)	51.6;	54.9;	65.3;	73.5;	78.0;	79.5;	77.1;	73.8;	67.3;	84.1
115)	48.8;	53.6;	66.5;	72.6;	77.5;	78.6;	75.7;	73.1;	65.6;	83.3
116)	51.0;	54.3;	67.6;	73.4;	77.1;	77.4;	74.6;	70.4;	63.2;	82.4
117)	48.8;	55.3;	67.9;	73.8;	78.2;	78.1;	75.1;	70.1;	63.0;	83.1
118)	49.5;	54.9;	67.3;	75.4;	80.3;	79.2;	76.2;	70.9;	64.0;	84.6
119)	48.8;	55.0;	70.7;	77.1;	82.8;	80.1;	76.4;	72.0;	65.5;	86.2
120)	48.5;	57.9;	78.1;	79.4;	82.2;	81.0;	77.9;	73.0;	66.6;	87.2
121)	46.7;	57.7;	75.4;	80.5;	82.4;	81.7;	78.8;	74.8;	68.0;	87.6
122)	45.6;	56.1;	73.6;	78.3;	81.5;	82.2;	79.8;	75.7;	67.5;	87.3
123)	44.9;	55.6;	74.6;	77.3;	80.0;	79.6;	76.8;	72.7;	65.2;	85.3
124)	46.9;	56.0;	71.4;	76.9;	79.6;	79.1;	76.2;	72.1;	64.7;	84.7
125)	47.4;	56.4;	70.5;	74.0;	79.1;	77.8;	74.7;	70.7;	63.3;	83.5
126)	45.5;	55.1;	72.5;	75.8;	78.4;	78.4;	75.0;	70.8;	63.5;	83.8
127)	44.3;	55.5;	71.0;	75.9;	79.4;	79.3;	76.8;	72.1;	64.1;	84.6
128)	46.0;	57.2;	69.5;	76.2;	80.0;	80.3;	77.6;	74.1;	68.5;	85.4
129)	47.1;	58.6;	73.3;	78.3;	80.5;	78.5;	74.2;	70.3;	65.0;	85.0
130)	48.4;	55.8;	69.1;	75.1;	78.5;	76.9;	72.7;	68.2;	61.2;	82.7
131)	46.6;	55.1;	69.0;	73.8;	77.5;	76.1;	72.3;	68.1;	61.2;	81.8
132)	48.2;	54.8;	67.3;	72.5;	76.9;	76.3;	73.1;	69.6;	63.0;	81.7
133)	48.4;	54.1;	66.2;	71.5;	76.5;	76.4;	73.0;	69.1;	62.6;	81.3
134)	48.9;	53.2;	64.9;	71.0;	75.6;	76.7;	73.7;	69.9;	63.7;	81.3
135)	50.5;	54.4;	65.1;	70.2;	76.3;	77.7;	75.4;	71.9;	66.2;	82.3
136)	45.5;	55.0;	65.8;	73.7;	80.0;	80.7;	79.7;	76.6;	71.3;	86.0
137)	47.3;	55.8;	65.9;	73.9;	80.3;	82.0;	80.4;	77.6;	72.1;	86.7
138)	46.7;	53.7;	65.3;	73.6;	77.3;	80.6;	80.2;	80.5;	79.4;	87.1
139)	46.4;	54.1;	65.7;	73.6;	77.6;	81.5;	80.2;	79.6;	77.5;	86.8
140)	43.5;	52.9;	64.3;	76.5;	79.4;	81.2;	78.4;	76.2;	73.8;	86.1

E' stato poi necessario un secondo sopralluogo per la misurazione dei tempi di riverbero, poichè tale misura esige un rumore di fondo molto basso e quindi ottenibile solo con le macchine ferme.

3. Rilievo delle caratteristiche geometrico-costruttive dello stabilimento, annotando tutti i materiali in cui è realizzato. Ciò è necessario per poter disegnare lo stabilimento mediante Ramsete CAD, primo passo per poter effettuare elaborazioni previsionali con il software Ramsete. La schematizzazione deve essere raffinata al punto tale che i risultati ottenuti con l'elaborazione approssimino i valori misurati nel maggior numero di punti.

L'immagine sotto riporta lo stato di fatto calcolato con Ramsete.



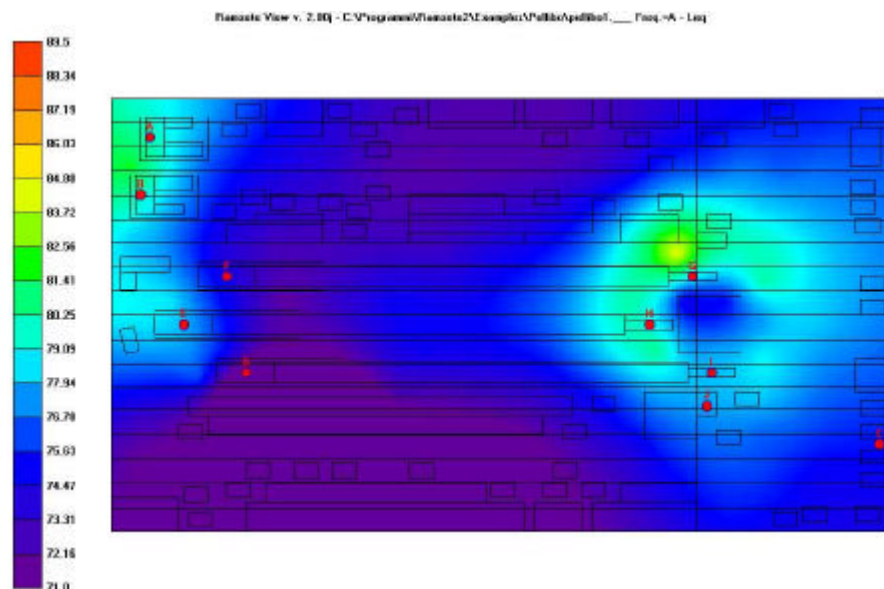
Esempio 3 – Stato di fatto

Sono state studiate le seguenti quattro ipotesi di intervento:

Ipotesi n. 1

Simulazione di un intervento di risanamento così articolato:

- parziale cabinatura delle due troncatrici
- schermatura dei terminali dei forni
- cabinatura del bruciatore
- cabinatura dei compressori
- schermatura zona di sosta degli operai in prossimità delle sorgenti G, H e I



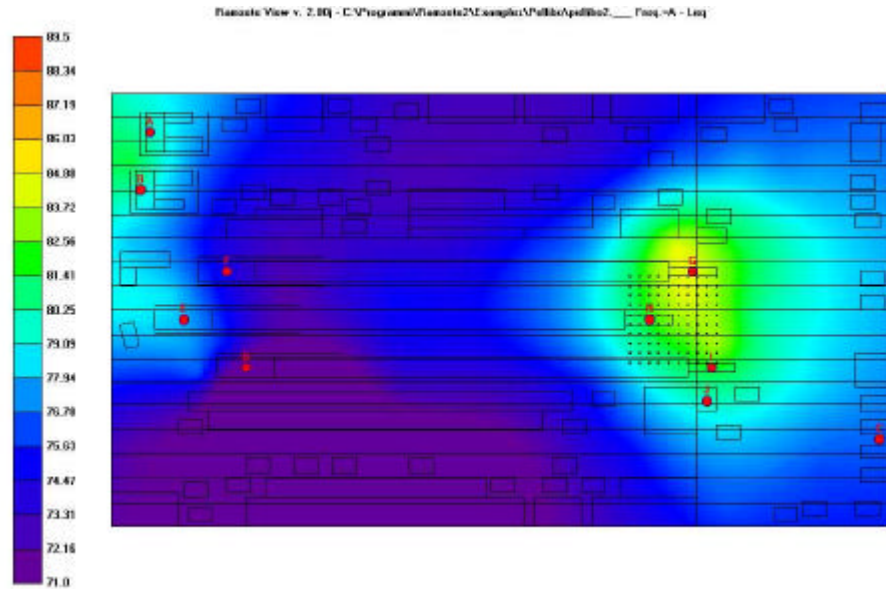
Esempio 4 – Prima ipotesi

Si può osservare un deciso miglioramento della situazione in ogni punto dello stabilimento; in particolare risulta molto efficiente la schermatura "a forma di u" posta alla destra dei tre forni, a tal punto che il minimo sacrificio (aprire e richiudere le porte scorrevoli per accedere alle macchine) risulta ampiamente giustificato dal rapporto prezzo/risultati ottenibili, anche perchè la produttività non ne risente in alcun modo.

Ipotesi n. 2

Simulazione di un intervento di risanamento così articolato:

- parziale cabinatura delle due troncatrici
- schermatura dei terminali dei forni
- cabinatura del bruciatore
- cabinatura dei compressori
- trattamento ambientale della zona di sosta degli operai in prossimità delle sorgenti G, H e I con 100 elementi Sono B



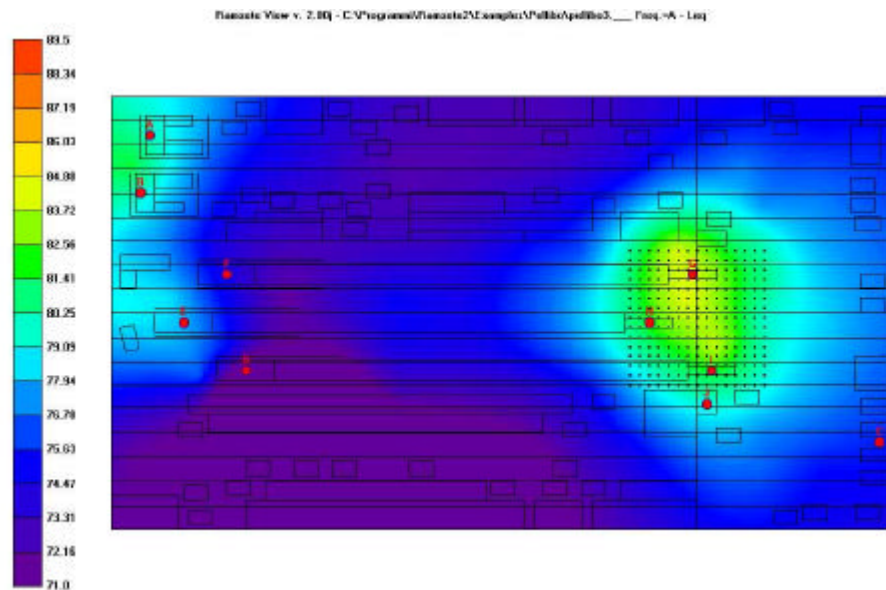
Esempio 4 – Seconda ipotesi

Si può notare che la sostituzione della cabinatura parziale proposta nel primo intervento con un trattamento ambientale realizzato con 100 elementi Sono B, pur non variando in alcun modo le abitudini degli operai, non consente lo stesso miglioramento.

Ipotesi n. 3

Simulazione di un intervento di risanamento così articolato:

- parziale cabinatura delle due troncatrici
- schermatura dei terminali dei forni
- cabinatura del bruciatore
- cabinatura dei compressori
- trattamento ambientale della zona di sosta degli operai in prossimità delle sorgenti G, H e I con 225 elementi Sono B



Esempio 4 – Terza ipotesi

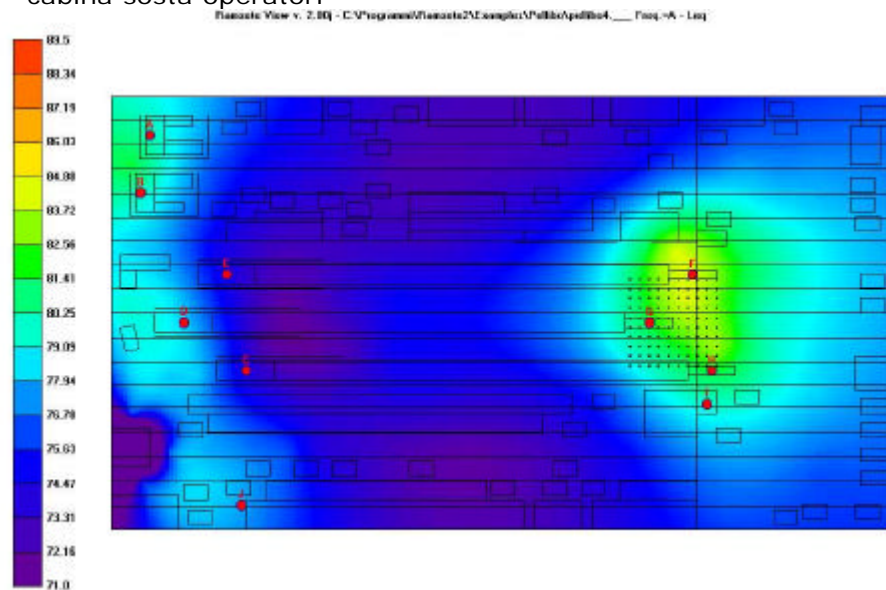
Si può notare che la sostituzione della cabinatura parziale proposta nel primo intervento con un trattamento ambientale realizzato con 225 elementi Sono B, pur non variando in alcun modo le abitudini degli operai, non consente lo stesso miglioramento.

Valgono le stesse considerazioni espresse per l'ipotesi n.2, con la differenza che, trattandosi di un intervento più massiccio, si ottengono risultati migliori, pur sempre inferiori, però, all'ipotesi n.1.

Ipotesi n. 4

Simulazione di un intervento di risanamento così articolato:

- parziale cabinatura delle due troncatrici
- schermatura dei terminali dei forni
- cabinatura del bruciatore
- spostamento all'esterno dello stabilimento in esame dei compressori
- trattamento ambientale della zona di sosta degli operai in prossimità dell'inizio delle linee di produzione con 100 elementi Sono B
- parziale ricopertura delle pareti
- cabina sosta operatori



Esempio 4 – Quarta ipotesi

Come si può notare, la situazione appare circa uguale alla ipotesi n. 2, con l'unica differenza di un relativo peggioramento nella zona immediatamente circostante al ventilatore. E' da notare come, anche in assenza dei compressori, la situazione del rumore nella loro zona rimanga circa invariata, poichè la schermatura proposta era veramente efficiente e ne annullava virtualmente il contributo; in questo caso, però, a parità di risultato, si è risparmiato il costo del trattamento necessario.