

CALCOLO DELLE BARRIERE SECONDO UNI ISO 9613-2: INTERPRETAZIONI SPESSO INESATTE

Giorgio Campolongo

specialista in Acustica e Vibrazioni, Milano, campolongo@gmail.it

1. La “attenuazione dovuta alla barriera A_{bar} ” e la “attenuazione della barriera D_z ”

L’attenuazione prodotta dalla barriera A_{bar} è la “perdita per inserzione”, cioè la differenza di livello sonoro al ricevitore tra prima e dopo aver costruito la barriera, e può essere calcolata secondo la norma UNI ISO 9613-2.

Tuttavia la norma riporta anche una seconda “attenuazione della barriera” che indica con D_z . Le due definizioni sono molto simili, oltre alla UNI, anche nell’originale ISO:

- A_{bar} is the attenuation **due to a barrier** (a pag. 4 a sinistra riga 13 dal basso) e più avanti è **the attenuation by a barrier** (a pag. 9 a sinistra riga 2)
- D_z is the **barrier attenuation** (a pag. 4 a sinistra riga 12) e **the barrier attenuation D_z** ripetuta più volte (pag. 9 a sinistra riga 16 dal basso e a destra riga 8; pag. 11 a sinistra riga 1).

Le due espressioni sono quasi uguali, ma i due concetti fisici sono ben differenti perché A_{bar} è la *perdita per inserzione* della barriera, cioè l’attenuazione del rumore presso il ricevitore, mentre D_z è il risultato del calcolo acustico degli effetti prodotti dalla barriera. La differenza tra le due è l’attenuazione per l’assorbimento acustico del suolo (A_{gr})*senza barriera*, che vedremo in appresso.

La somiglianza apparente delle attenuazioni A_{bar} e D_z contrasta con la differenza sostanziale e genera terribili confusioni. Fortunatamente per i tecnici, oltre alle parole, la norma riporta le equazioni che esprimono A_{bar} e D_z e che consentono di capire il significato fisico in termini di effetti sonori, che il testo della norma non spiega o spiega male.

2. La riduzione di attenuazione del suolo a causa dell’inserzione della barriera

Quando si inserisce la barriera, oltre all’effetto della diffrazione sul bordo, si verifica un secondo effetto: la presenza della barriera riduce l’assorbimento acustico del suolo e quindi riduce l’attenuazione prodotta dal suolo sui raggi sonori nel percorso dalla sorgente al ricevitore.

Senza la barriera, i raggi sonori dalla sorgente al ricevitore rasentavano il suolo e ne erano attenuati dall’assorbimento acustico, soprattutto sulle grandi distanze e sui terreni

erbosi. Quando la barriera è costruita, siccome i raggi sonori per scavalcarla devono staccarsi dal suolo, l'assorbimento acustico si riduce e così si riduce anche l'attenuazione prodotta dal suolo.

L'effetto netto della diffrazione, assieme a questa parziale perdita di attenuazione del suolo, è la perdita per inserzione della barriera, come segue (elaborazione dell'Autore sul prospetto di Anderson-Kurze in [2]) con (A_{gr}) l'attenuazione del suolo (*ground*, abbreviato *gr*) con e senza barriera:

$$\begin{aligned} \text{perdita per inserzione} &= A_{bar} = \\ &= (\text{effetto di diffrazione } e) - (\text{attenuazione del suolo persa}) = \\ &= (\text{effetto di diffrazione } e) - [(A_{gr})_{\text{senza barriera}} - (A_{gr})_{\text{con barriera}}] = \\ &= [(\text{effetto di diffrazione } e) + (A_{gr})_{\text{con barriera}}] - (A_{gr})_{\text{senza barriera}} \end{aligned}$$

La perdita per inserzione, completata con gli effetti delle condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione (in direzione del vento e con inversione termica), diventa:

$$\begin{aligned} &= [(\text{effetti di diffrazione } e \text{ e vento/temperatura}) + (A_{gr})_{\text{con barriera}}] - (A_{gr})_{\text{senza barriera}} = \\ &= D_z - (A_{gr})_{\text{senza barriera}} = D_z - A_{gr} \end{aligned}$$

dove:

D_z è l'attenuazione della barriera, per ottava, definita dalla ISO 9613:2 alla formula (14), nella direzione del vento e comprensiva dell'attenuazione per l'assorbimento del suolo in presenza della barriera $(A_{gr})_{\text{con barriera}}$

A_{gr} è l'attenuazione del suolo in assenza della barriera (cioè prima di costruirla).

Questa è l'equazione (12) della norma:

$$(12) \quad A_{bar} = D_z - A_{gr} \quad [\text{dB}]$$

Errata corrige: nella legenda di formula (12) della UNI leggere A_{gr} in luogo di A_{bar} . L'errore di stampa (già segnalato) è particolarmente insidioso perché questo è un punto critico. L'originale ISO in inglese è corretto.

L'attenuazione della barriera D_z si calcola con la formula (14) della norma:

$$(14) \quad D_z = 10 \lg [3 + (C_2 / \lambda) C_3 z K_{met}] \quad [\text{dB}]$$

dove:

λ è la lunghezza d'onda

z è la differenza tra le lunghezze dei percorsi del suono diffratto e di quello diretto della "linea di visione"

$C_3 = 1$, per diffrazione di barriera di spessore sottile. Ci limitiamo a questo caso.

K_{met} è il fattore di correzione da effetti meteorologici, cioè vento e gradiente termico favorevoli a propagare il suono, ed è dato dalla formula (18):

$$(18) \quad K_{met} = \exp \left[- \left(\frac{1}{2000} \right) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d / (2z)} \right] \quad [\text{dB}]$$

dove d_{ss} è la distanza tra sorgente e bordo-barriera (*ss*, *source-screen*), d_{sr} tra bordo-barriera e ricevitore (*sr*, *screen-receiver*) e d tra sorgente e ricevitore (linea di visione). Per distanze minori ai 100 m si può assumere $K_{met} = 1$, perché le condizioni meteo non influiscono. Per grandi distanze K_{met} tende a zero e il logaritmo della (14) si riduce al valore minimo: 4,8 dB (= 10 lg 3).

$C_2 = 20$ comprende l'effetto delle riflessioni sul suolo; qualora, in casi particolari, le riflessioni sul suolo siano calcolate separatamente, $C_2 = 40$. Perciò l'attenuazione D_z con $C_2 = 20$ comprende $(A_{gr})_{con\ barriera}$ e con $C_2 = 40$ non comprende $(A_{gr})_{con\ barriera}$ perché D_z è senza riflessioni dal suolo.

3. La relazione tra A_{bar} e D_z

A_{bar} è l'attenuazione della barriera come è avvertita dal ricevitore del rumore, cioè la prestazione richiesta.

D_z è il parametro *ingegneristico*, che dipende dalle dimensioni e posizione della barriera, da dimensionare in funzione della prestazione richiesta.

A_{gr} è la differenza aritmetica tra A_{bar} e D_z e dipende soltanto dalla natura del luogo (distanze, andamento altimetrico e assorbimento acustico del suolo) e non dipende dalle dimensioni né dalla posizione della barriera.

4. La somma $A_{gr} + A_{bar}$

Un errore macroscopico, che si incontra nell'esperienza professionale, è l'errata interpretazione dell'equazione (4) della norma ISO, relativa all'attenuazione A risultante dalla somma delle diverse componenti di attenuazione, per divergenza A_{div} , per assorbimento atmosferico A_{atm} , per effetto del suolo (senza barriera) A_{gr} , per attenuazione della barriera A_{bar} e per effetti vari A_{misc} :

$$(4) \quad A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad [\text{dB}]$$

Molti sommano all'attenuazione A_{gr} (del suolo senza barriera) l'attenuazione della barriera D_z confondendola con A_{bar} e giungono ad attenuazioni esagerate. Invece di D_z dovrebbero sommare A_{bar} , come espresso dall'equazione (12) già vista:

$$(12) \quad A_{bar} = D_z - A_{gr} \quad [\text{dB}]$$

L'errore è che dimenticano di sottrarre A_{gr} da D_z e, così facendo, attribuiscono alla barriera un'attenuazione A_{bar} esagerata. Invece l'uso corretto dell'equazione (4) è di sostituire ad A_{bar} la (12) e di elidere A_{gr} , come segue:

$$(4) \quad A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + D_z - A_{gr} + A_{misc} = A_{div} + A_{atm} + D_z + A_{misc} \quad [\text{dB}]$$

Quest'ultima esprime che D_z è l'attenuazione della barriera da tenere nel conto dell'attenuazione totale; ma l'attenuazione avvertita dalla persona esposta al rumore è A_{bar} .

Gli effetti dell'inserzione della barriera sull'attenuazione, in successione, sono:

- 1) La barriera non esiste ancora: $A_{bar} = 0$ dB. Esiste l'attenuazione del suolo A_{gr} .
- 2) La costruzione della barriera distrugge l'attenuazione del suolo: $-A_{gr}$.
- 3) La costruzione della barriera ricostituisce parte dell'attenuazione del suolo in D_z .
- 4) Nell'attenuazione totale A le due A_{gr} di segno opposto si elidono e rimane D_z .
- 5) L'inserzione della barriera, avvertita dal ricevitore, è $A_{bar} = D_z - A_{gr}$.

5. La formula di Kurze-Anderson e la formula ISO di D_z con $C_2 = 20$ e con $C_2 = 40$

Delle varie espressioni di D_z la più nota è la formula di Kurze-Anderson:

$$D_z = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} + 5 \quad [\text{dB}]$$

dove: $N = \text{numero di Fresnel} = 2z / \lambda$ (con z differenza tra il percorso del raggio diffratto sulla barriera e il percorso della linea di visione e λ lunghezza d'onda).

La formula di Kurze-Anderson e la formula (14) della ISO danno risultati differenti: la differenza tra le due è che Kurze-Anderson non tiene conto degli effetti del suolo, né meteo, mentre D_z della formula ISO con $C_2 = 20$ ne tiene conto. Perciò, rispetto all'attenuazione di Kurze-Anderson, quella della ISO (con $C_2 = 20$) è minore perché tiene conto sia della riflessione del suolo sia della maggiore propagazione con vento e gradiente termico favorevoli, che entrambe (riflessione e propagazione) riducono l'attenuazione della barriera.

Invece D_z con $C_2 = 40$ non tiene conto delle riflessioni del suolo (come se il suolo non esistesse) e a brevi distanze dà gli stessi risultati di Kurze-Anderson: vedere gli esempi in [3].

Quindi Kurze-Anderson uguaglia la ISO con $C_2 = 40$ (che non tiene conto dell'effetto del suolo) e dà attenuazione maggiore di $C_2 = 20$ (che ne tiene conto).

Nell'esperienza professionale si incontrano confusioni tra l'attenuazione D_z , calcolata correttamente con la ISO, e l'attenuazione, ben maggiore, di Kurze-Anderson.

Ancora maggiore Kurze-Anderson è rispetto ad A_{bar} . Infatti A_{bar} risulta sottraendo da D_z (con $C_2 = 20$) l'attenuazione A_{gr} del suolo senza barriera (calcolata con il prospetto 3 della UNI, uguale a *table 3* della ISO). Quindi, rispetto a Kurze-Anderson, A_{bar} risulta ancora minore di quanto era D_z . Di questo, a titolo di esempio, vediamo il calcolo di una barriera contestato nel corso di un procedimento giudiziario.

6. Una controversia giudiziaria per la valutazione dell'attenuazione della barriera

In un caso di controversia giudiziaria, per il disturbo provocato in un'abitazione dall'attività di un tiro a volo sportivo, si trattava di valutare l'attenuazione prodotta da una barriera distante 80 metri dalla piazzola dei fucili e 600 metri dall'abitazione e alta 4 metri sulla linea di visione.

Un acustico direbbe subito che questa barriera non dà alcuna attenuazione, perché è troppo lontana dalla sorgente e troppo lontana dal ricevitore.

I risultati di D_z , con la formula di Kurze-Anderson e con la formula ISO ($C_2 = 20$), di A_{gr} con il prospetto 3 della norma e di A_{bar} ($= D_z - A_{gr}$) sono in figura 1.

L'area tratteggiata evidenzia la differenza tra l'attenuazione D_z con Kurze-Anderson e A_{bar} calcolata secondo la norma ISO. La differenza è 6 dB a 125 Hz e cresce progressivamente fino a ben 15 dB a 8.000 Hz, però a 63 Hz si inverte di segno. L'area tratteggiata rappresenta, appunto, l'errore della valutazione effettuata dal tiro a volo, che ha assunto la formula di Kurze-Anderson invece della ISO.

L'opinione dell'Autore è che A_{bar} alle frequenze medie e alte sia minore di 5 dB, cioè che con ISO (*table 3*) l'attenuazione A_{gr} del suolo (senza barriera), sulle grandi distanze, sia sottostimata.

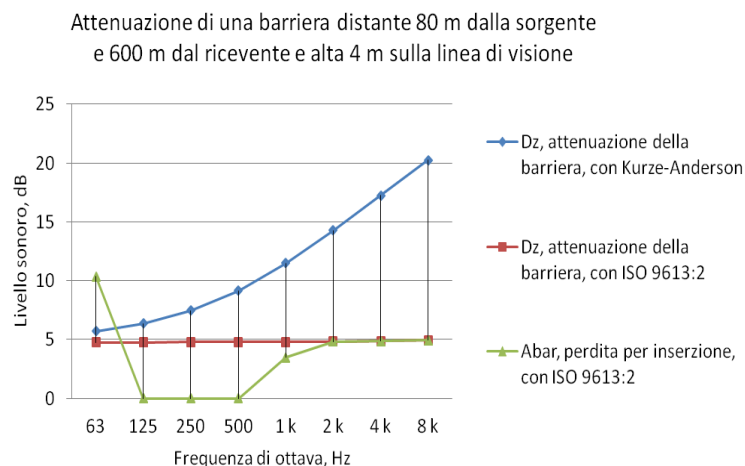


Figura 1 – L'area tratteggiata è la differenza tra l'attenuazione della barriera D_z con Kurze-Anderson e la perdita per inserzione A_{bar} con ISO 9613:2.

7. L'attenuazione della barriera calcolata con SoundPLAN

La planimetria dei luoghi, l'andamento altimetrico e le posizioni del tiro a volo e dell'abitazione sono state introdotte in SoundPLAN allo scopo di calcolare l'attenuazione del rumore nell'abitazione senza e con la barriera distante 80 metri dai fucili e 600 metri dall'abitazione e alta 4 metri sulla linea di visione.

Le misurazioni fonometriche nell'abitazione hanno definito lo spettro per terzi d'ottava del colpo di fucile, che è servito per tarare la potenza sonora della sorgente (con direttività "omnidirezionale") che, applicata nel punto e alla quota del fucile, determina nell'abitazione lo spettro misurato, senza interporre alcuna barriera. Lo spettro di potenza sonora funge come sorgente per calcolare l'attenuazione della barriera.

Le "mappe acustiche" a colori nelle figure 2 e 3, con curve isolivello a scalini su scala cromatica, rappresentano la propagazione del rumore del tiro a volo senza barriera e con barriera. Gli scalini sono molto piccoli, di 0,5 dB. Il livello sonoro nell'abitazione è tra 56,5 e 57,0 dBA e rimane invariato dalla situazione senza barriera (nella mappa di sopra) alla situazione con barriera (di sotto). Cioè l'efficacia della barriera è nulla, pari a 0 dB, contrariamente alla pretesa del tiro a volo che l'attenuazione fosse di oltre 10 dB.

8. Conclusioni

La norma UNI ISO 9613:2 indica come calcolare la *perdita per inserzione* A_{bar} di una barriera, cioè l'attenuazione del rumore avvertita dal ricevitore: prima calcolare l'attenuazione della barriera D_z e poi sottrarre l'attenuazione A_{gr} dell'assorbimento acustico del suolo, che si aveva senza la barriera. Ma nell'attività professionale si incontrano interpretazioni errate della norma: alcuni calcolano correttamente D_z ma dimenticano di sottrarre A_{gr} e così giungono a risultati di *perdita per inserzione* esagerati.

Altri assumono come *perdita per inserzione* della barriera il risultato della nota formula di Kurze-Anderson che però trascura le riduzioni di attenuazione sia per la riflessione del suolo sia per la maggiore propagazione con vento e gradiente termico favorevoli. Il risultato è di attenuazione ancora più esagerata, soprattutto per grandi distanze.

Per distanze di centinaia di metri l'attenuazione è minima e anche nulla.

È proposto un esempio reale, tratto da una controversia giudiziaria.

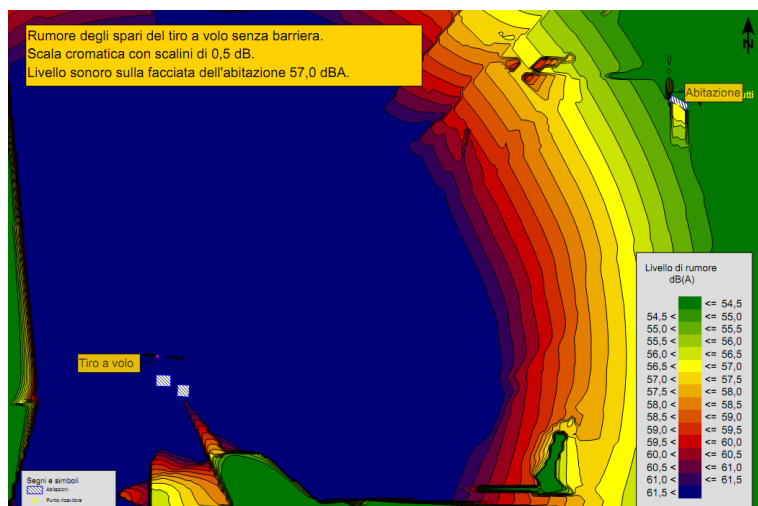


Figura 4 –

Figura 2 – Il tiro a volo (in basso a sinistra) senza barriera produce sull'abitazione (in alto a destra) un livello sonoro compreso tra 56,5 e 57,0 dBA (scalino giallo).

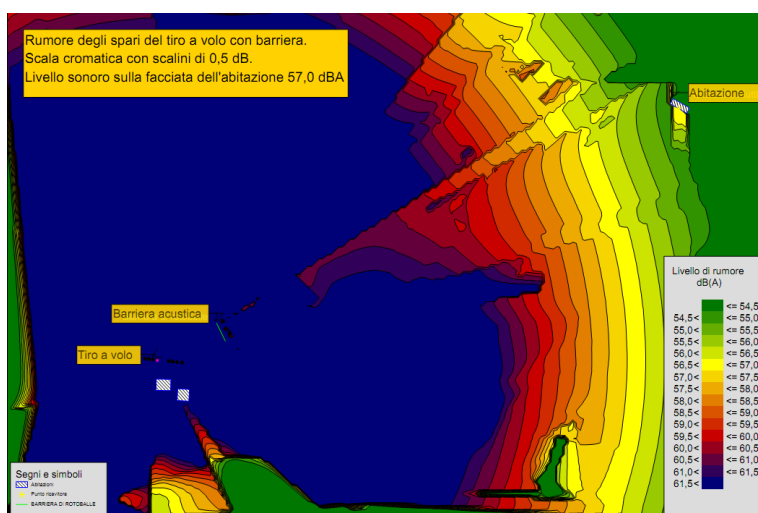


Figura 3 – Con la barriera il livello sonoro rimane uguale a quello senza barriera, tra 56,5 e 57,0 dBA. Quindi la barriera non ha alcuna efficacia.

9. Bibliografia

- [1] ISO 9613-2:1996, *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*, e UNI ISO 9613-2:2006
- [2] Anderson G. S., Kurze U. J., "Outdoor Sound Propagation", capitolo 5 in *Noise and Vibration Control Engineering - Principles and Applications*, a cura di Beranek L.L. and Vér I. L., editore John Wiley & Sons, New York, 1992
- [3] Parzych D., *Handling of Barriers in ISO 9613-2*, in Atti del Convegno NOISE-CO 2004, Baltimore, Maryland, USA, 12-14 luglio 2004
- [4] Piercy J. E., Daigle G. A., "Sound Propagation in open air", cap. 3 in *Acoustical measurements and noise control*, di Harris C. M., 3^a edizione, McGraw-Hill, 1991