

Propagazione del rumore negli ambienti industriali

Nicola Prodi



Dipartimento di Ingegneria
Università di Ferrara
Via Saragat , 1 – 44100 Ferrara

I riferimenti normativi

UNI EN ISO 11690 - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario

Parte 1 (1998)

Strategie per il controllo del rumore

Parte 2 (1999)

Provvedimenti per il controllo del rumore

Parte 3 (2000)

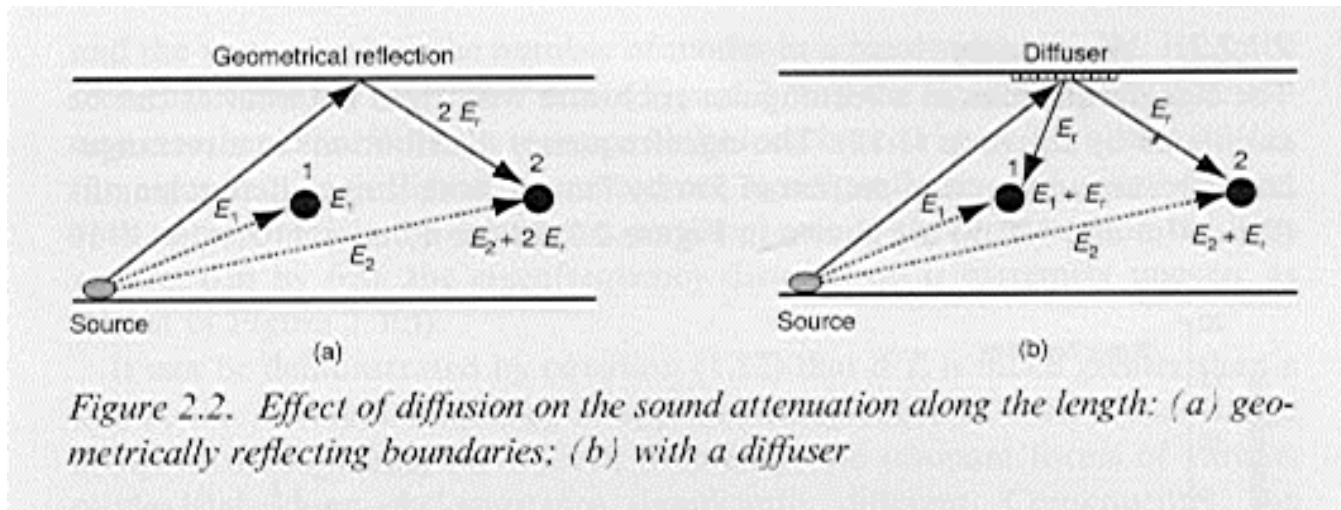
Propagazione del suono e previsione del rumore in ambienti di lavoro

ISO 14257 – Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance (2001)

I fattori che influenzano la propagazione negli ambienti industriali

Studio della distribuzione spaziale del livello di pressione per distanze crescenti (*curva di propagazione sonora*), che è influenzato da:

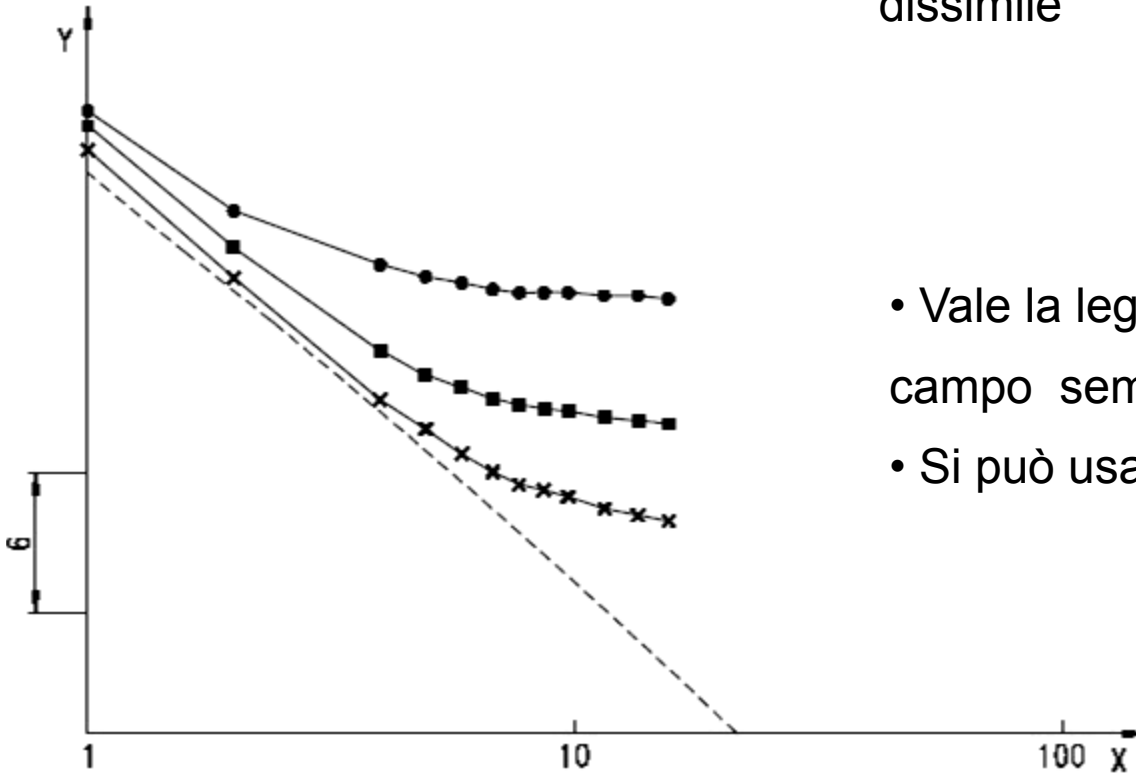
- Forma dell'ambiente e volume: *descritta dal rapporto tra le dimensioni (L:W:H)*
- Assorbimento delle superfici: *suo valore e distribuzione spaziale*
- Presenza equipaggiamenti: *questi sono ostacoli che diffondono il suono o lo schermano, come macchinari, materiale di deposito, setti di separazione, condotte, cabine etc..*



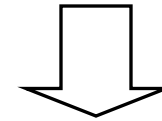
Ambienti in cui il campo acustico è diffuso

Legenda

- X Distanza dalla sorgente in m
Y Livello di pressione sonora, L_p in dB
- Pavimento, pareti e soffitto riflettenti
 - Con soffitto fonoassorbente
 - × Con soffitto e pareti fonoassorbenti
 - Senza riflessioni (campo libero)



- Rapporti dimensionali non sbilanciati
- Assorbimento delle superfici non troppo dissimile

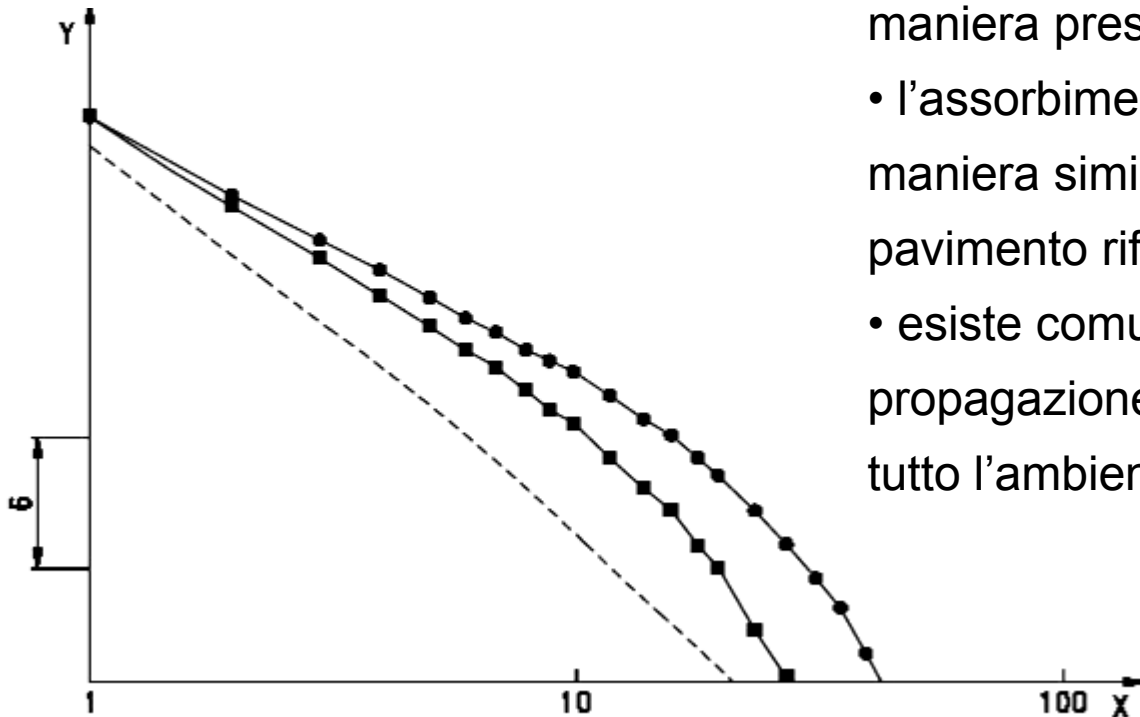


- Vale la legge di previsione del campo semi-riverberante
- Si può usare la formula di Sabine

Ambienti con propagazione sonora uniforme

Legenda

- X Distanza dalla sorgente in m
Y Livello di pressione sonora, L_p in dB
- Oggetti disperdenti e soffitto riflettente
 - Oggetti disperdenti e soffitto assorbente
 - - - Senza riflessioni (campo libero)



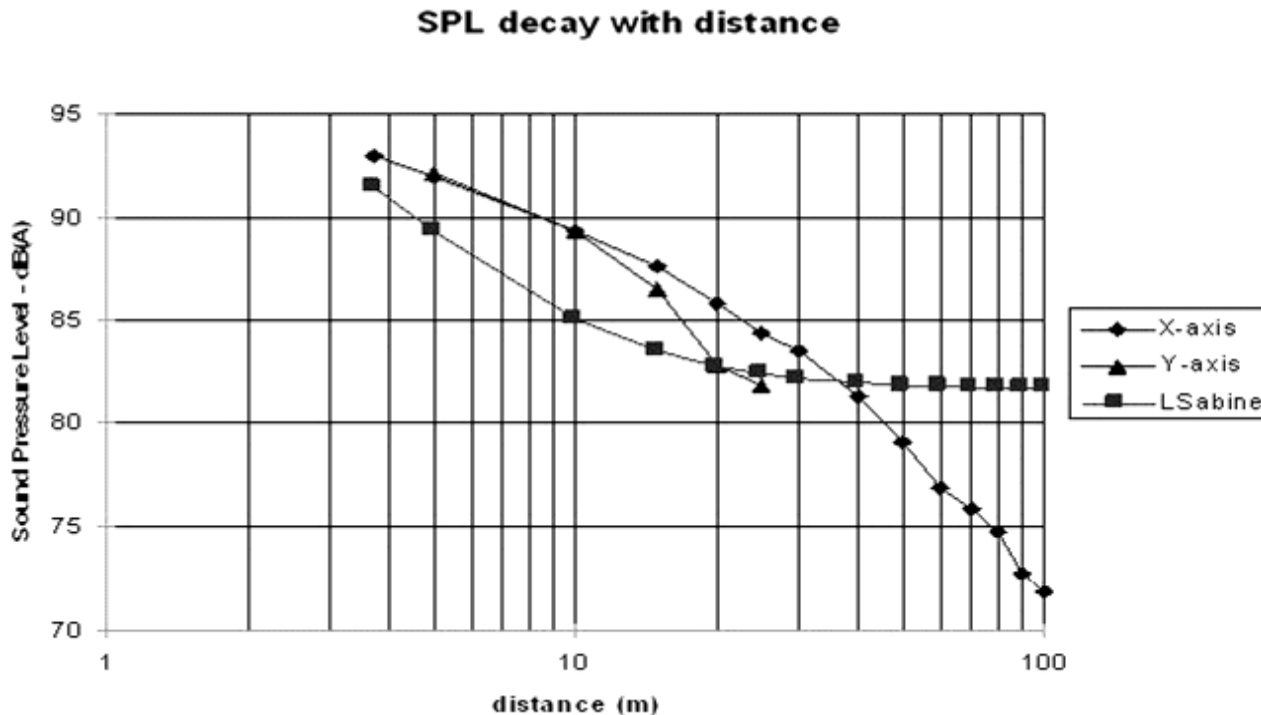
Non sono valide le ipotesi di campo diffuso

- una o due dimensioni fortemente sbilanciate
- sono presenti equipaggiamenti distribuiti in maniera pressochè omogenea
- l'assorbimento sonoro è distribuito in maniera simile in tutto l'ambiente (es. pavimento riflettente e copertura assorbente)
- esiste comunque una unica curva di propagazione del livello sonoro, valida per tutto l'ambiente

Ambienti con propagazione sonora non uniforme

- dimensioni fortemente sbilanciate
- sono presenti equipaggiamenti distribuiti in maniera non omogenea
- l'assorbimento sonoro è distribuito in maniera disuniforme nell'ambiente

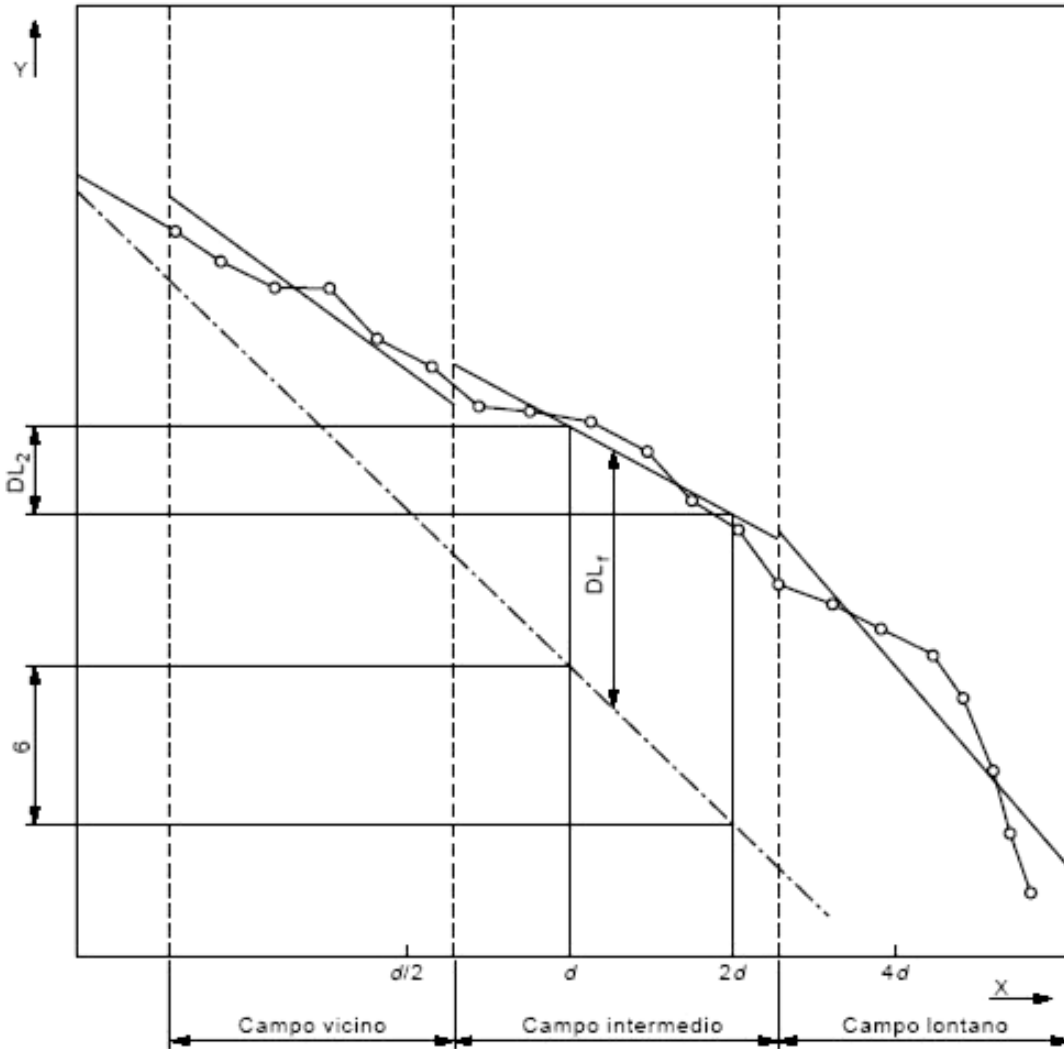
Esistono diverse curve di propagazione del livello sonoro lungo diverse direzioni.



Descrizione della curva di propagazione

Legenda

- X Distanza dalla sorgente
- Y Livello di pressione sonora L_p in dB
- ○ Curva di distribuzione spaziale del suono
- - - Senza riflessione (campo libero)



Due parametri principali:

- Il decremento del livello sonoro per raddoppio della distanza DL_2
- L'eccesso di livello rispetto al campo libero DL_f

Il livello totale è esprimibile come:

$$L_{tot} = L_W + 10 \cdot \lg \left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \right] + DL_f$$

Distanze indicative:

Campo vicino 1 – 5 m

Campo intermedio 5 – 16 m

Campo lontano 16 - x m

Valori tipici dei parametri DLf e DL2

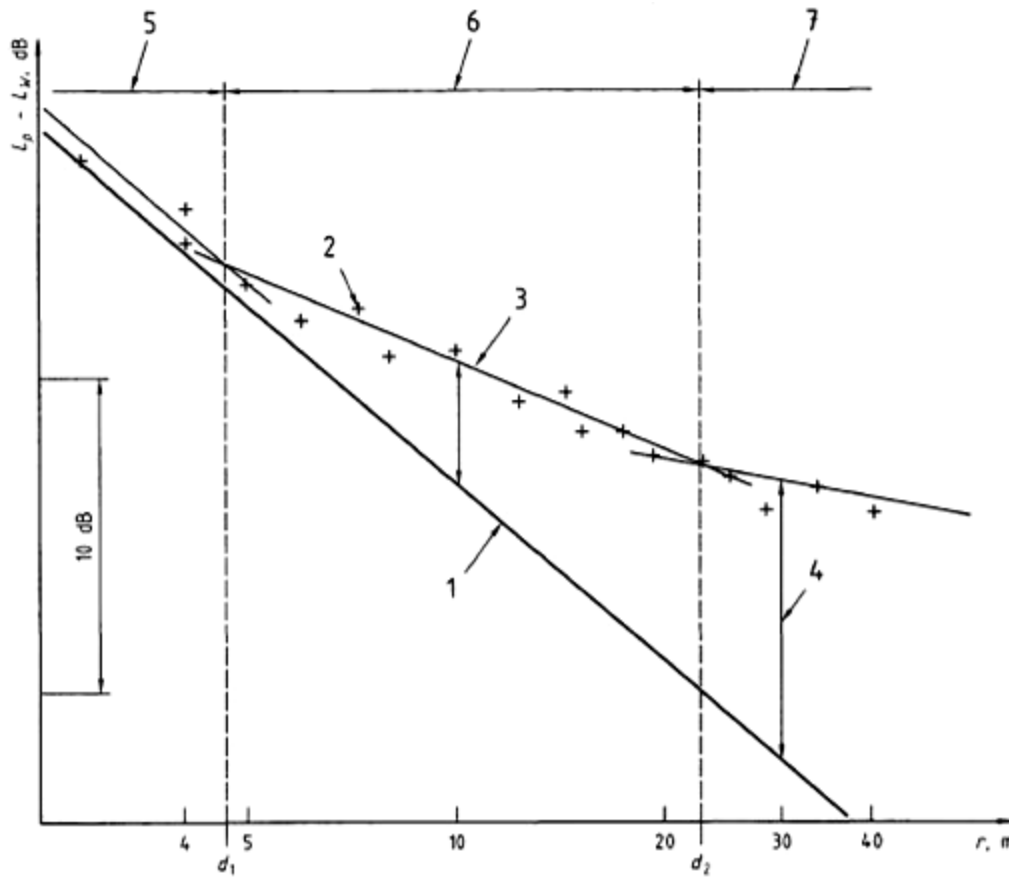
Descrizione dei locali	α	DL _f dB	DL ₂ dB
Volume piccolo e medio ($V < 10\,000\text{ m}^3$ e $h < 5\text{ m}$) senza soffitto assorbente, vuoto	< 0,2	da 8 a 13	da 1 a 3
Volume grande ($V \geq 10\,000\text{ m}^3$ e $h \geq 5\text{ m}$) senza soffitto assorbente, con arredi	< 0,2	da 6 a 9	da 2,5 a 4
Locali con soffitto assorbente, con arredi	> 0,3	da 5 a 8	da 3,5 a 5

Descrittori della curva	Campo vicino	Distanze medie	Campo lontano
DL2	5 ~ 6 dB	2 ~ 5 dB	~ 6 dB
Dlf	~ 0 dB	2 ~ 10 dB	~ 0 dB

In generale:

- nel campo vicino prevale il campo diretto
- a distanze intermedie il campo è in genere più energetico del campo semi-riv.
- a distanze maggiori il livello è molto minore del campo semi-riv.
- esistono variabilità considerevoli

Qualificazione della curva di propagazione



Key

- 1 Free-field sound distribution curve
- 2 Measurement point
- 3 Regression line for the middle region
- 4 Excess of sound pressure level in the 1 000 Hz octave band at the specified distances of 4 m, 10 m and 30 m
- 5 Near region
- 6 Middle region
- 7 Far region

r Distance from the source

- Definizione dei tre range di distanze
- Misura del livello sonoro lungo linee rette per distanze crescenti
- Eventuale compensazione per non omnidirezionalità della sorgente e per rumore di fondo
- Calcolo delle rette di regressione
- Estrazione dei parametri per tre distanze rappresentative degli intervalli precedenti

Valutazione dei valori idonei per i descrittori acustici

Room volume m ³	Reverberation time s	Rate of spatial sound pressure decay per distance doubling, DL ₂ dB
Less than 200	Lower than 0,5 to 0,8	—
Between 200 and 1 000	Between 0,8 and 1,3	
Greater than 1 000	—	Greater than 3 to 4

- Per le bonifiche le indicazioni sono scarse nella maggior parte dei casi
- I valori idonei sono quelli che mantengono il rumore al posto operatore entro i limiti
- Attenuazioni crescenti implicano costi maggiori
- Non è per nulla chiaro il ruolo del tempo di riverbero

Problemi:

- Cosa ci si può aspettare in un ambiente dall'esame della geometria e di assorbimento e diffusione ?
- Per la bonifica è possibile (e utile) avere indicazioni a priori sulla tipologia del campo acustico su cui si prevede di intervenire, o ci si affida esclusivamente ai dati?

Varie tipologie di campi acustici (non sabiniani)

E' necessario conoscere bene la tipologia di campo acustico in esame per poterlo controllare più efficacemente.

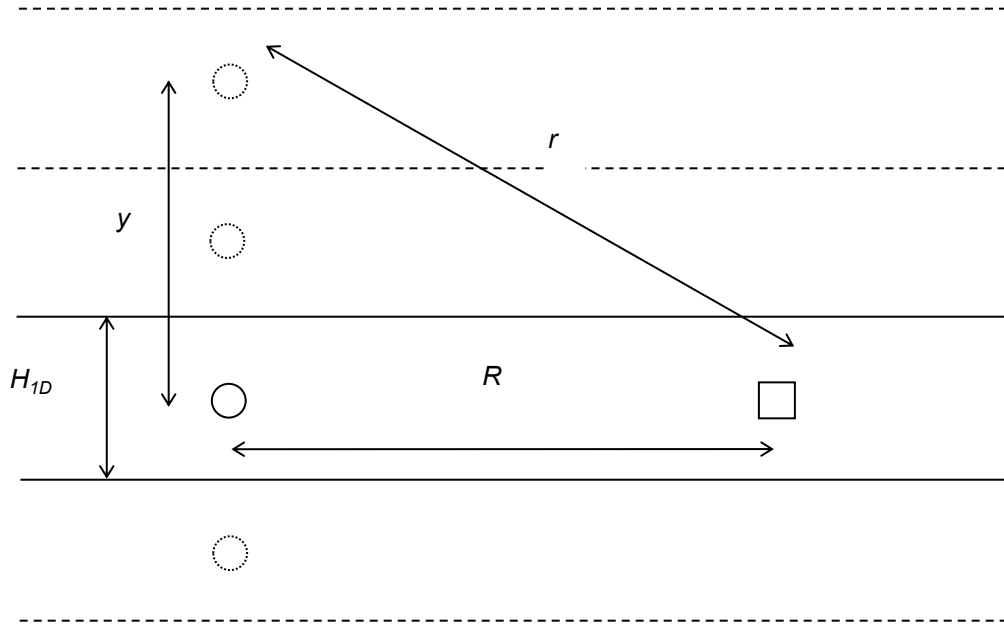
- Per “catalogare” i campi acustici possiamo ricorrere alla descrizione delle sorgenti immagini
- Gli elementi fondamentali sono sempre suono diretto e riflessioni

$$I(r) = \frac{W}{4\pi r^2} (1 - \bar{\alpha})^n$$

- ***La geometria configura la struttura delle riflessioni e la “dimensione” del campo acustico***
- ***Le caratteristiche delle superfici (riflettenti, diffondenti, schermanti) definiscono l'effettiva energia in gioco in ciascuna posizione***

Ambienti bassi e vasti (campo acustico 1D)

Sezione



H altezza, W larghezza, L lunghezza
 R distanza sorgente – ricevitore
 r distanza sorgente immagine – ricevitore
 y distanza tra le sorgenti vera e immagine

$H \ll L, W$

- Le dimensioni in pianta sono almeno 6 volte l'altezza
- Le riflessioni sono concentrate tra pavimento e soffitto e le pareti laterali non giocano un ruolo significativo
- Le sorgenti immagine che generano le riflessioni sono su una retta che contiene anche la sorgente reale

La curva di propagazione in ambienti bassi e vasti

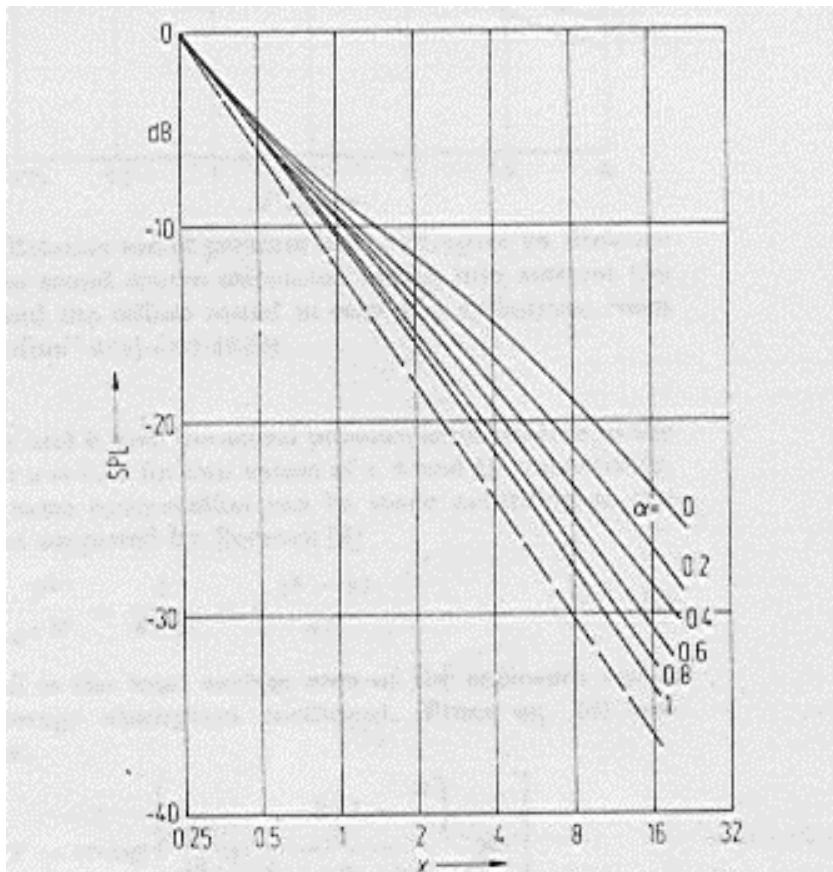


Fig. 3. Relative sound pressure level SPL vs. distance from the sound source in case of floor of absorption coefficient $\beta = 0.1$, for different values of the absorption coefficient α of the ceiling. The dashed line represents its behaviour under free-field conditions.

Superfici piane e assorbenti
Assorbimento α variabile

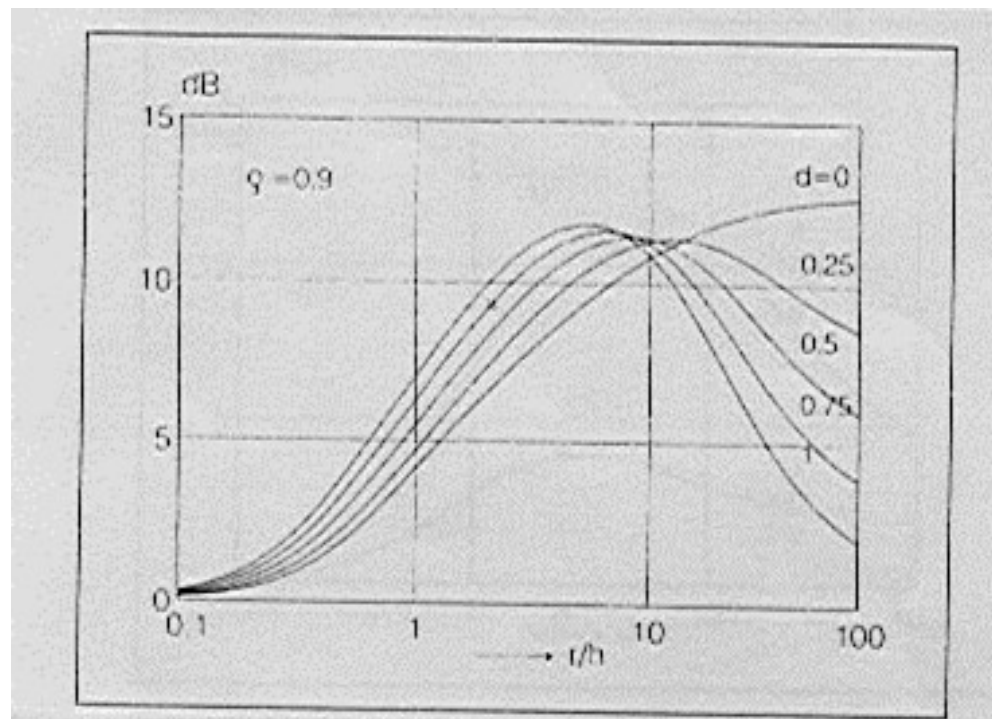
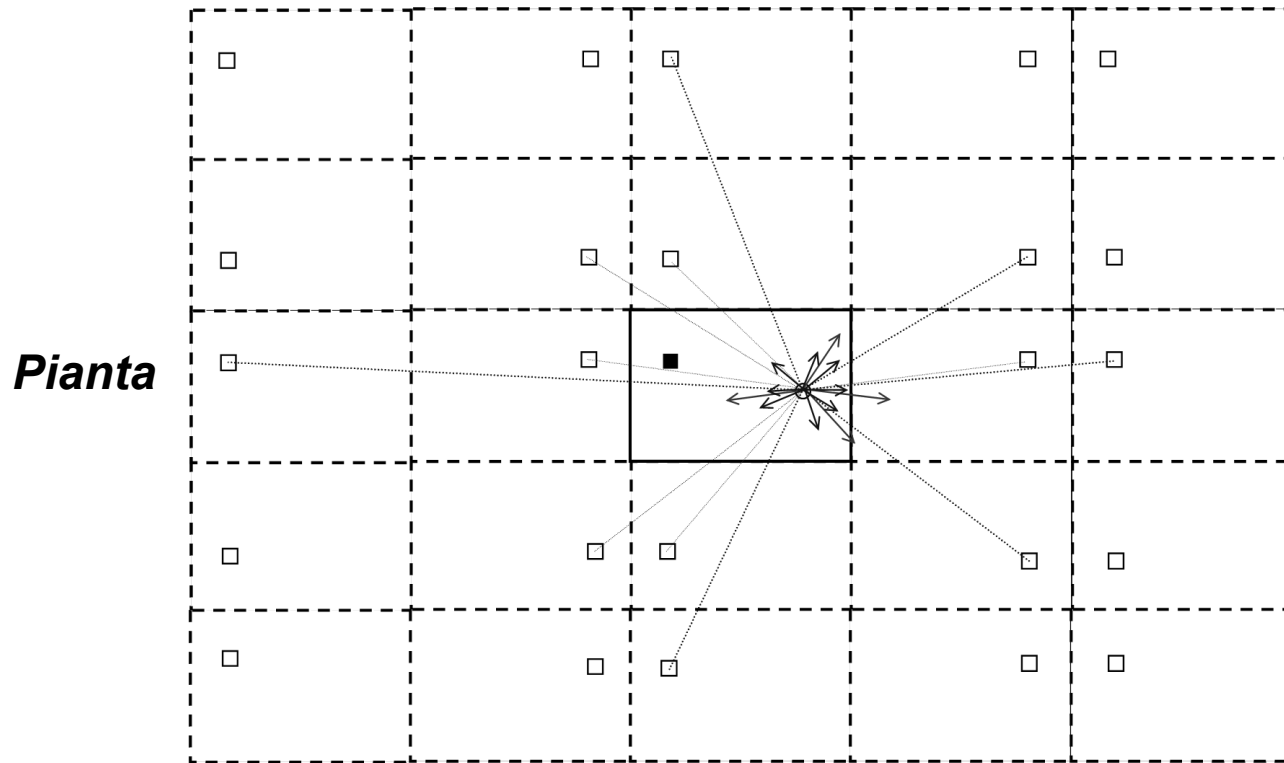


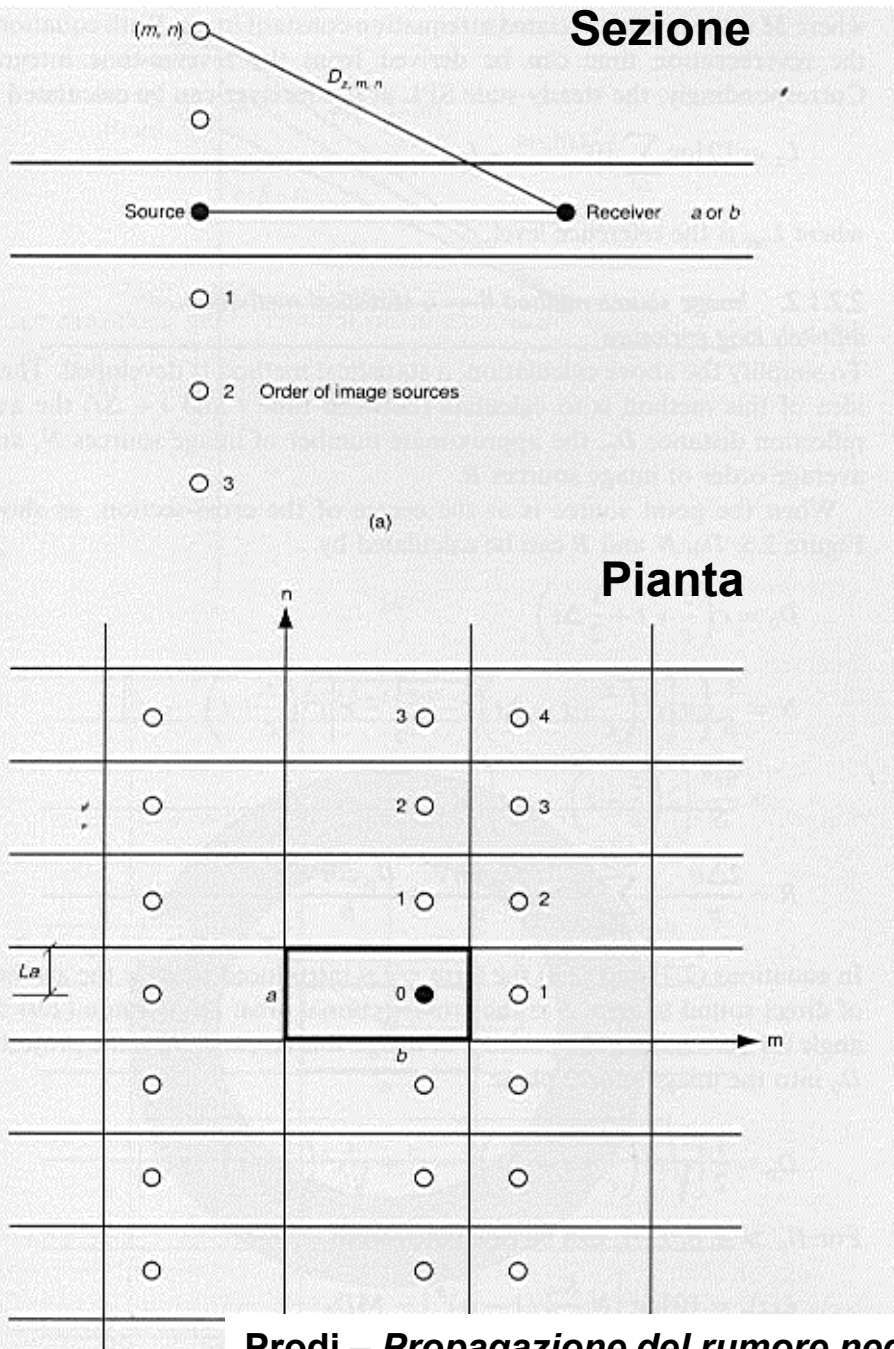
Figure 5. Excess sound pressure level with respect to free propagation, as a function of the normalised distance r/h , for various values of the fraction d of diffuse reflection. The reflection coefficient of both surfaces is $\rho = 0.9$.

Superfici piane, assorbenti e diffondenti
Assorbimento α costante e diffusione (d) variabile

Ambienti con campo acustico 2D



- Dimensioni proporzionate
- Trattamento fonoassorbente “pesante” su pavimento e su soffitto ma pareti laterali spoglie e prevalentemente riflettenti
- Il campo acustico è mantenuto proprio dalle riflessioni sulle pareti laterali
- Il riverbero è molto maggiore di quanto previsto da Sabine
- Il livello sonoro decresce con la distanza



Ambienti lunghi

- La lunghezza è almeno sei volte le altre due dimensioni, che sono tra loro confrontabili
- Combinano in certa misura le caratteristiche dei campi 1D e 2D
- Può non essere sufficiente intervenire su una sola coppia di pareti affacciate, piuttosto trattare le pareti perpendicolari

Curva di propagazione in un ambiente lungo

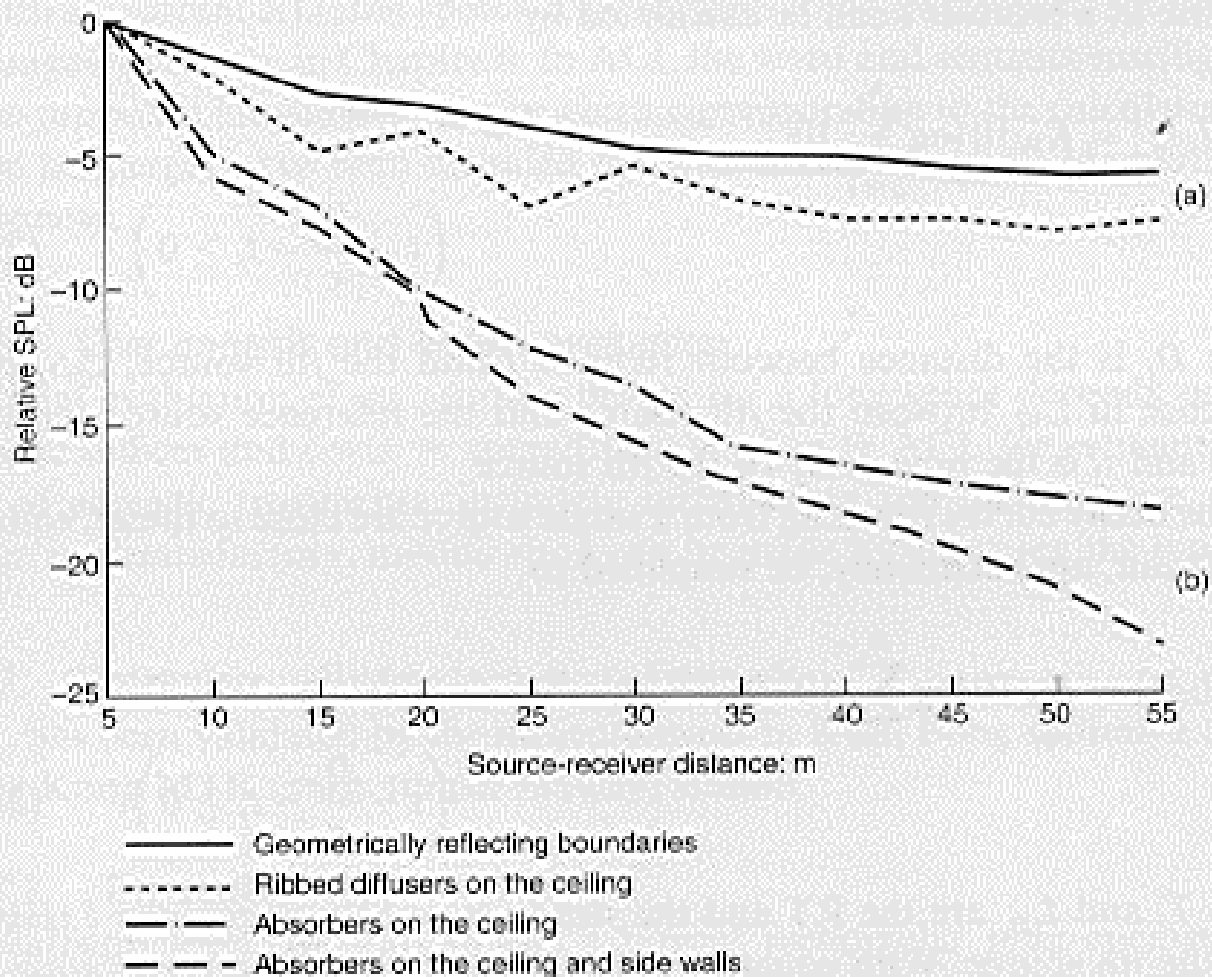


Figure 2.31. Two examples of correction in SPL in a rectangular long enclosure: (a) effect of ribbed diffusers; (b) effect of absorber arrangements

Il tempo di riverberazione in un ambiente lungo

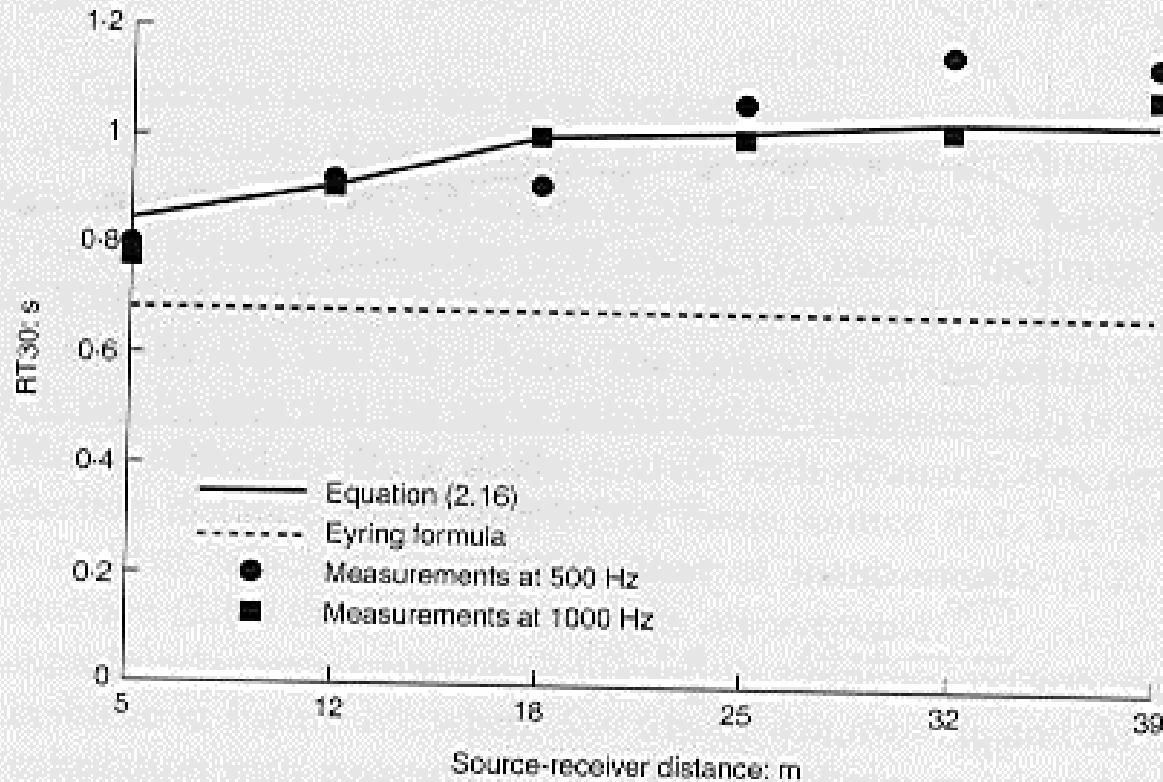
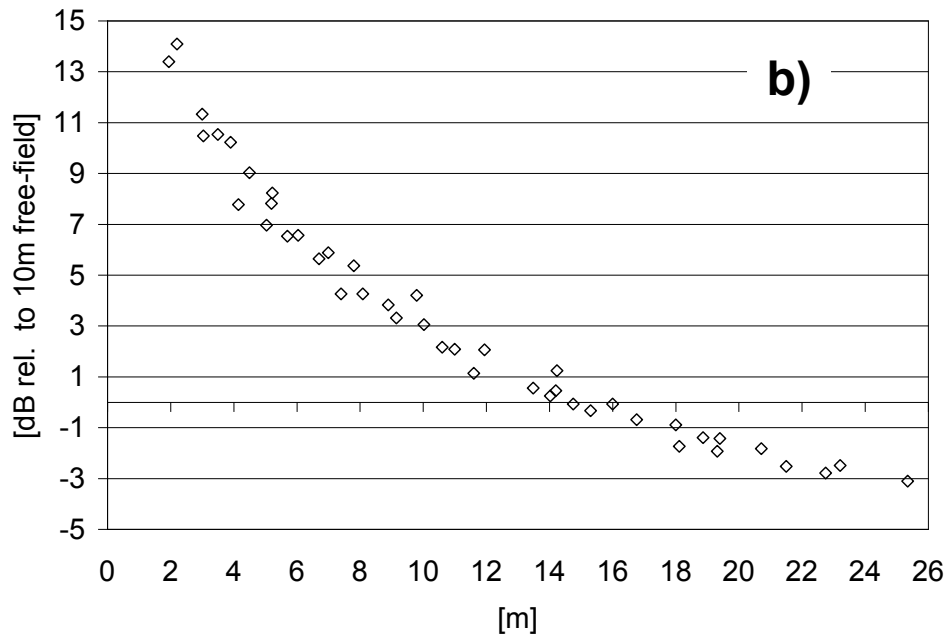
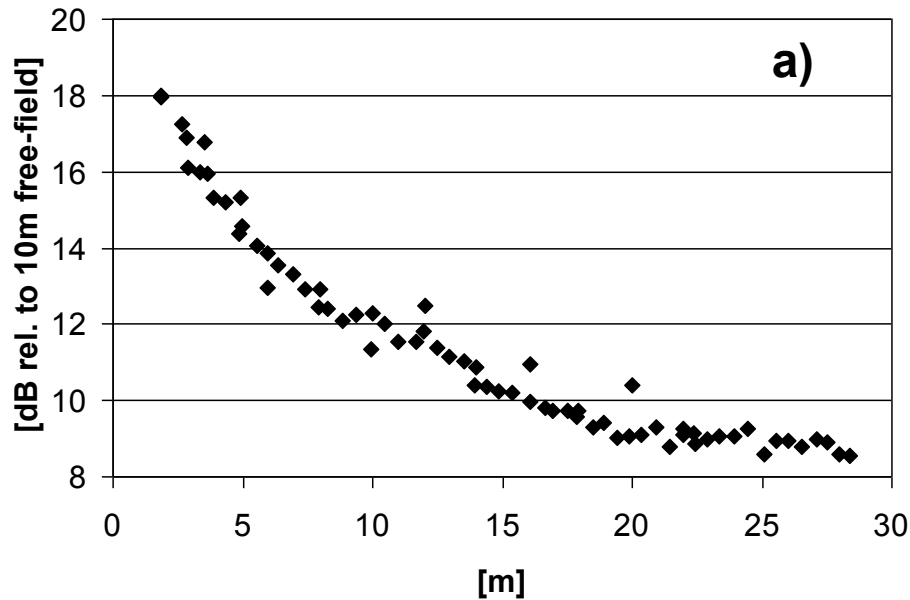


Figure 2.10. Comparison of RT_{30} between calculation and measurement at 500 Hz and 1000 Hz in the corridor — $S = 1.56 \text{ m}$ by 2.83 m , $L = 42.5 \text{ m}$, $\alpha = 0.1$, $\alpha_e = 0.5$ and $M = 0$



La curva di propagazione in un campo acustico 3D

- Le dimensioni sono confrontabili
- Ambiente grande (a)
- Ambiente molto assorbente (b)
- Il livello sonoro diminuisce più o meno sensibilmente con la distanza
- Lontano dalla sorgente è in genere inferiore al campo semi-riverberante di alcuni dB
- Si possono usare formule semplici per il tempo di riverbero e per il livello sonoro

Considerazioni conclusive

- Negli ambienti industriali possiamo trovare, seppure non con la stessa frequenza, campi acustici dalle caratteristiche molto diverse per cui le strategie di intervento possono variare
- Conoscere la tipologia del campo acustico è la base per il controllo sia della disposizione delle macchine che del trattamento fonoassorbente
- Esistono vari approcci analitici e numerici per i modelli dei campi acustici non sabiniani (modelli empirici, sorgenti immagini, radiosità, ray tracing, etc..)
- Rimane da chiarire il ruolo del tempo di riverbero che, seppure minoritario rispetto al livello sonoro, non pare affatto trascurabile