

I modelli previsionali

- Insiemi di espressioni matematiche che mettono in relazione una causa (dati di ingresso) e un effetto (risultati numerici).
Esempi: ISO 9613, RLS-90, Shall-03, ECAC, ..etc.
- Obbiettivi: gestione e pianificazione al fine di contenere l'inquinamento acustico.
- Tali modelli sono implementati su software commerciali che ne assicurano la semplicità d'uso e la correttezza dei risultati.

Campi di impiego dei modelli

1. Previsione del rumore immesso nell'ambiente da opere non ancora realizzate (attività produttive, pubblici esercizi, strade, ferrovie, aeroporti, ...etc. – art. 8 legge 447/1995).
2. Confronto tra scenari alternativi (per ubicazione di sorgenti, per distribuzione del traffico, ..etc.).

Campi di impiego dei modelli

3. Valutazione dell'efficacia degli interventi di risanamento acustico in fase progettuale (analisi costi – benefici).
4. Determinazione del contributo di una singola sorgente in uno scenario caratterizzato dalla presenza di più sorgenti non disattivabili.
5. Integrazioni di dati da misure (produzione di mappe).

Stato attuale o Stato di fatto (Sdf)

Lo Stato di fatto rappresenta la situazione geometrica ed acustica dello scenario in esame così come si presenta prima dell'intervento.

E' costituito normalmente da uno Sdf diurno ed uno Sdf notturno.

Costruzione dello Stato di fatto

Per arrivare alla sua definizione occorre disporre di una cartografia numerica dell'area in esame, condurre rilievi di rumore sulle sorgenti, sulla tipologia di traffico veicolare, rilievi fotografici, ...etc.

L'estensione dell'area di indagine dipende da:

- Bersagli potenzialmente impattati
- Sorgenti che concorrono al clima sonoro

Stato futuro o Stato di progetto (Prj)

Lo Stato di progetto rappresenta la situazione geometrica ed acustica dello scenario in esame così come si presenta dopo l'intervento.

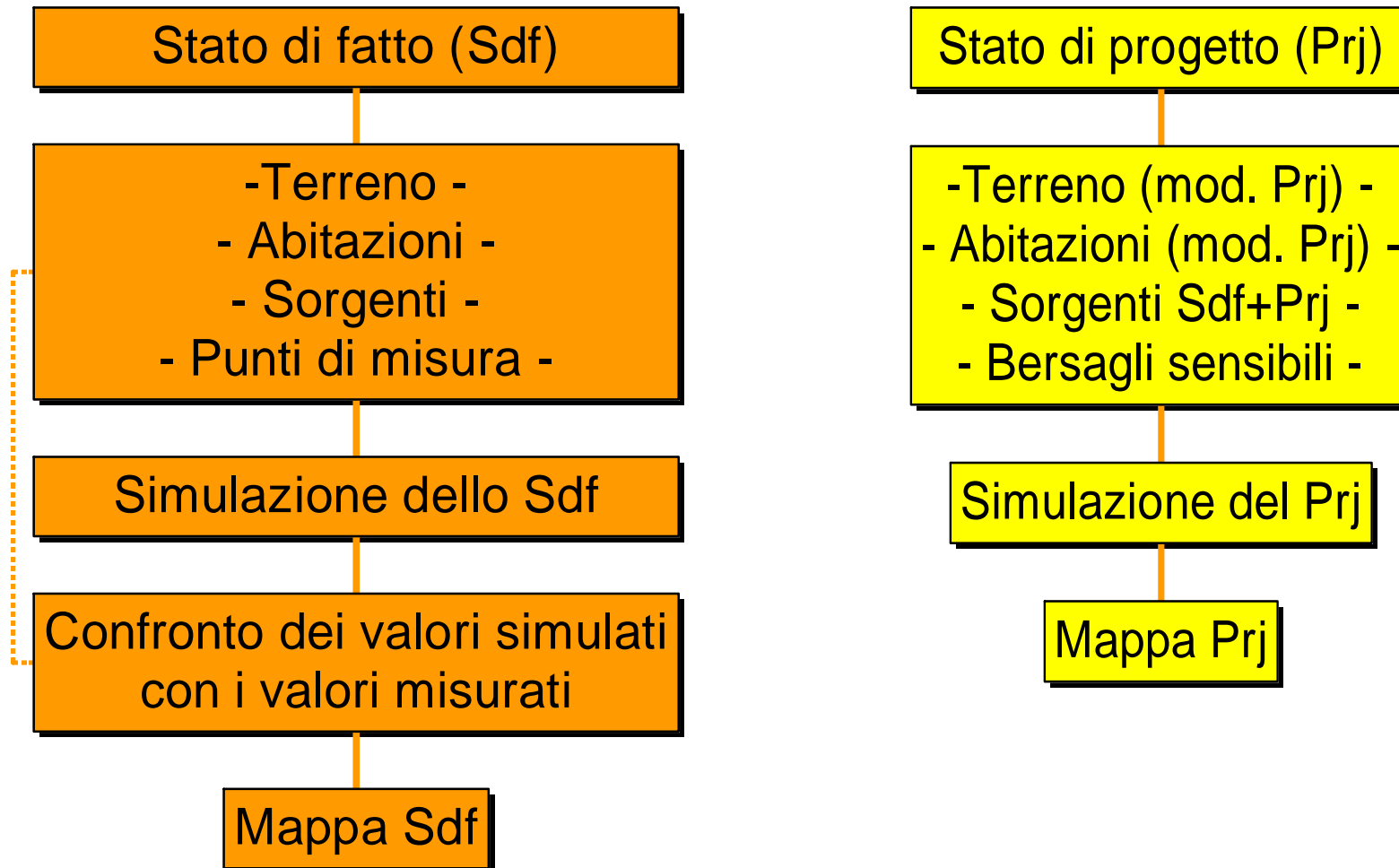
Possono esistere più Prj, uno per ogni ipotesi di intervento.

Per ogni ipotesi di intervento esiste normalmente un Prj diurno ed un Prj notturno.

Costruzione dello Stato di progetto

Per arrivare alla sua definizione occorre partire dallo Sdf, aggiungere le nuove sorgenti e/o modificare quelle già presenti, effettuare eventualmente ulteriori rilievi di rumore su sorgenti analoghe, ...etc.

Stato di fatto e Stato di progetto



Il Digital Ground Model (DGM)

Il DGM è il modello digitale del terreno, ed è l'informazione più importante che il software deve acquisire; il DGM è un modello 3-dimensionale dell'orografia del terreno.

L'orografia del terreno, oltre a garantire una corretta simulazione della propagazione acustica, permette il “posizionamento” sulla sua superficie di edifici, strade, capannoni industriali, ...etc.

Costruzione del terreno (DGM)

La costruzione del modello digitale del terreno è il primo mattone di ogni buona simulazione acustica; esso viene costruito essenzialmente sulla base delle coordinate fornite da due tipologie di oggetti: Curve di Livello e Punti Quota, che possono essere importati oppure inseriti manualmente dall'utente.

Curve di Livello e Punti Quota

I programmi di simulazione normalmente permettono di gestire le Curve di Livello (C.L.) ed i Punti Quota (P.Q.):

- ☐ Importando file di tipo shp, dxf, ASCII
- ☐ Ricalcando da tavola digitalizzatrice o bmp
- ☐ Disegnando direttamente su CAD dedicato

Tempi di immissione C.L. e P.Q.

❑ Formati shp, dxf, ASCII: massima efficienza, adatti alle geometrie più complesse.

❑ Formato bmp e tavola digitalizzatrice: tempi lunghi di immissione.

❑ Disegno diretto: praticabile solo per i progetti più semplici, comunque indispensabile per apportare modifiche o aggiunte.

Edifici

I programmi di simulazione normalmente permettono di gestire abitazioni ed edifici industriali:

- ☐ Importando file di tipo shp, dxf, ASCII
- ☐ Ricalcando da tavola digitalizzatrice o bmp
- ☐ Disegnando direttamente su CAD dedicato

Importazione edifici da shp

Il formato shp può contenere, oltre alle coordinate di base X, Y, Z, anche alcuni attributi (altezza dell'edificio, numero di piani, altezza dei piani, limiti di zona, ..etc.).

La scelta degli attributi deve essere stabilita preventivamente in sede di creazione del file shp.

Importazione edifici da dxf

Il formato dxf, molto diffuso, può contenere:

- Coordinate X, Y della base degli edifici (occorre DGM)
- Coordinate X, Y, Z dei punti della base (concorre al DGM)
- Le coordinate X, Y, Z dei punti dei tetti (occorre DGM)

Importazione edifici da bmp

Il formato bmp e la tavola digitalizzatrice sono metodi normalmente utilizzati per i progetti più semplici.

Il disegno diretto: praticabile solo per i progetti più semplici, comunque indispensabile per apportare modifiche o integrazioni (cortili interni, tettoie, cabine elettriche, ...etc.).

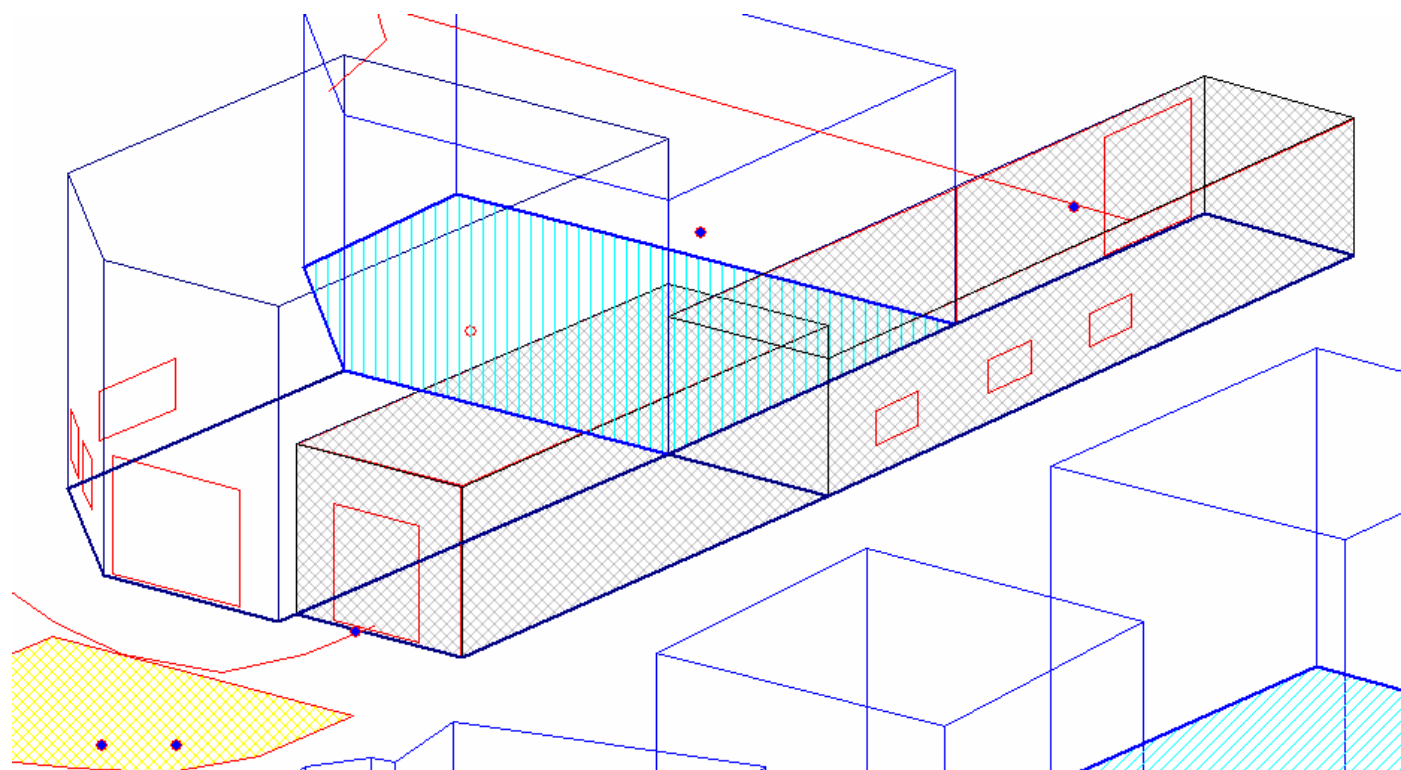
Informazioni supplementari edifici

Oltre alle dimensioni, alla posizione ed all'altezza, possono essere utili:

- Tipologia (abitazione, garage, industria ..etc.)
- Numero di piani (se possibili bersagli)
- Disposizione delle finestre (n° colonne)
- Tipologia delle facciate (balconi, intonaco)
- Numero di occupanti, limiti di zona, ..etc.
- Rilievi fotografici

Posizionamento delle sorgenti

Come per il terreno e per gli edifici, anche la geometria delle sorgenti può essere importata (shp, bmp) o disegnata direttamente tramite appositi tools grafici.

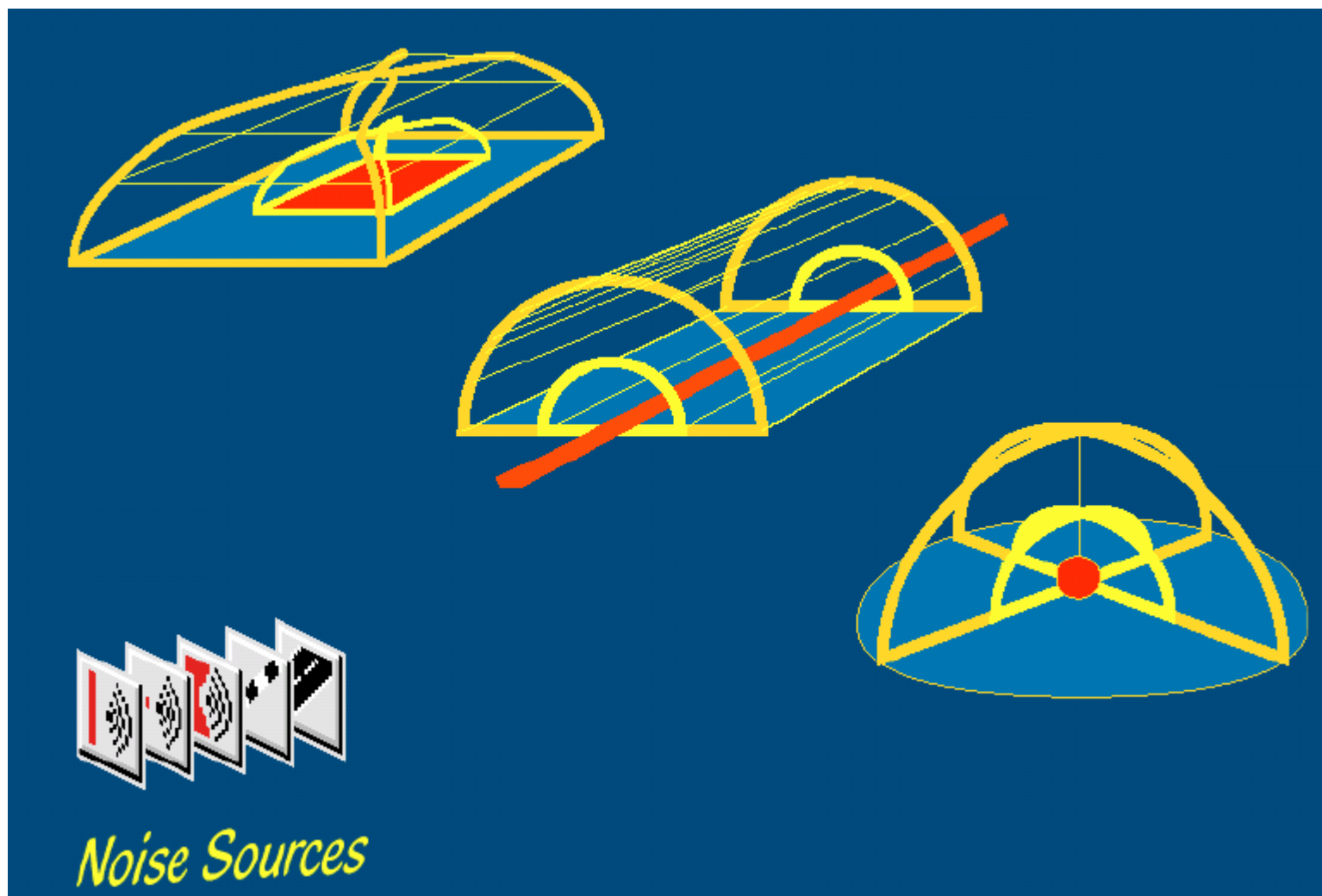


Modello ISO 9613-1 e ISO 9613-2

E' uno dei modelli più utilizzati per lo studio la propagazione del rumore industriale in ambiente esterno.

- ISO 9613-1: tratta l'attenuazione per assorbimento atmosferico (terze di ottava da 50 Hz a 10 kHz).
- ISO 9613-2: tratta l'attenuazione per gli altri effetti (ottave da 63 Hz a 8 kHz).
- Condizioni favorevoli alla propagazione (moderata inversione termica e vento a favore).

Le sorgenti sonore



Equazioni ISO 9613

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A$$

$$D_c = D_I + K_{\Omega} : \text{correzione per direttività}$$

$$A = A_{div} + A_{gr} + A_{atm} + A_{bar} + A_{misc}$$

A_{div} : attenuazione per divergenza geometrica

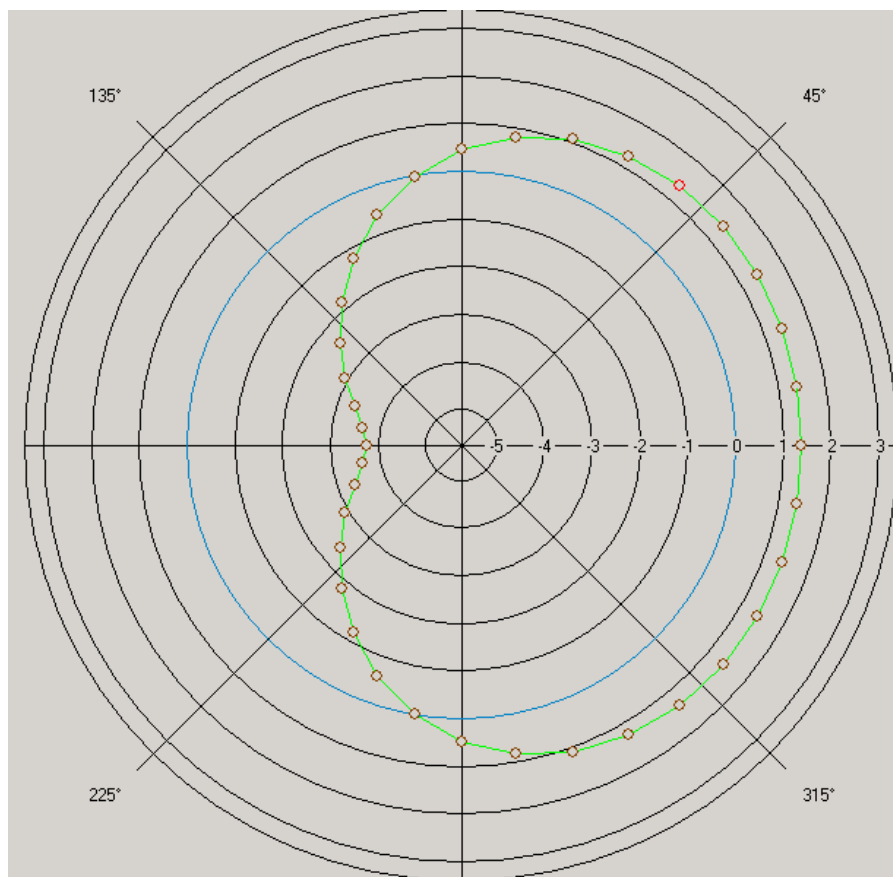
A_{gr} : attenuazione per effetto del terreno

A_{atm} : assorbimento atmosferico

A_{bar} : attenuazione per presenza ostacoli

A_{misc} : attenuazione per altri effetti

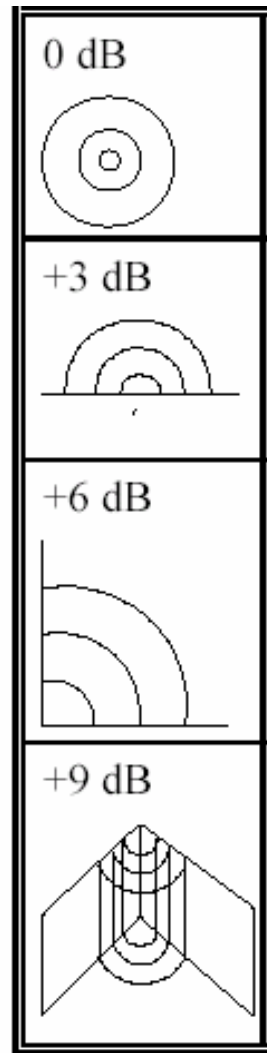
Indice di direttività D_i



La maggior parte delle sorgenti reali non irradia uniformemente in tutte le direzioni.

Esiste un indice di direttività orizzontale e uno verticale, entrambi funzione della frequenza.

Correzione K_{Ω}



E' un fattore di correzione che tiene conto di propagazioni su angoli solidi inferiori a 4π steradiani.

Occorre tenerne conto quando cambia la tipologia di installazione di una sorgente di progetto.

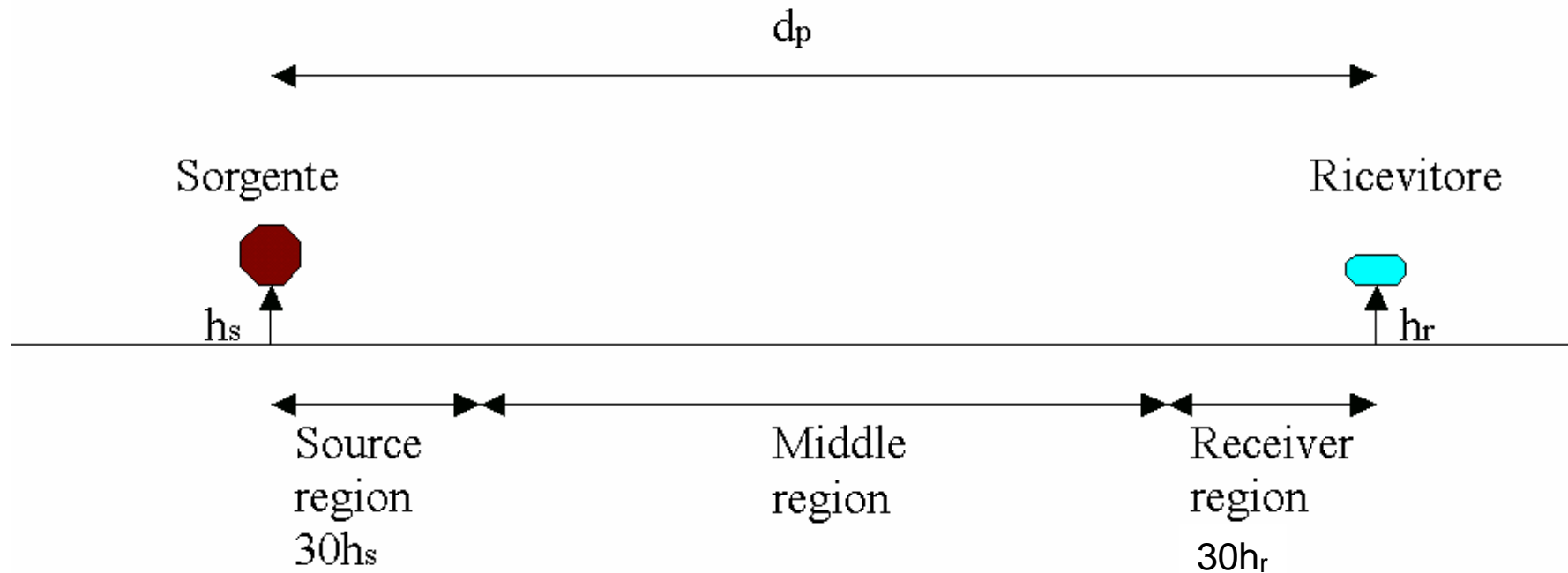
Divergenza geometrica

Per sorgenti puntuali, propagazione sferica, campo libero, vale:

$$A_{div} = 20 \log(d) + 11$$

- Decadimento di 6 dB al raddoppio della distanza.
- Per $d=0.28$ [m] la divergenza geometrica si annulla.

Effetto del terreno



E' un effetto legato all'interazione tra l'onda diretta e l'onda riflessa dal terreno.

Natura del suolo

ISO 9613 distingue tre distinte regioni:

Source region, Receiver region, Middle region.

Ciascuna regione è caratterizzata da un valore di G (Ground Factor):

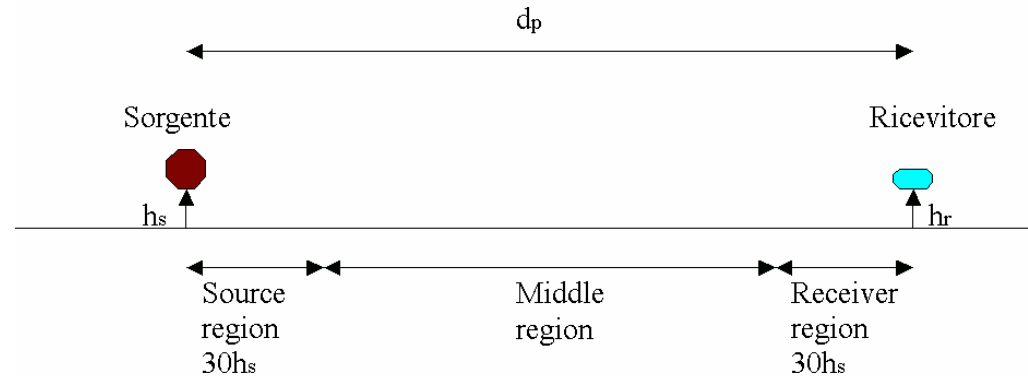
- a) Hard Ground: $G=0$ (pavimentazioni non porose)
- b) Porous Ground: $G=1$ (superfici erbose)
- c) Mixed ground: $0 < G < 1$ (aree tipo $b/(a+b)$)

Esempi di calcolo: effetto del terreno

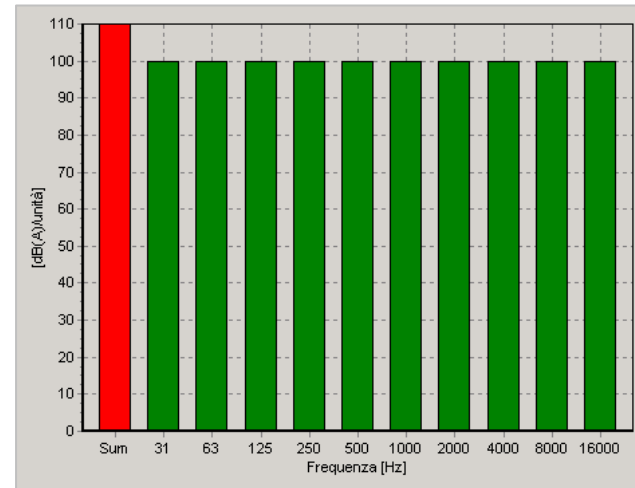
$$h_s = 1,5m$$

$$h_r = 1,5m$$

$$d_p = 60m$$



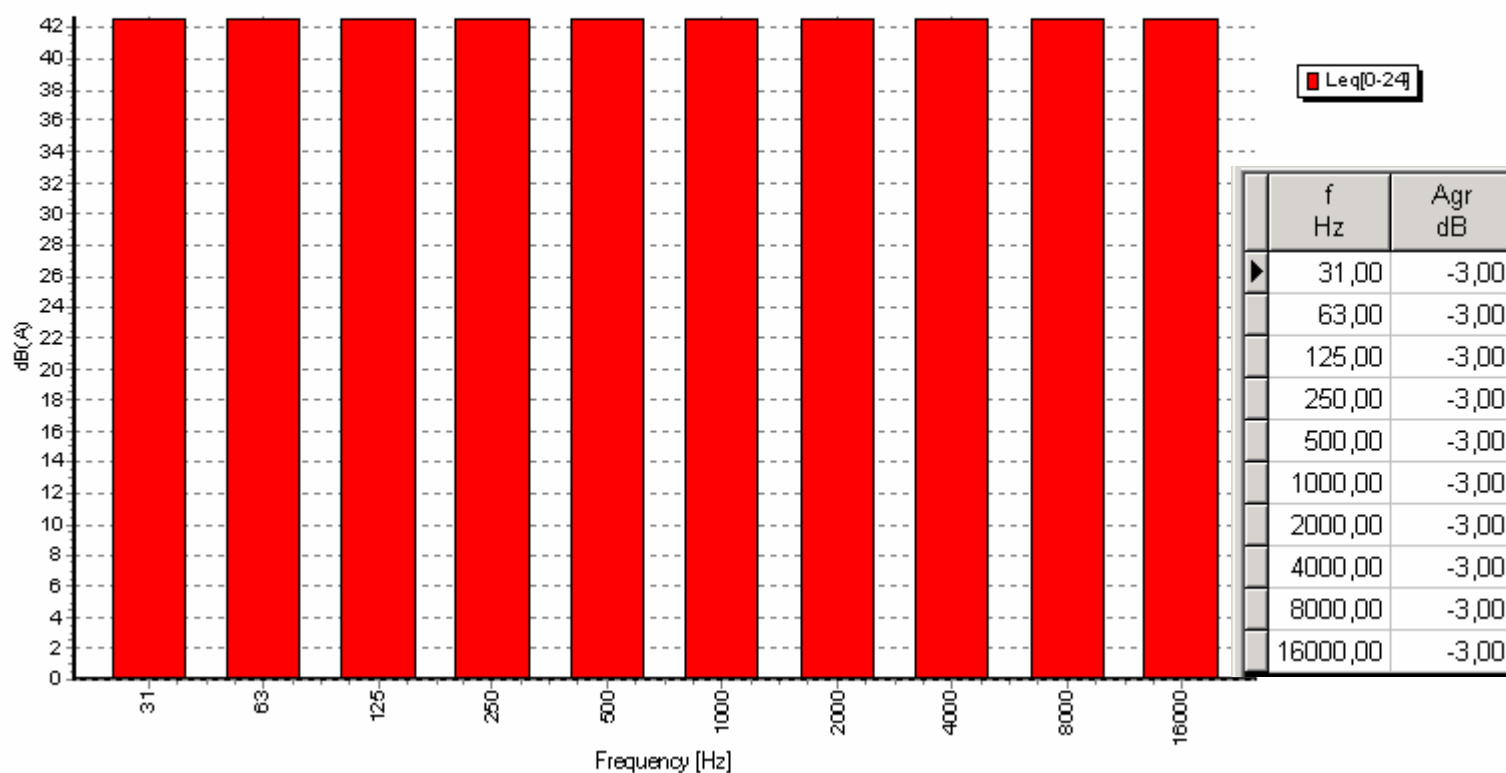
Potenza sonora della sorgente, L_w



Esempio: terreno duro

Terreno duro ($A_{atm}=0$)

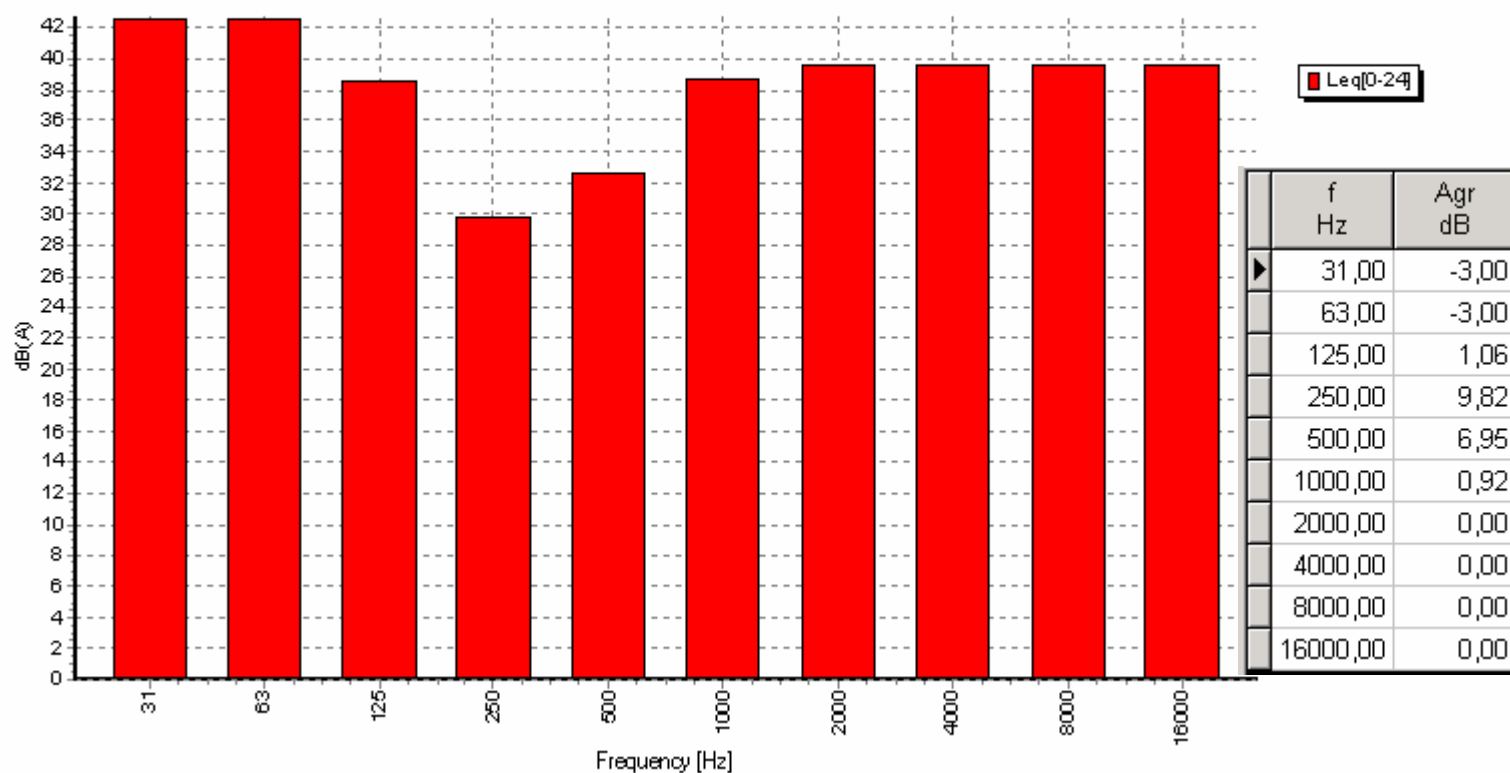
Ricevitore Leq[0-24] 52,6 dB(A)



Esempio: terreno poroso

Terreno poroso ($A_{atm}=0$)

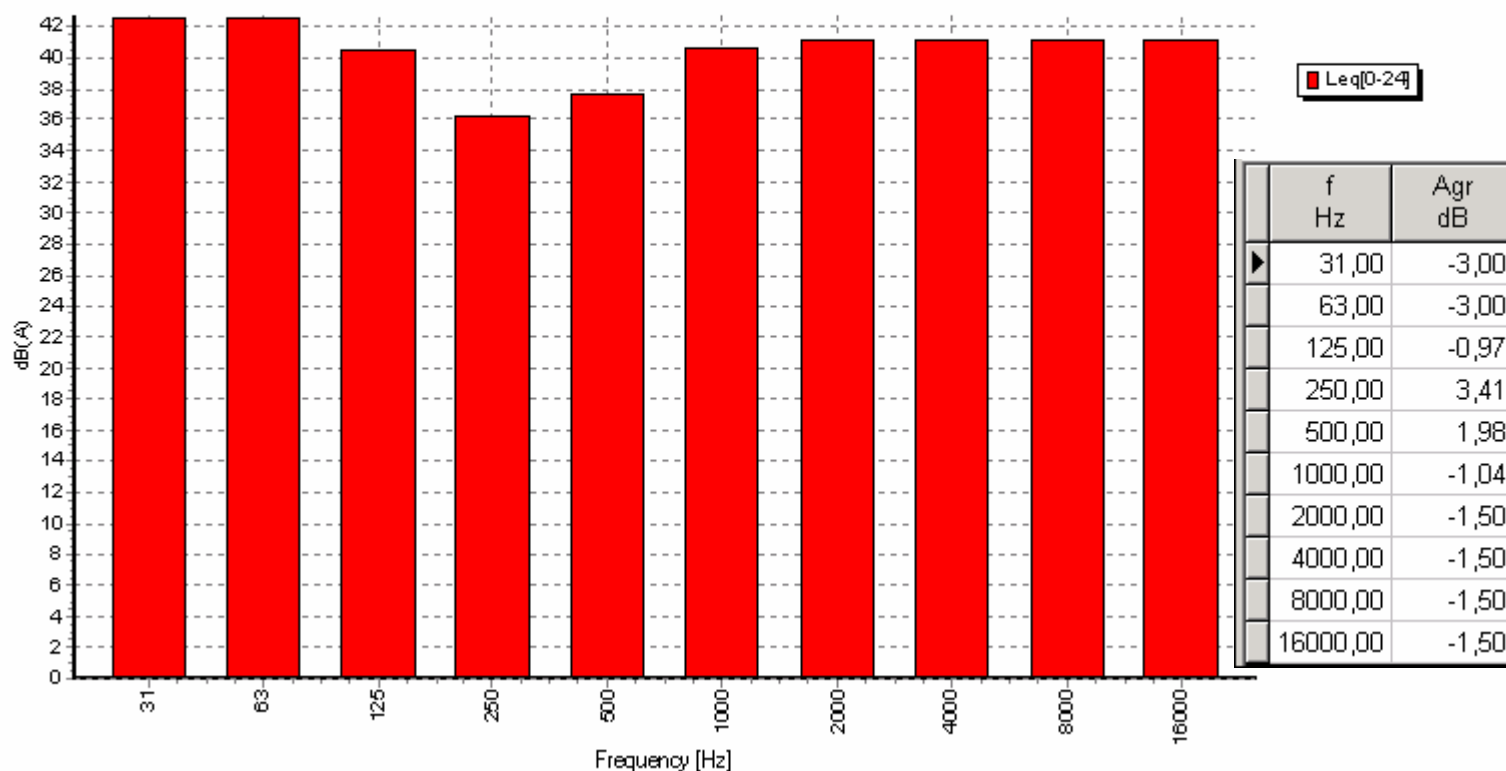
Ricevitore Leq[0-24] 49,6 dB(A)



Esempio: terreno misto

Terreno misto ($A_{atm}=0$)

Ricevitore Leq[0-24] 50,9 dB(A)



Esempi di calcolo: aumento di h_r

$$h_s = 1,5m$$

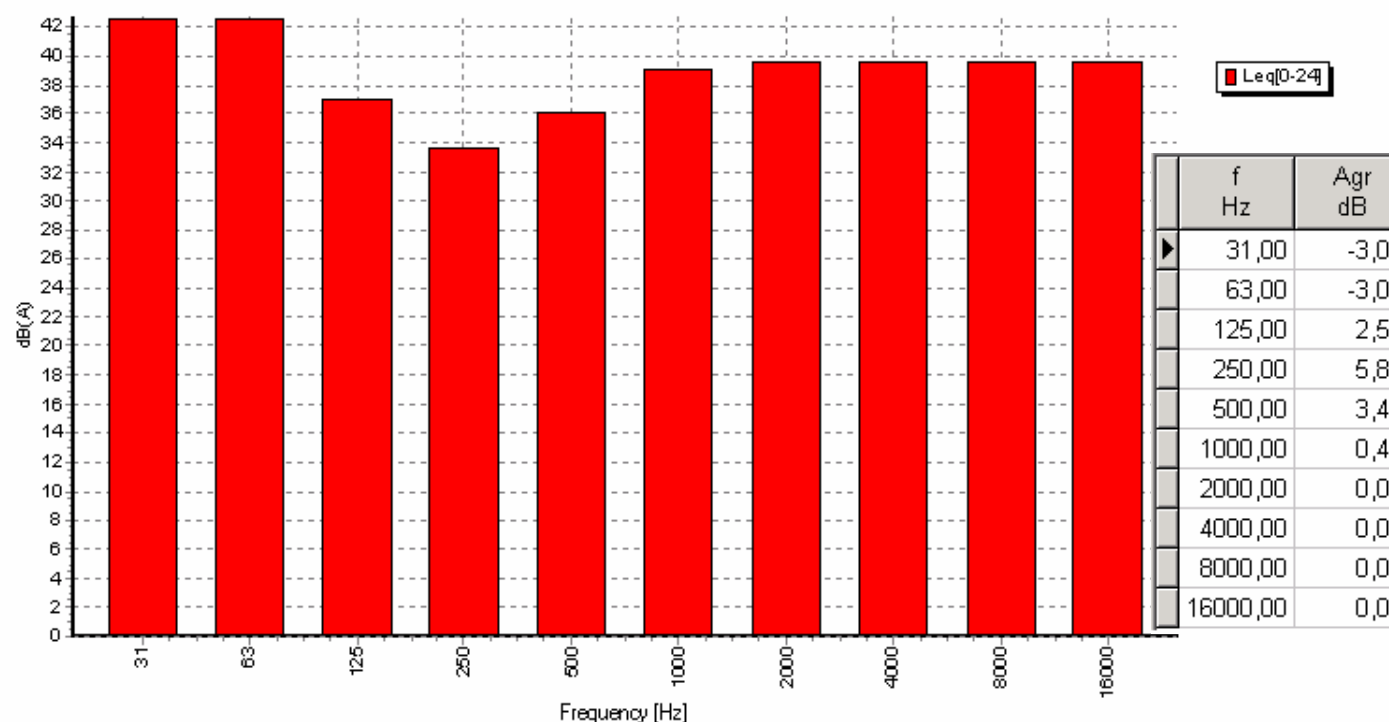
$$h_r = 4,5m$$

$$d_p = 60m$$

$$G_s = G_r = 1$$

Terreno poroso ($A_{atm}=0$) $h_r=4,5m$

Ricevitore Leq[0-24] 49,7 dB(A)



Esempi di calcolo: aumento di d_p

$$h_s = 1,5m$$

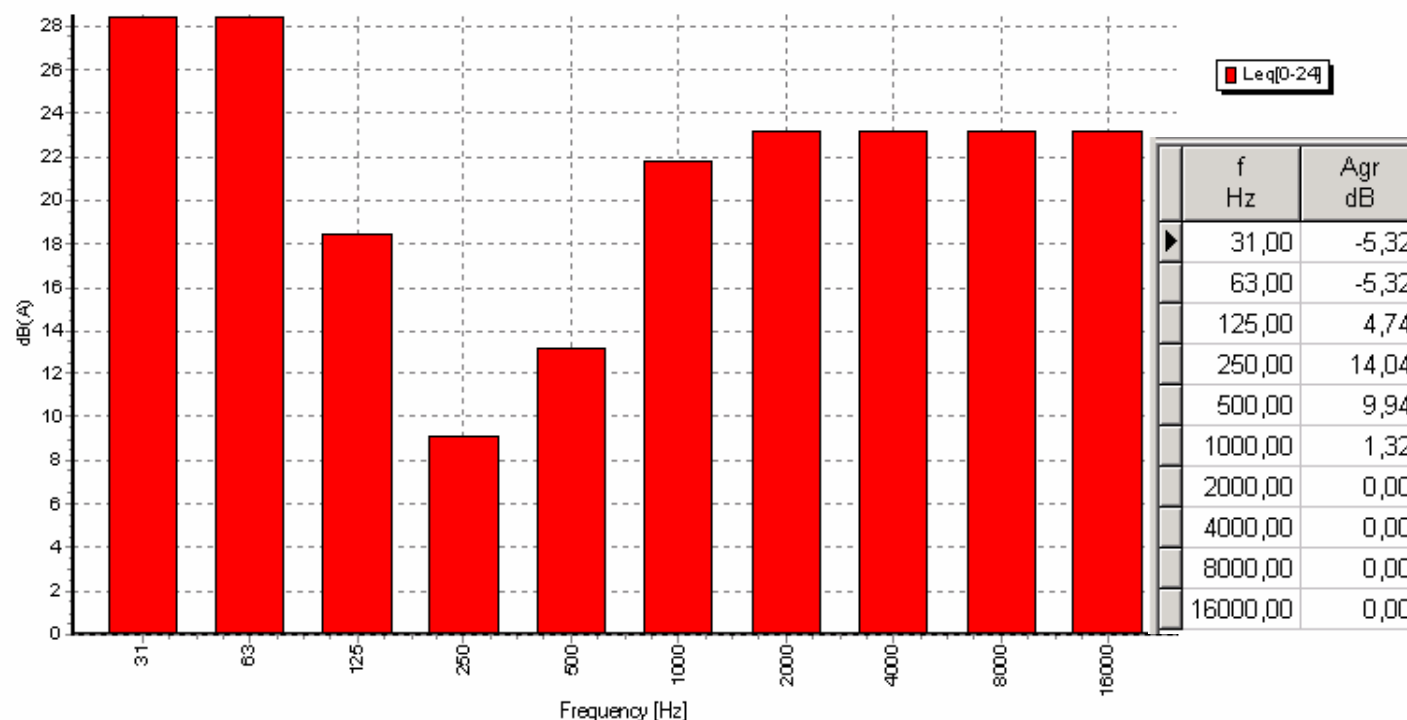
$$h_r = 1,5m$$

$$d_p = 400m$$

$$G_s = G_r = 1$$

Terreno poroso ($A_{atm}=0$) $d_p=400m$

Ricevitore Leq[0-24] 34,0 dB(A)



Esempi di calcolo: diminuzione di h_s

$$h_s = 0,3m$$

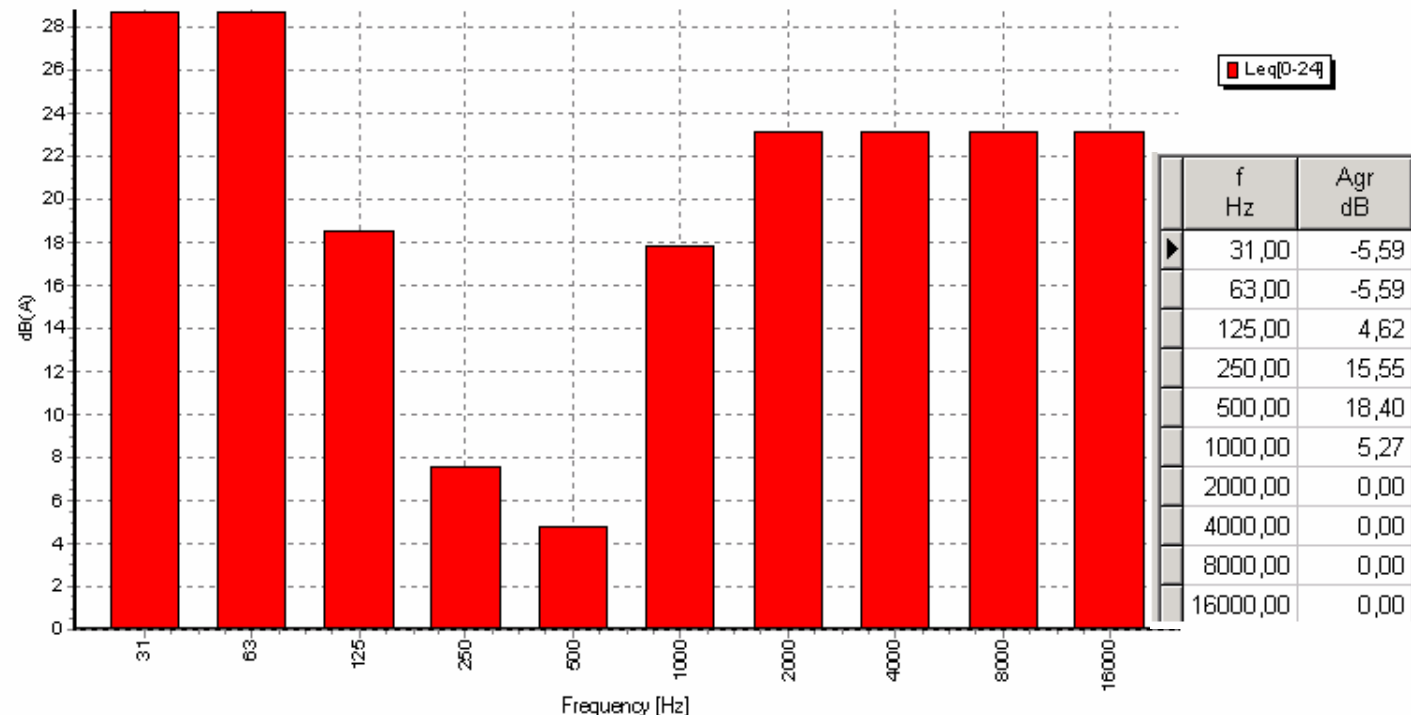
$$h_r = 1,5m$$

$$d_p = 400m$$

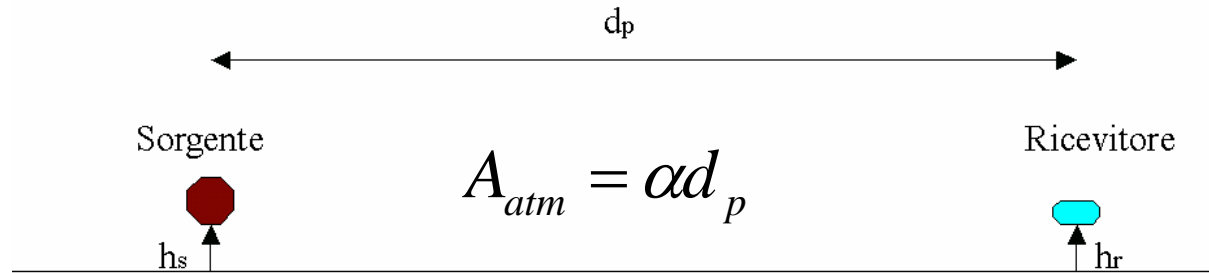
$$G_s = G_r = 1$$

Terreno poroso ($A_{atm}=0$) $d_p=400m$, $h_s=0,3$

Ricevitore Leq[0-24] 33,9 dB(A)



Assorbimento atmosferico



□ α : coefficiente di attenuazione atmosferica [dB/m].

□ α è funzione della frequenza, della temperatura, dell'umidità relativa e della pressione.

□ α aumenta notevolmente all'aumentare della frequenza.

Dati di ingresso della simulazione

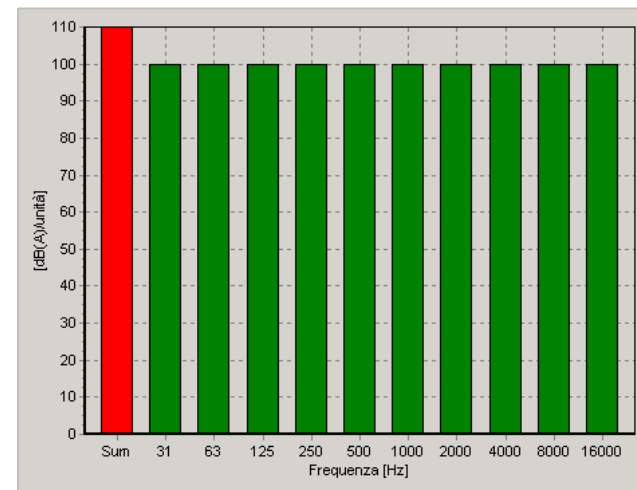
$$h_s = 1,5m$$

$$h_r = 1,5m$$

$$d_p = 60m$$



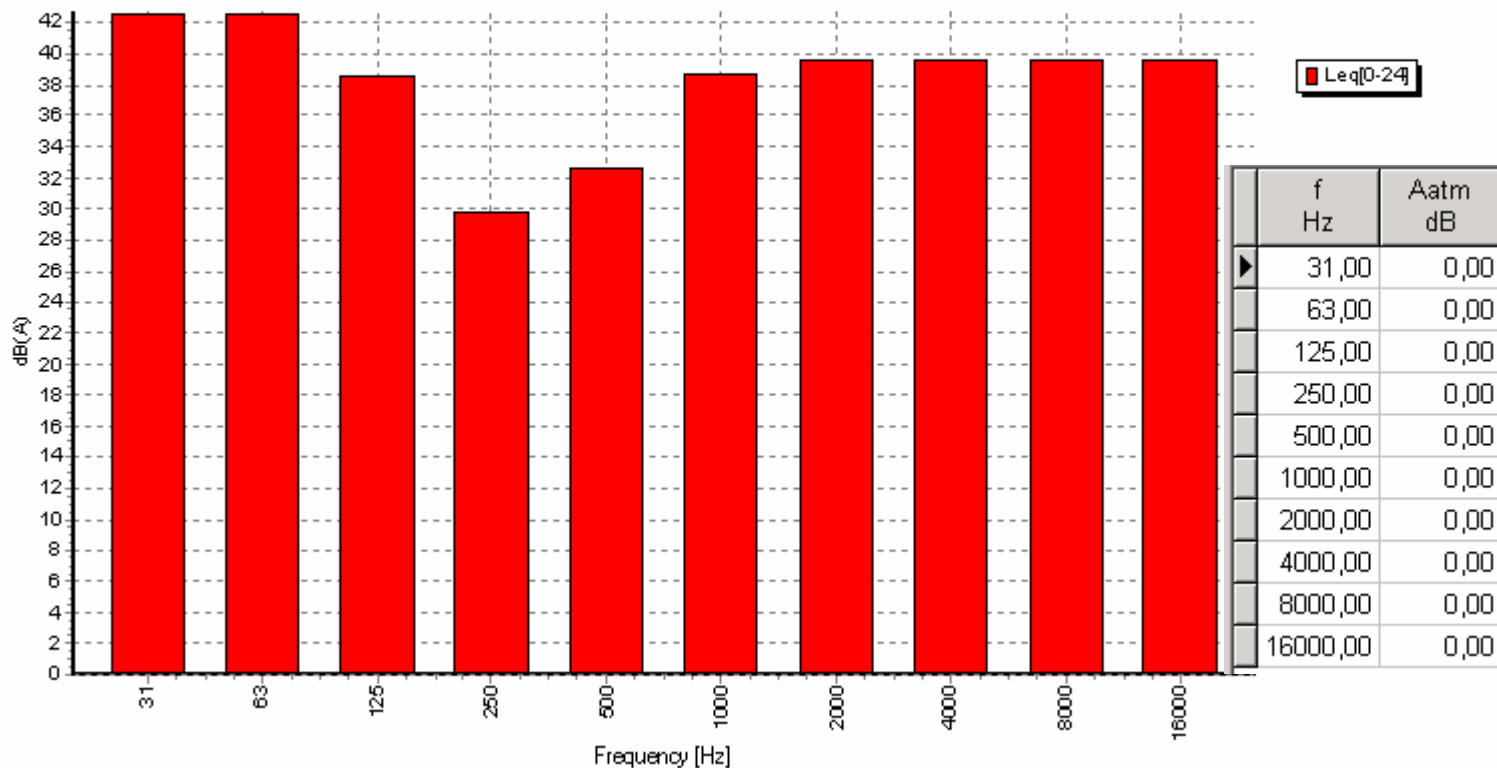
Potenza sonora della sorgente, L_{WA}



Preliminare: (solo Ground Effect)

Senza assorbimento atmosferico

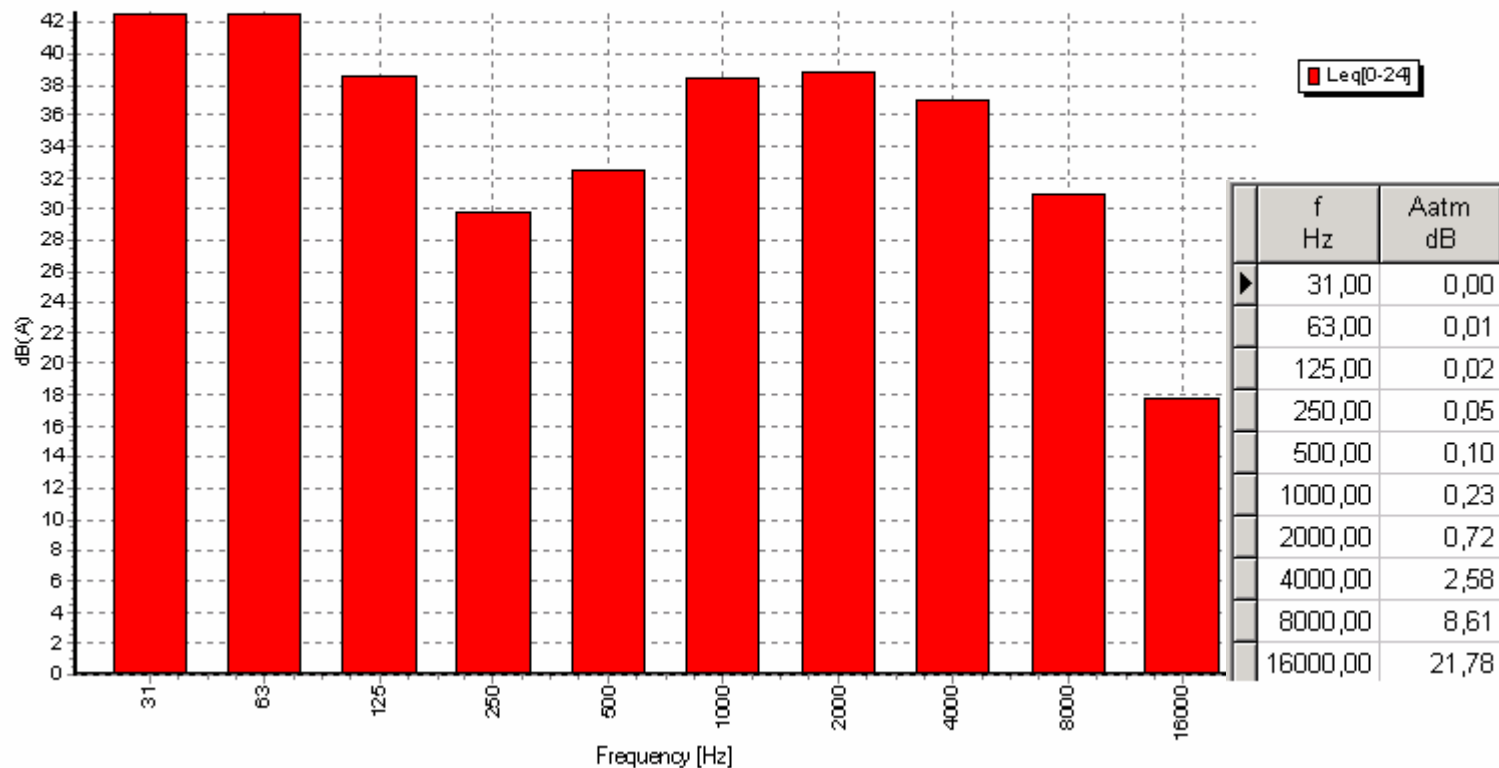
Ricevitore Leq[0-24] 49,6 dB(A)



Esempio di assorbimento atmosferico

Assorbimento atmosferico (T=5 C°, R=70%)

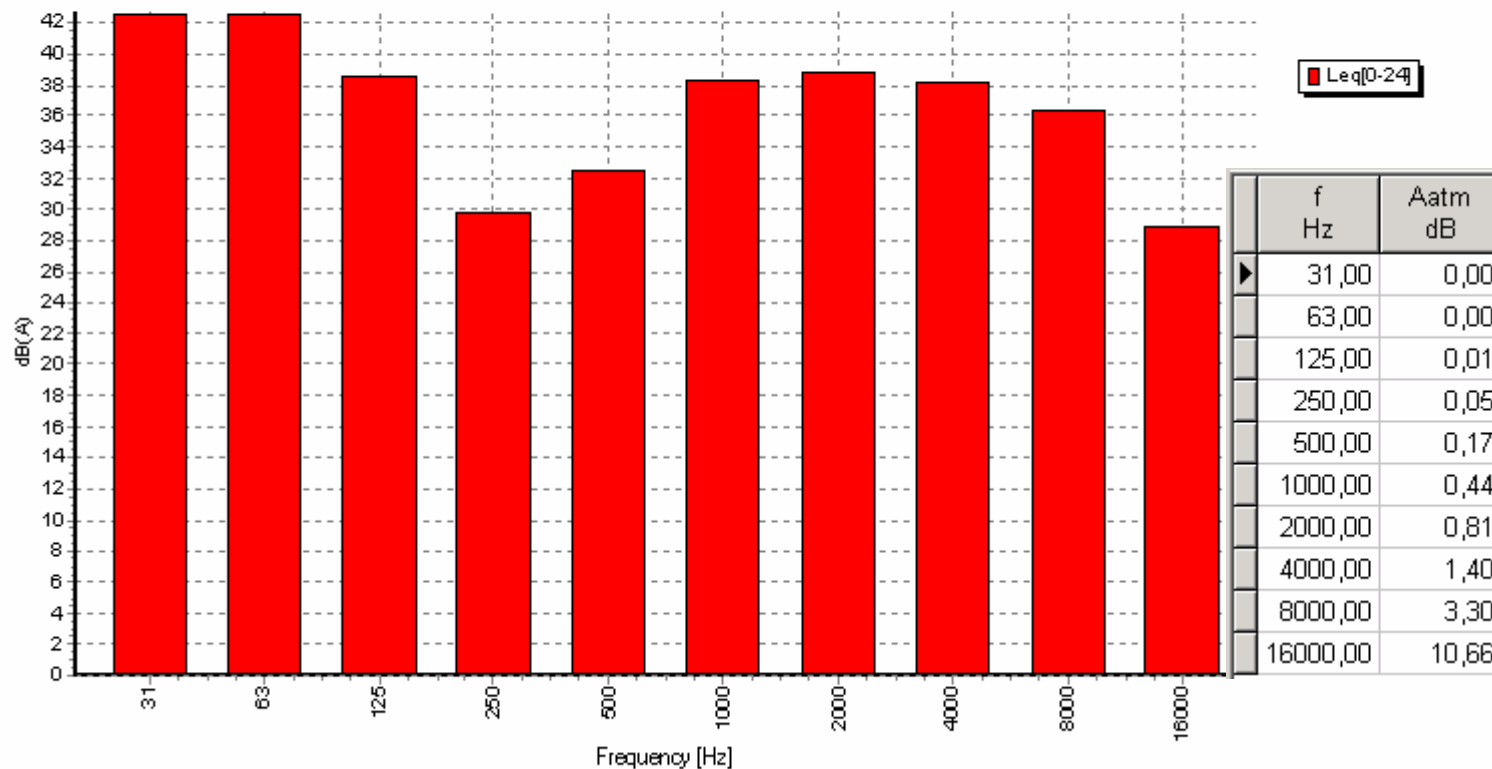
Ricevitore Leq[0-24] 48,3 dB(A)



Esempio di assorbimento atmosferico

Assorbimento atmosferico (T=30 C°, R=85%)

Ricevitore Leq[0-24] 48,6 dB(A)



Ostacolo alla propagazione

- Blocca la linea di vista sorgente – ricevitore
- La sua lunghezza proiettata è maggiore di λ
- Ha una superficie pressoché continua
- Ha una massa superiore a 10 kg/m^2

Esempi di ostacoli: barriere, dune, edifici.

➤ La presenza di un ostacolo (barriera acustica) può ridurre l'effetto di attenuazione del suolo
⇒ il livello sonoro può aumentare a certe frequenze.

Dati di ingresso della simulazione

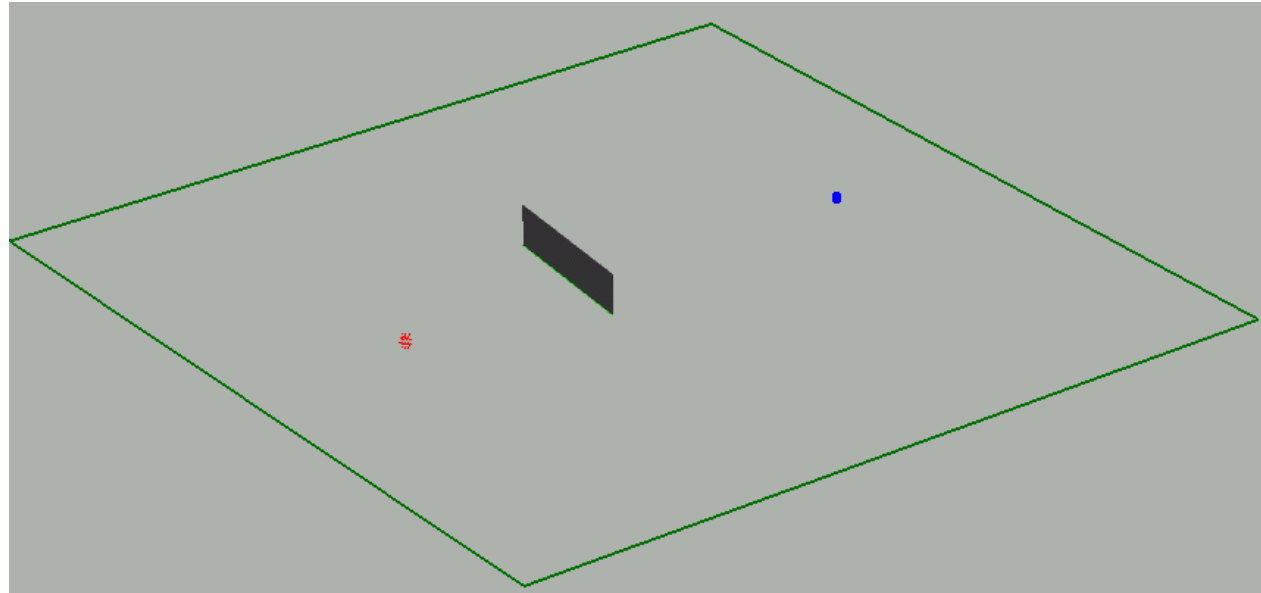
$$h_s = 1,5m$$

$$h_r = 1,5m$$

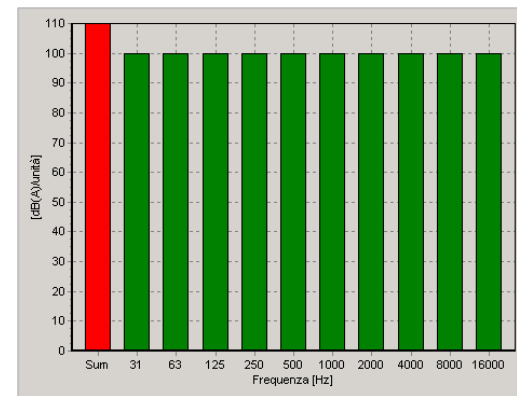
$$d_p = 60m$$

$$H_{bar} = 5m$$

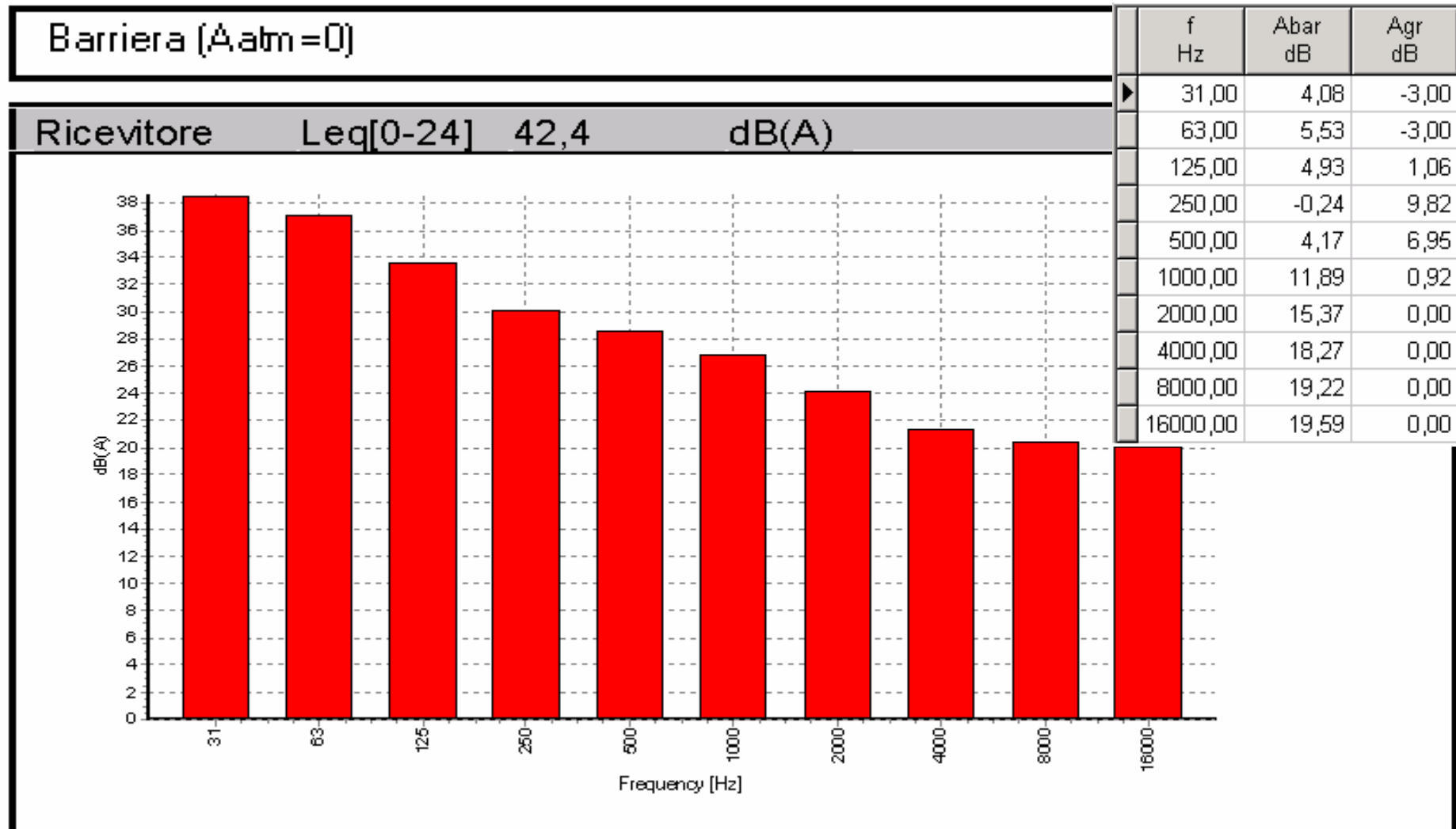
$$G_s = G_r = 1$$



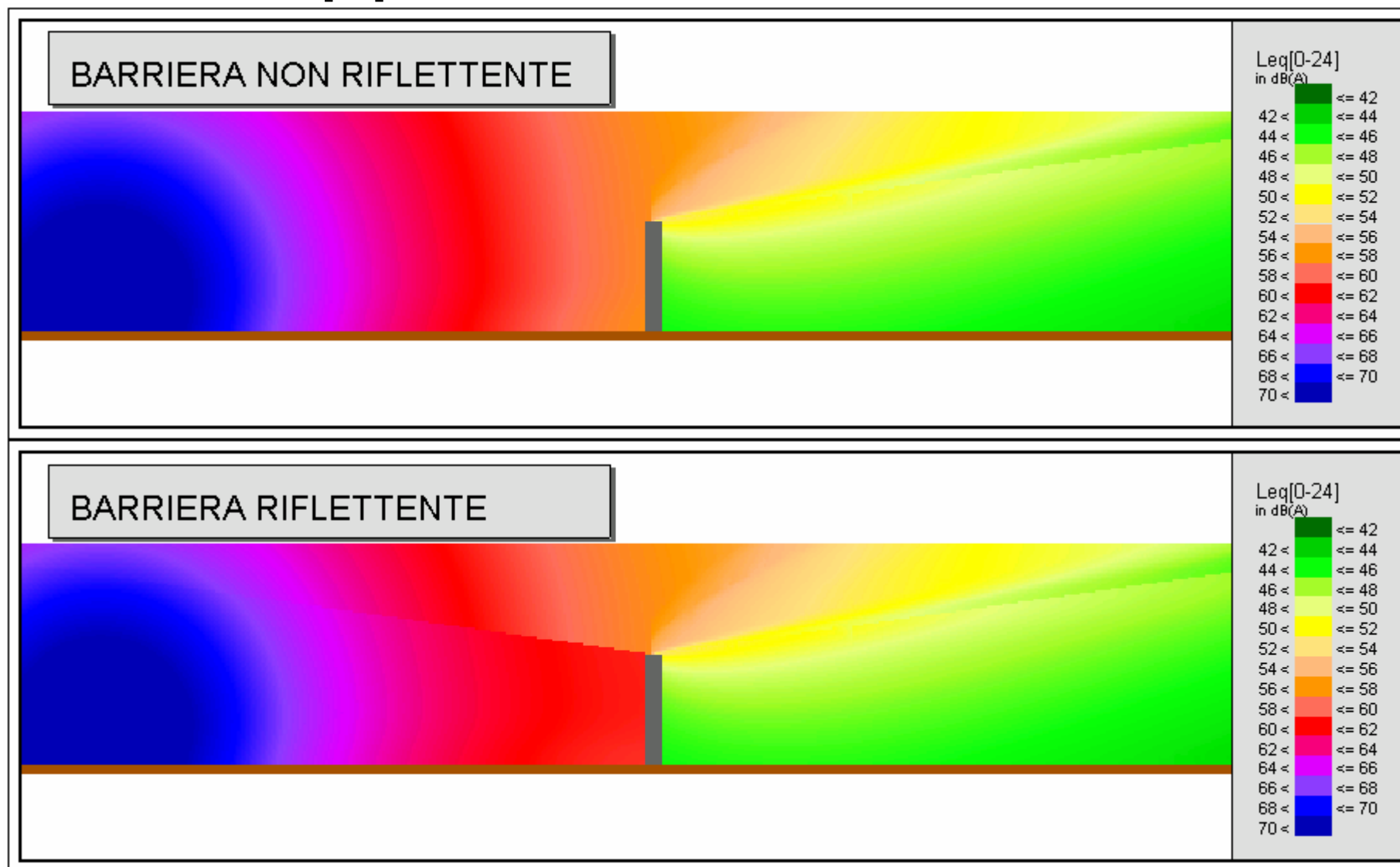
Potenza sonora della sorgente, L_{WA}



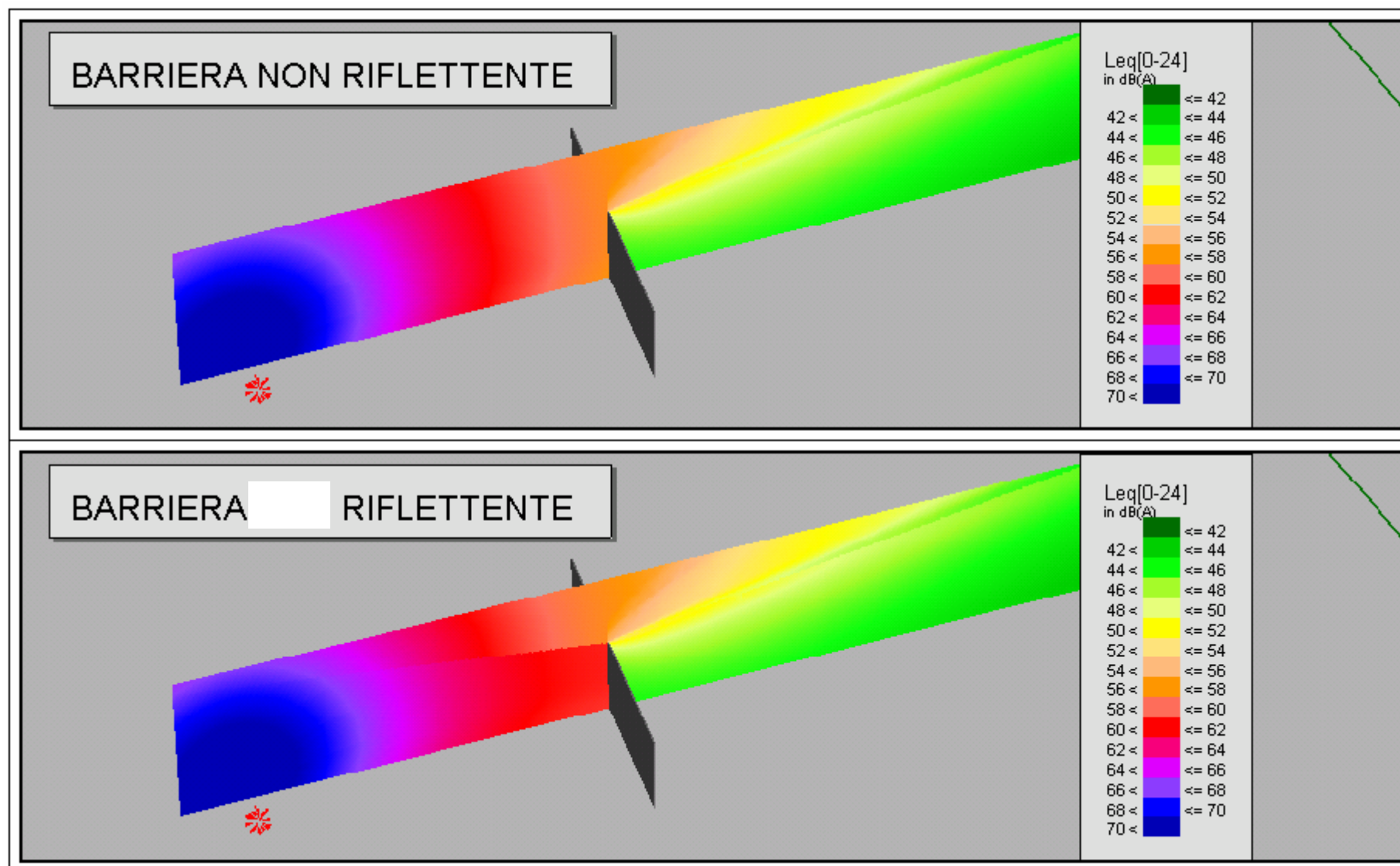
Esempio di calcolo: risultati



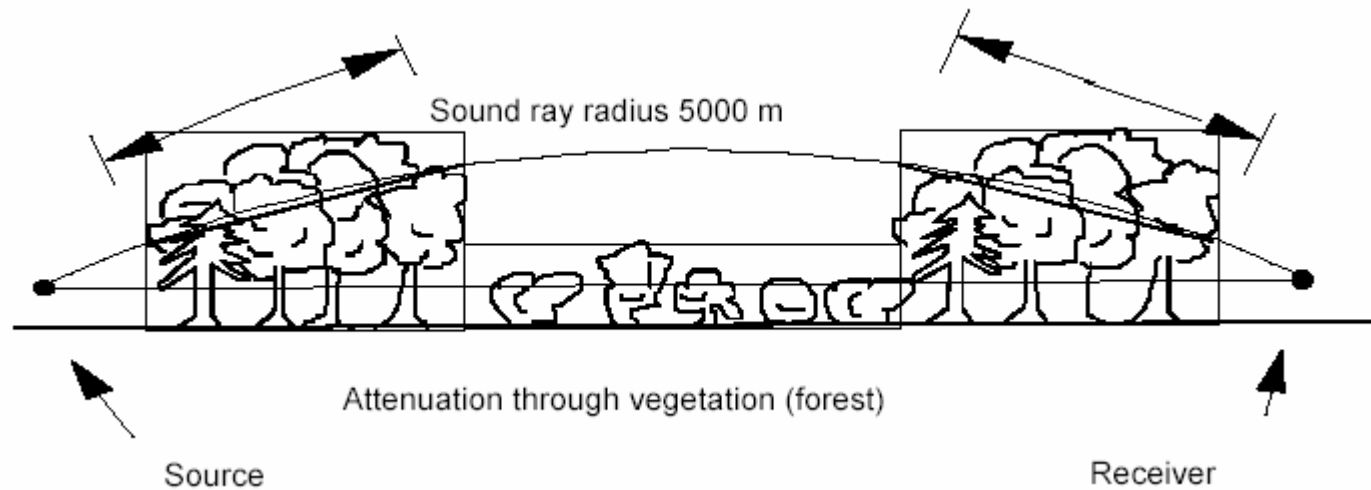
Mappa verticale: sezione



Mappa verticale: sezione 3D



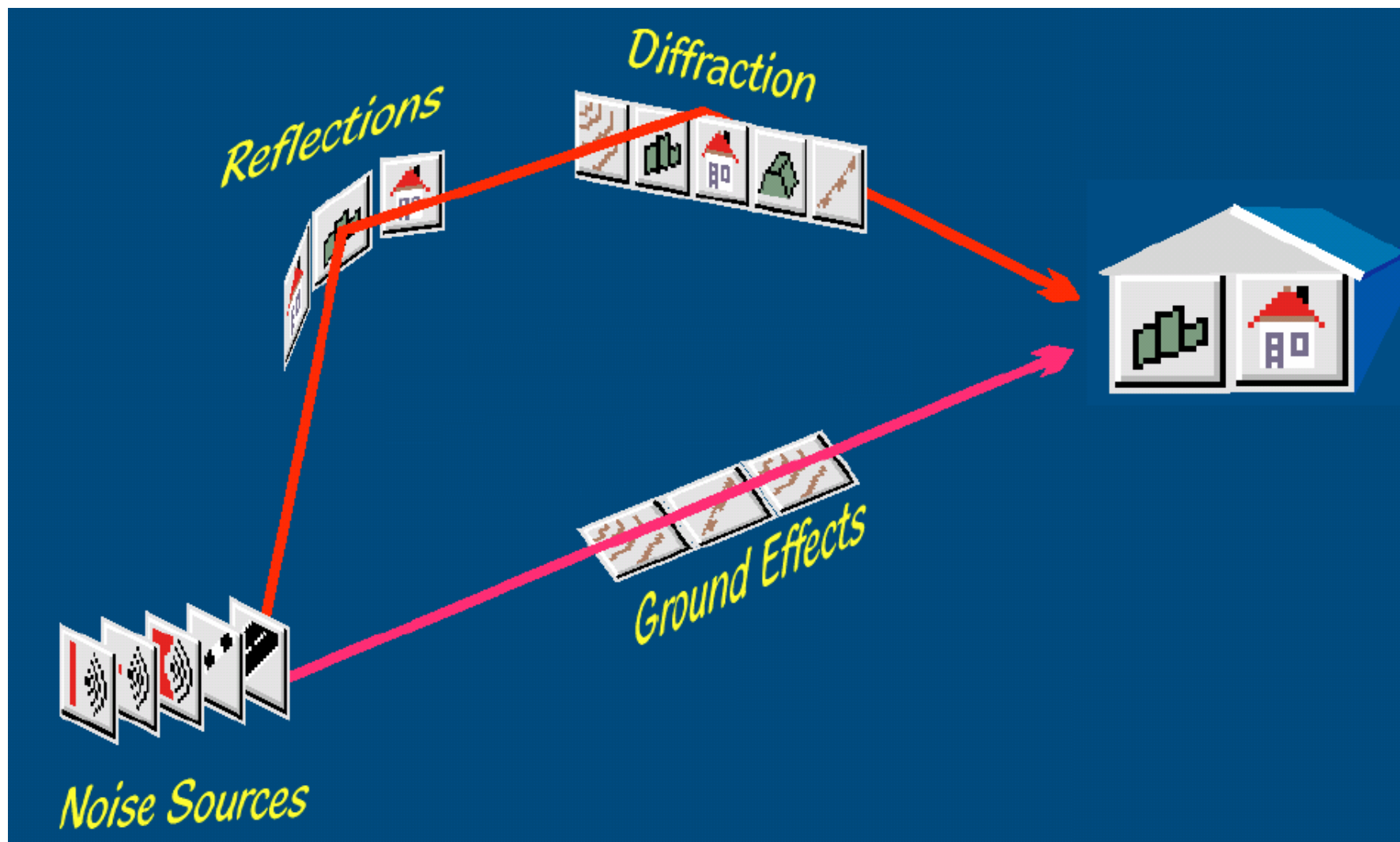
Effetto della vegetazione



Viene utilizzato il concetto di distanza di propagazione attraverso il fogliame d_f .

A 500 Hz, per $10 < d_f < 20$ l'attenuazione vale 1 dB, per $20 < d_f < 200$ l'attenuazione vale 0,5 dB ogni 10 metri.

Riassunto propagazione



Misure delle sorgenti allo stato di fatto

Servono a caratterizzare acusticamente il territorio dove sarà effettuato l'intervento.

Devono contemplare le principali sorgenti che insistono sul territorio.

Possono essere Leq, analisi in frequenza, statistiche, time history.

Vanno sempre allegate alla relazione (possibilmente anche in forma grafica).

Tipologie di misura

Le misure possono essere suddivise in due categorie:

- a) Orientate alla sorgente: hanno lo scopo di quantificare le singole sorgenti esistenti (in termini di potenza sonora e direttività).
- b) Orientate al ricevitore o di campo: hanno lo scopo di valutare gli effetti globali delle sorgenti esistenti (ad esempio in prossimità della facciata di un'abitazione).

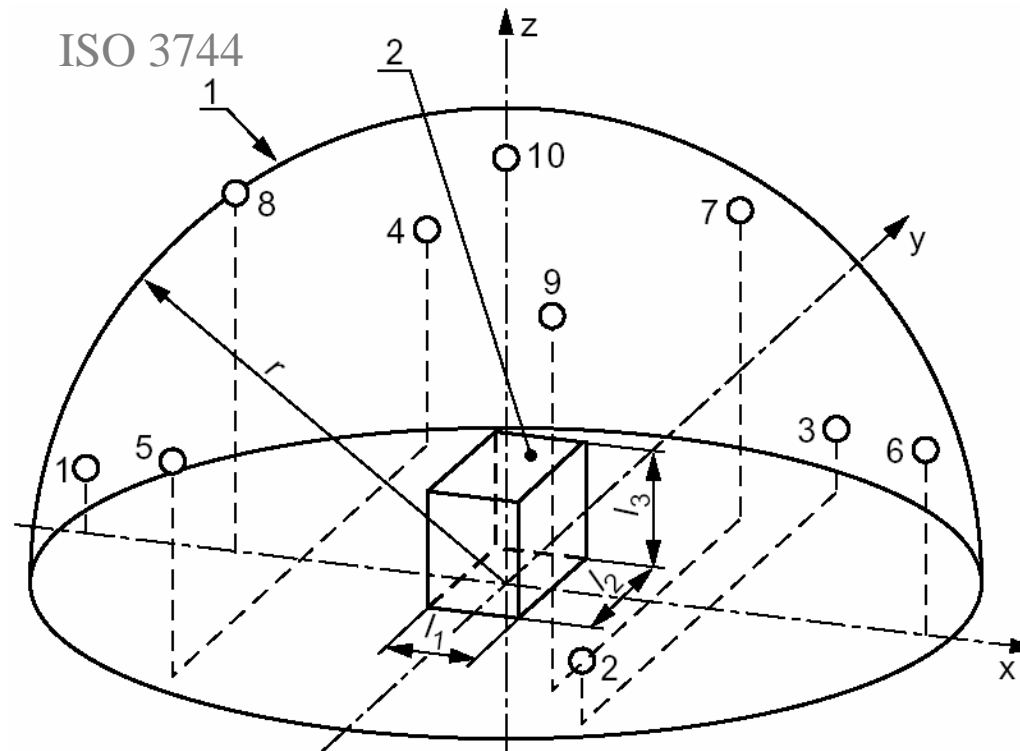
Misure orientate alla sorgente

Vanno considerate solo le sorgenti principali, classificandole per gruppi o per singole unità, valutando:

- Accessibilità dei punti di misura
- Distanza dal ricettore più vicino
- Direttività del campo sonoro generato
- Contributi dovuti ad altre sorgenti
- Ipotesi di modifica su singola sorgente

Metodo classico

Vengono effettuati rilievi di livello di pressione sonora nelle posizioni di misura indicate nelle norme ISO 3744/46, ISO 8297, ISO 9614.



Note sul metodo classico

Il metodo classico permette di determinare lo spettro di potenza sonora (anche in banda) e l'eventuale direttività della sorgente; questi dati possono essere immessi direttamente nel software di simulazione.

Il metodo non è sempre applicabile, sia per limitazioni tecnico-pratiche, che per i tempi lunghi di esecuzione.

Il metodo per sostituzione

E' il metodo più veloce ed utilizzato.

Le misure sono effettuate ad una distanza dalla sorgente tale da soddisfare, laddove possibile, i seguenti criteri:

- Privilegiare il campo libero alla presenza di edifici, schermi o barriere.
- Lontano da discontinuità del terreno e da vegetazione ad alta densità.
- Privilegiare le direzioni sulle quali si trovano i ricettori.

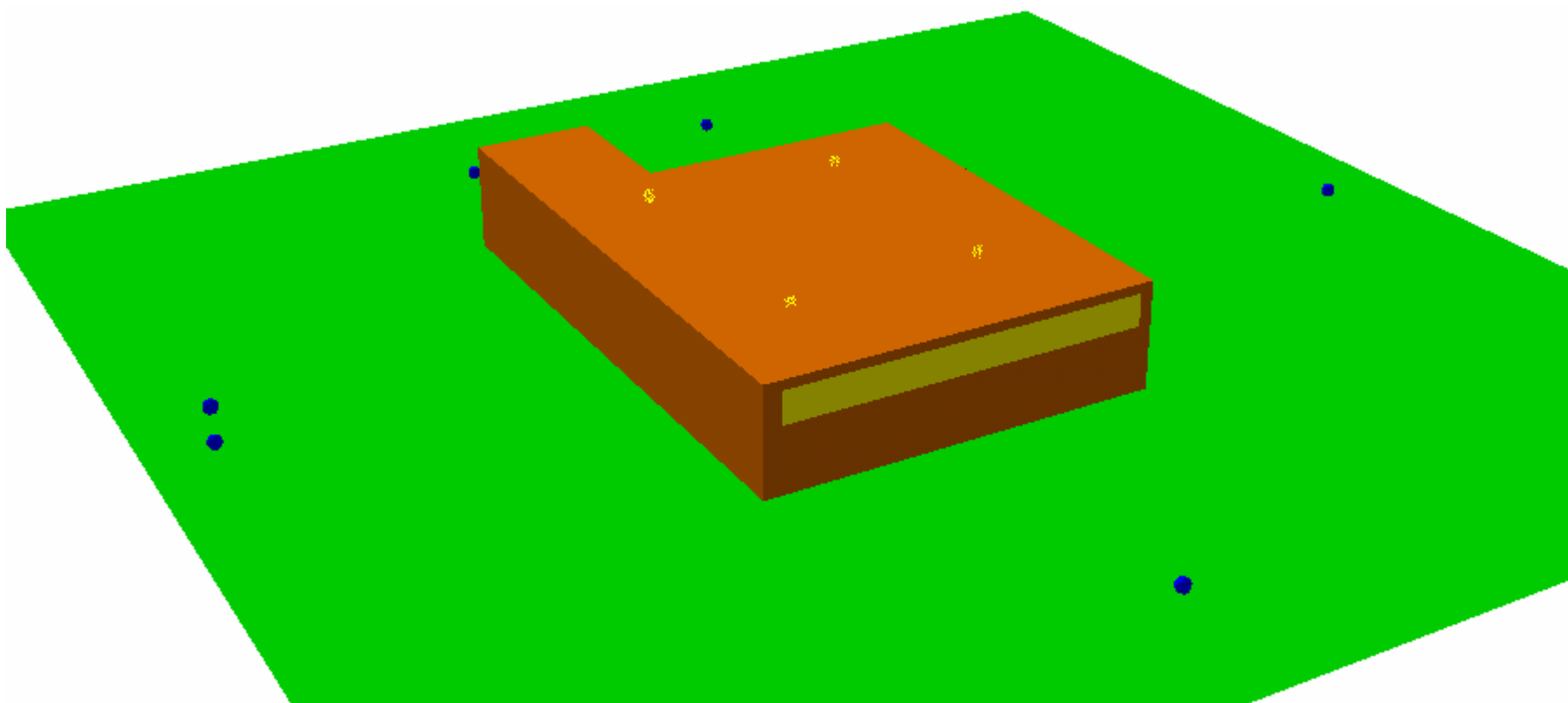
Distanza di misura

La scelta della distanza di misura va effettuata caso per caso.

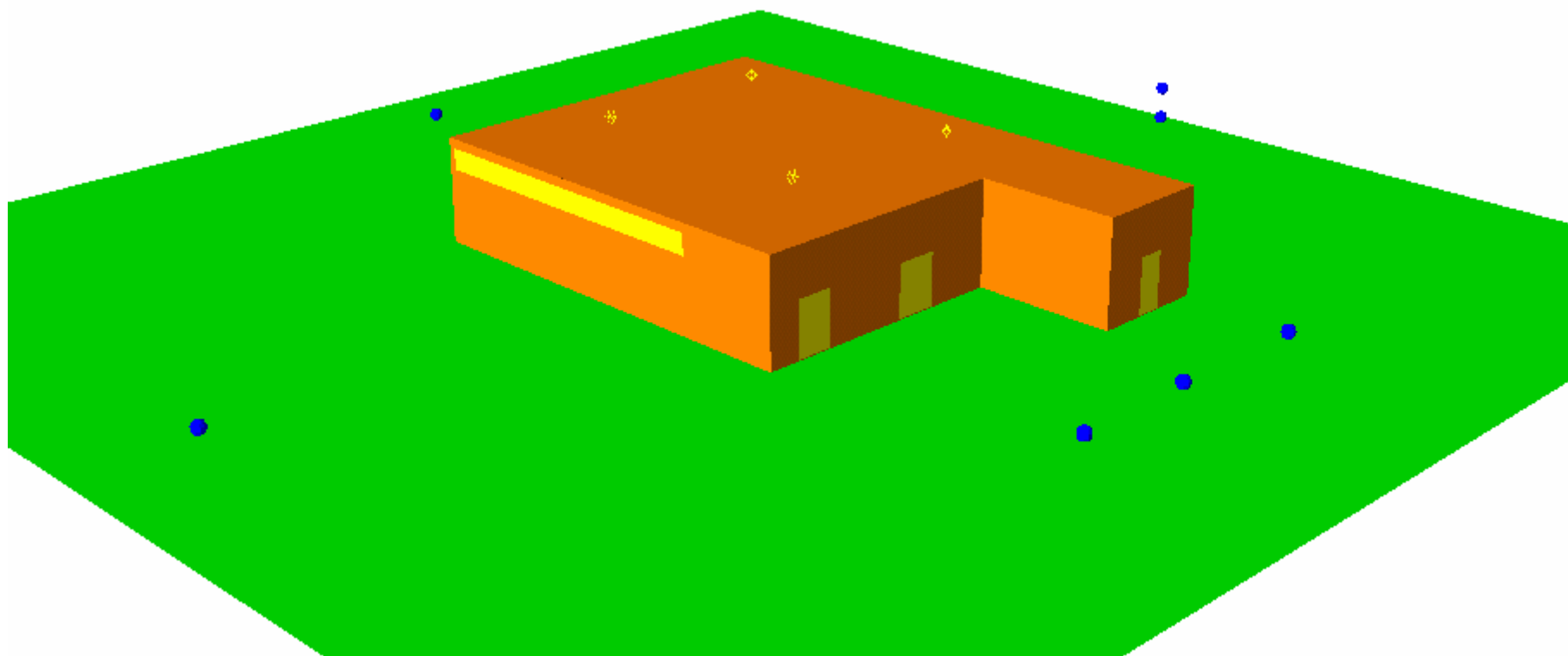
Le misure effettuate lontano dalla sorgente hanno il difetto di risentire del rumore generato da altre sorgenti.

Le misure effettuate vicino alla sorgente hanno il difetto di risentire del campo vicino; inoltre richiedono una valutazione molto accurata della distanza tra sorgente e microfono.

Esempio di misure su sorgente



Esempio di misure su sorgente



Metodo per sostituzione



Casi reali: presenza di più sorgenti

Nel caso di contemporanea presenza di più sorgenti, la validazione delle sorgenti su più ricevitori può essere difficoltosa; il software di simulazione può offrire soluzioni specifiche per agevolare il controllo su ogni sorgente e su ogni ricevitore (minimi quadrati, distinzione dei contributi, operazioni tra mappe di punti di misura, etc).

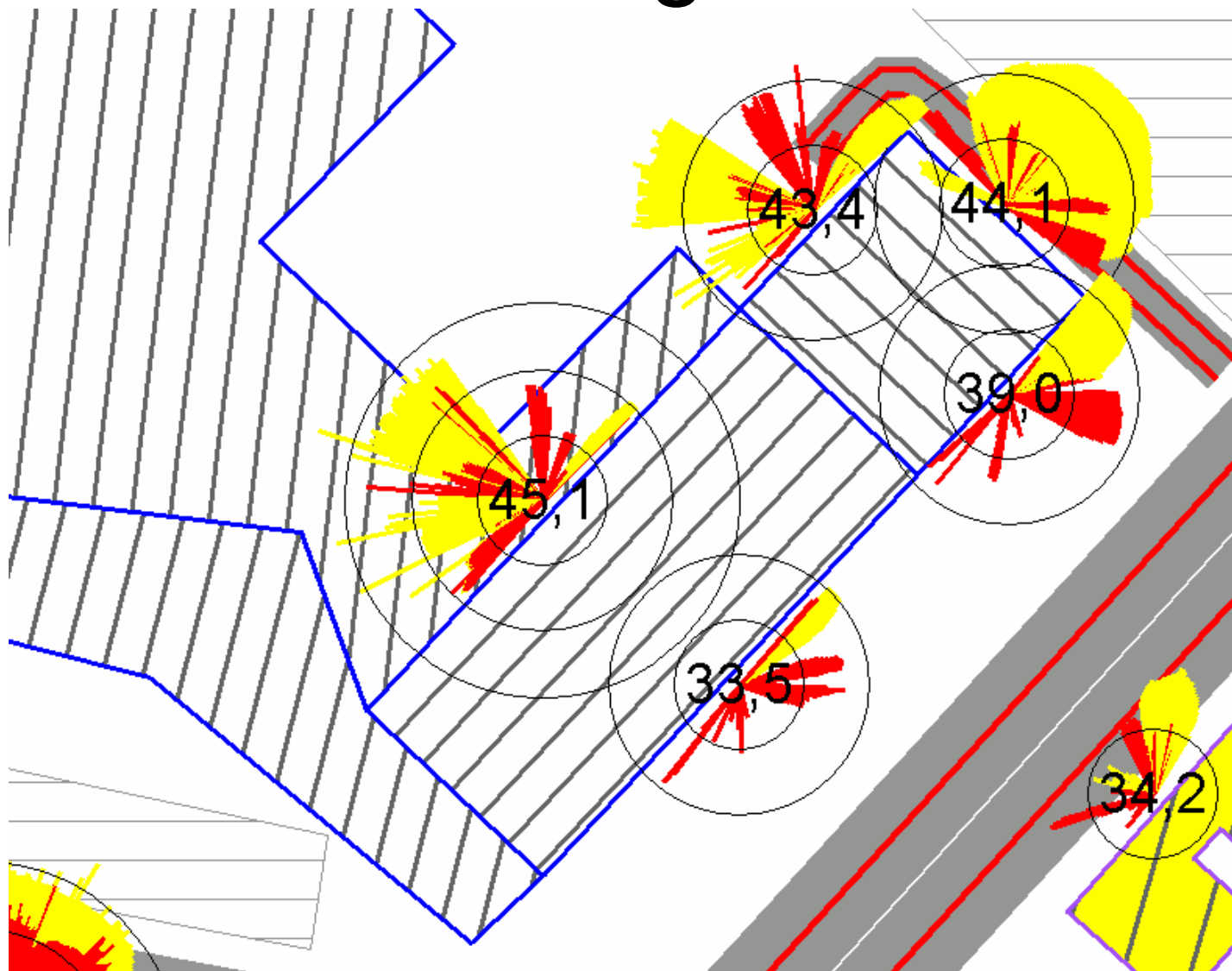
Normalmente è accettabile uno scarto di ± 1 dB tra i valori simulati e quelli misurati.

Contributo di ogni sorgente

Informazioni di Calcolo Ricevitori Lista delle sorgenti Dettagli e grafici						
	Name		LrD,max/dB(A)	LrN,max/dB(A)	LrD/dB(A)	LrN/dB(A)
►	Jamaica Road 26	1. Floor	60	45	57,5	26,8
	Jamaica Road 26	2. Floor	60	45	57,5	28,1
	Jamaica Road 27	1. Floor	55	40	53,6	24,8
	Jamaica Road 30	1. Floor	60	45	61,5	30,4
	Jamaica Road 30	2. Floor	60	45	61,7	31,6

Spettro Distribuzione nelle 24h Contributo della sorgente Propagazione media Source Contrib. 24h Dist. Groups Diagrammi						
	Name	SrcType	LrD dB(A)	LrN dB(A)	A dB(A)	
►	loudspeaker 1	Punto	56,0		0,0	
	Beer garden	Area	49,4		0,0	
	loudspeaker 2	Punto	48,8		0,0	
	Beer garden	PLot	30,5	26,5	0,0	
	Industrial plant 2	Area	12,1	12,1	0,0	
	Industrial plant 1	Area	11,2	11,2	0,0	

Direzione di ogni contributo

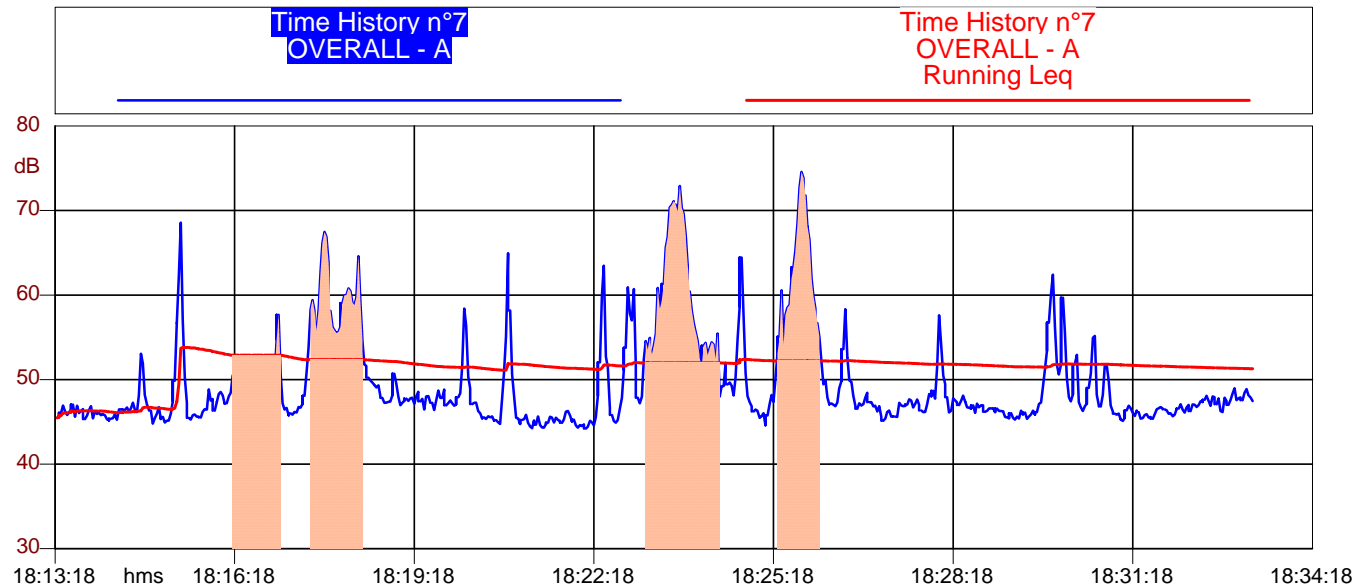


Misure orientate al ricettore o di campo

Sono utili per caratterizzare la propagazione sonora associata alla globalità delle sorgenti in esame.

Tramite queste misure si affinano i parametri morfologici, geometrici e meteorologici della modellazione ipotizzata.

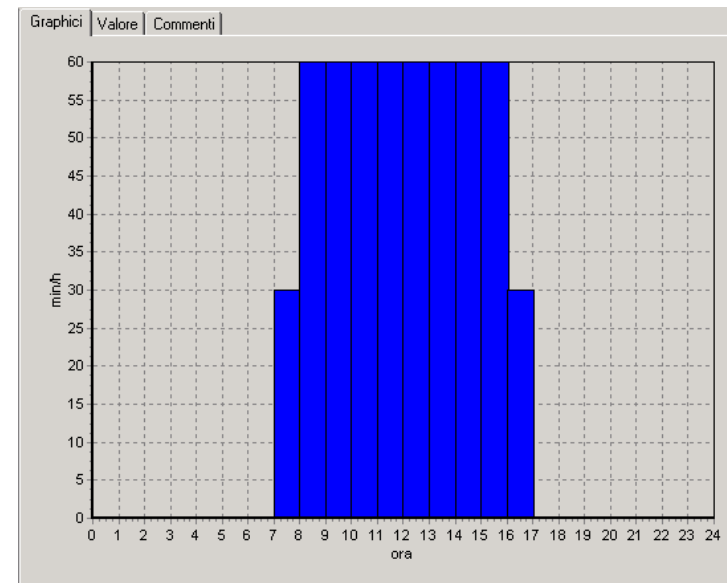
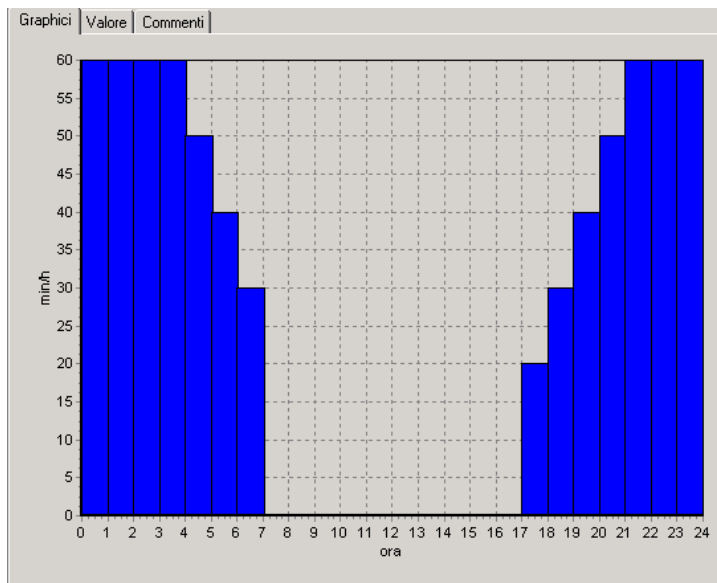
Esempio di misura di campo



Time History n°7 OVERALL - A			
Nome	Inizio	Durata	Leq
<i>Totale</i>	<i>18:13:20</i>	<i>00:20:00</i>	<i>57.6 dB(A)</i>
<i>Non Mascherato</i>	<i>18:13:20</i>	<i>00:16:16</i>	<i>50.9 dB(A)</i>
<i>Mascherato</i>	<i>18:16:16</i>	<i>00:03:44</i>	<i>64.0 dB(A)</i>
<i>aereo</i>	<i>18:16:16</i>	<i>00:00:50</i>	<i>50.3 dB(A)</i>
<i>p. livello + treno</i>	<i>18:17:34</i>	<i>00:00:54</i>	<i>61.3 dB(A)</i>
<i>aereo</i>	<i>18:23:10</i>	<i>00:01:16</i>	<i>65.1 dB(A)</i>
<i>aereo</i>	<i>18:25:22</i>	<i>00:00:44</i>	<i>67.4 dB(A)</i>

Tempi di funzionamento

Le sorgenti possono avere un tempo di funzionamento inferiore al tempo di riferimento. Per tenere conto di questo fatto, il software accetta per ogni sorgente l'orario dettagliato relativo alla sua attività.



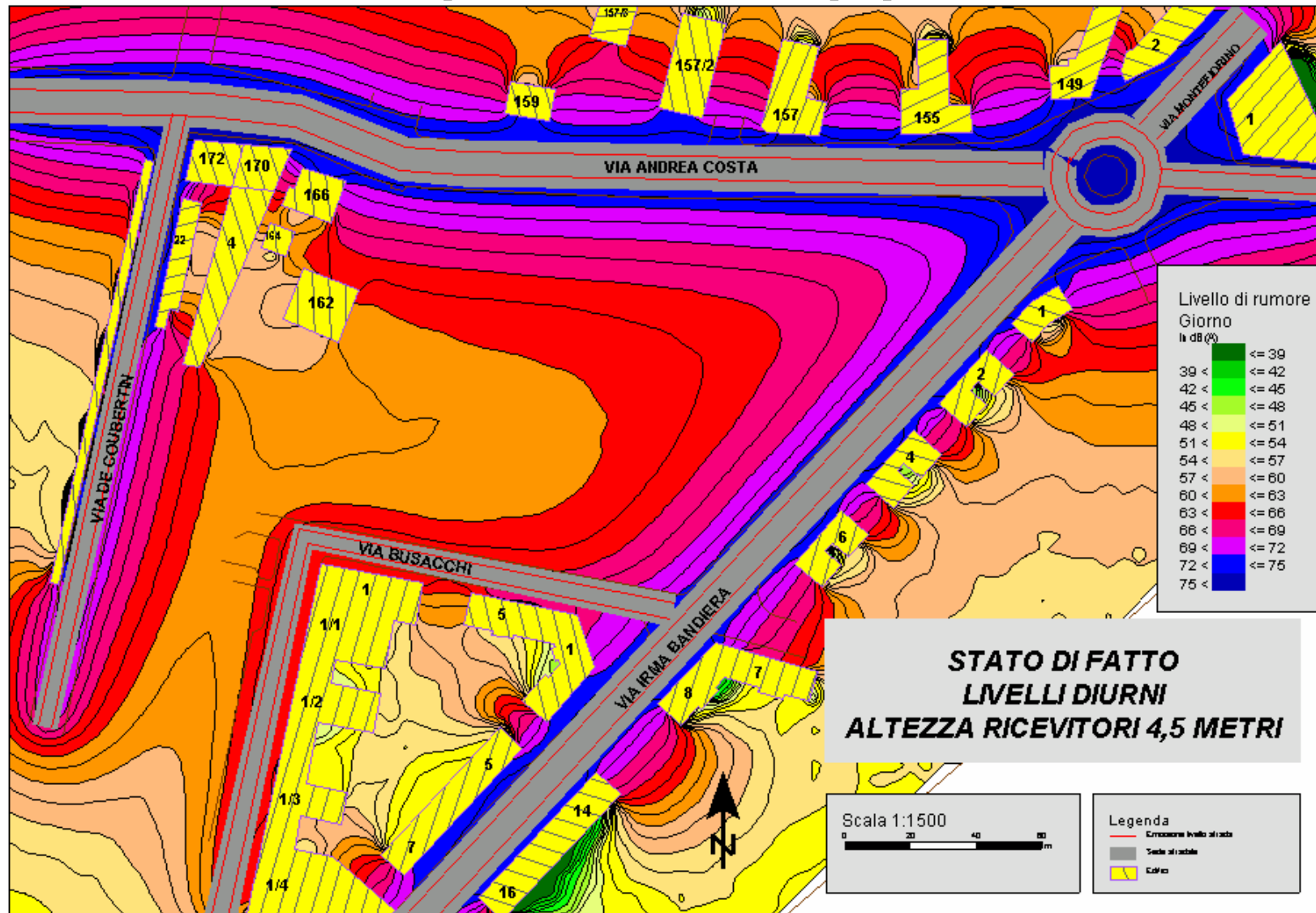
Mappa dello stato di fatto

Dopo che lo Sdf è stato validato, si può lanciare il calcolo della mappa dello Sdf su una griglia di ricettori uniformemente distribuita sull'area di calcolo, oppure su griglia variabile.

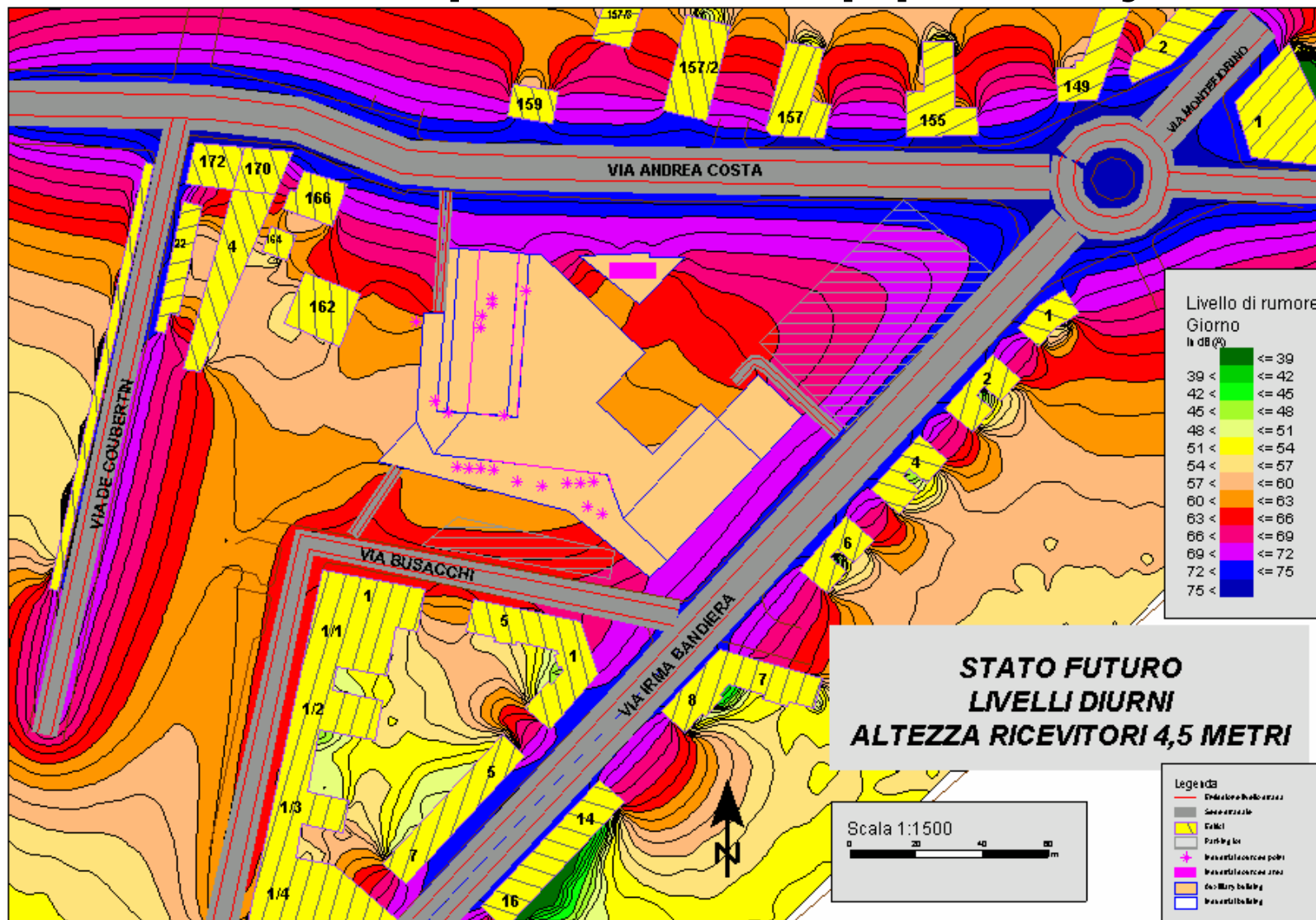
Le altezze della griglia sul livello del terreno sono usualmente a 1,5 metri e a 4 o 4,5 metri.

La distanza tra due ricettori adiacenti è un compromesso tra velocità di calcolo del processore ed accuratezza dei risultati (1m).

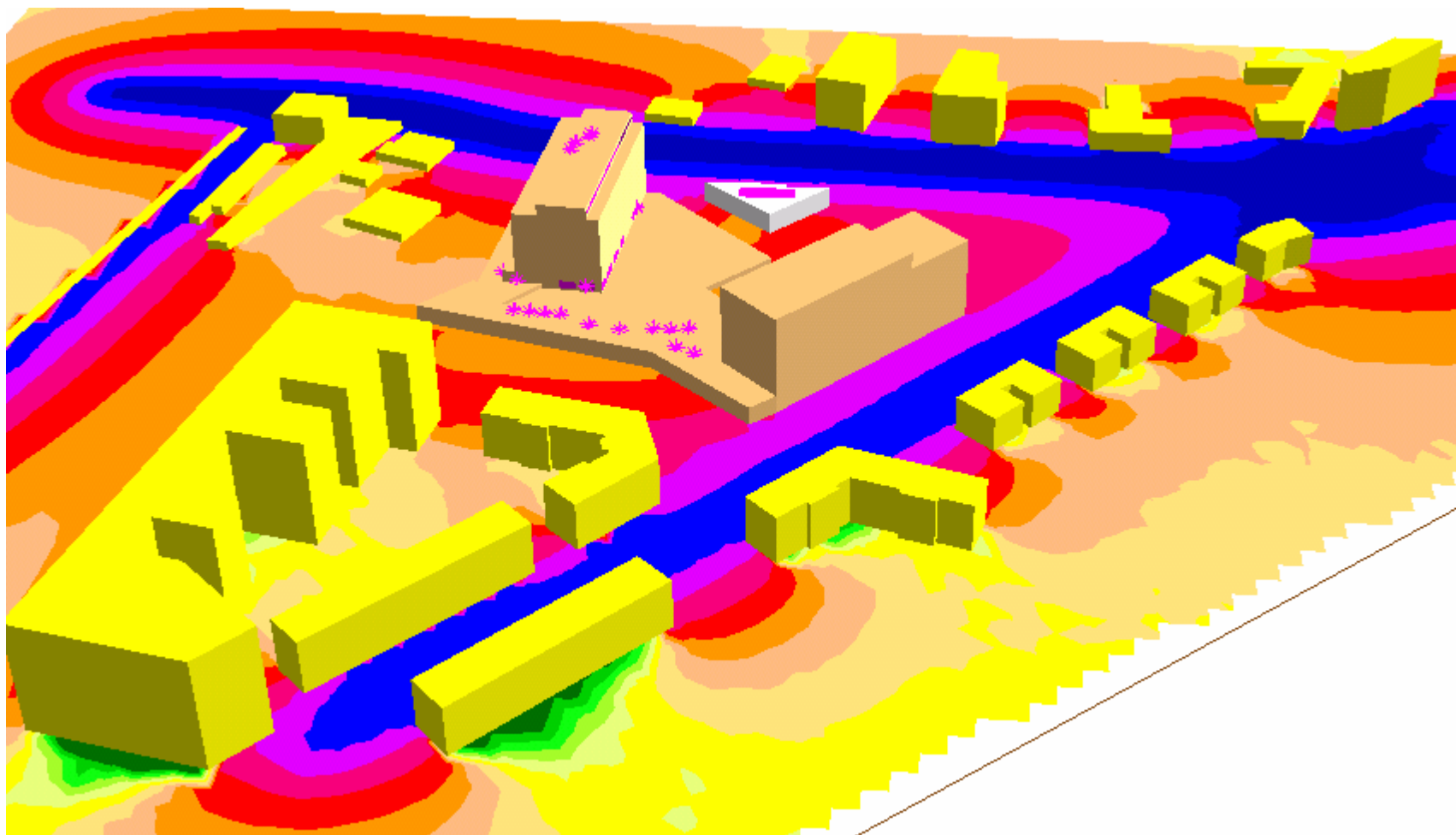
Esempio di mappa Sdf



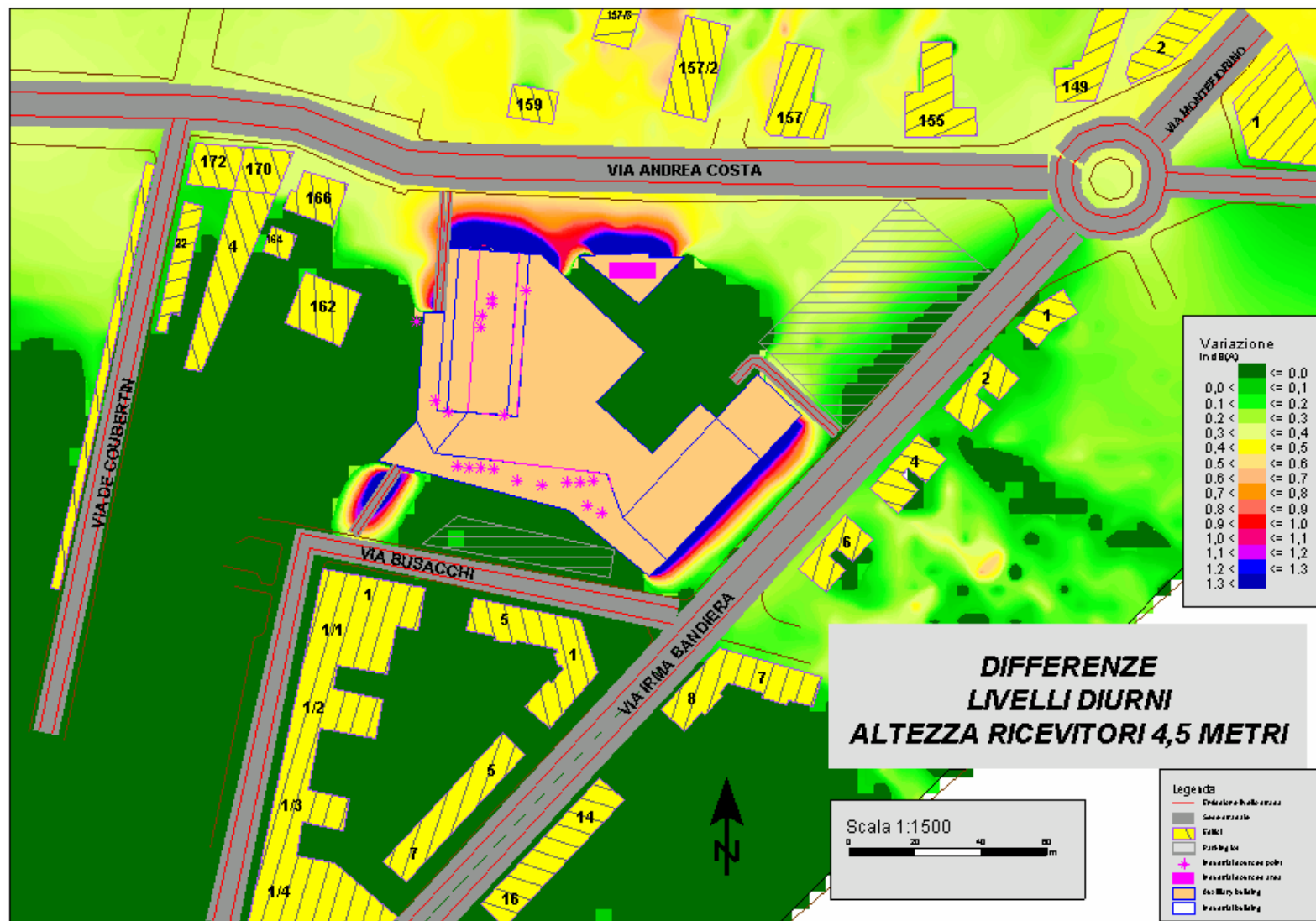
Esempio di mappa Prj



Esempio di mappa Prj in 3D



Mappa delle differenze



Conclusioni

Il software di simulazione è uno strumento di lavoro molto potente e flessibile.

L'utilizzatore capace ne mette in risalto le caratteristiche peculiari tramite competenze tecniche, strumentali e di esperienza che permettano l'affinamento e la corretta interpretazione dei risultati ottenuti.