

## La norma ISO 9613 e il modello NFTP Iso9613

La norma ISO 9613 (prima edizione 15 dicembre 1996), intitolata “*Attenuation of sound during propagation outdoors*”, consiste di due parti :

- Parte 1 : *Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*
- Parte 2 : *General method of calculation*

La prima parte tratta con molto dettaglio l'attenuazione del suono causata dall'assorbimento atmosferico; la seconda parte tratta vari meccanismi di attenuazione del suono durante la sua propagazione nell'ambiente esterno (diffrazione, schermi, effetto suolo ..).

Il trattamento del suono descritto nella seconda parte è riconosciuto dalla stessa norma come “più approssimato ed empirico” rispetto a quanto descritto nella prima parte.

Scopo della ISO 9613-2 è di fornire un metodo ingegneristico per calcolare l'attenuazione del suono durante la propagazione in esterno.

La norma calcola il livello continuo equivalente della pressione sonora pesato in curva A che si ottiene assumendo sempre condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono, cioè propagazione sottovento o in condizioni di moderata inversione al suolo.

In tali condizioni la propagazione del suono è curvata verso il terreno.

Il metodo contiene una serie di algoritmi in banda d'ottava per il calcolo dei seguenti effetti:

- attenuazione per divergenza geometrica
- attenuazione per assorbimento atmosferico
- attenuazione per effetto del terreno
- riflessione del terreno
- attenuazione per presenza di ostacoli che si comportano come schermi

In appendice sono inoltre contenuti una serie di schemi semplificati per la valutazione della attenuazione della propagazione del suono attraverso :

- zone coperte di vegetazione
- zone industriali
- zone edificate

### Le sorgenti sonore

Le sorgenti sonore trattate dalla ISO 9613-2 sono sorgenti puntiformi descritte tramite i valori di direttività e di potenza sonora in banda d'ottava (dB). In particolare :

- la potenza sonora in banda d'ottava (dB) è convenzionalmente specificata in relazione ad una potenza sonora di riferimento di un picowatt; i valori vanno inseriti per ogni banda d'ottava (62,5Hz ; 125Hz; 250Hz; 500Hz; 1kHz; 2kHz; 4kHz; 8kHz)
- la direttività (dB) è un termine che dipende dalla frequenza e dalla direzione e rappresenta la deviazione del livello equivalente di pressione sonora (SPL) in una specifica direzione rispetto al livello prodotto da una sorgente omnidirezionale

La norma specifica inoltre la possibilità di descrivere sorgenti estese, anche in movimento, rappresentandole con set di sorgenti puntiformi ognuna con le sue caratteristiche emissive.

A questo proposito la ISO 9613-2 specifica che una sorgente estesa, o una parte di una sorgente estesa, può essere rappresentata da una sorgente puntiforme posta nel suo centro se :

- esistono le stesse condizioni di propagazione tra le varie parti della sorgente estesa e la sorgente puntiforme ed il recettore
- la distanza tra la sorgente puntiforme equivalente ed il recettore è maggiore del doppio della dimensione maggiore della sorgente estesa

**Le equazioni di base**

L'equazione di base riportata nella ISO 9613-2 è la seguente:

$$L_p(f) = L_w(f) + D(f) - A(f)$$

dove:

- $L_p$  : livello di pressione sonora equivalente in banda d'ottava (dB) generato nel punto p dalla sorgente w alla frequenza f
- $L_w$  : livello di potenza sonora in banda d'ottava alla frequenza f (dB) prodotto dalla singola sorgente w relativa ad una potenza sonora di riferimento di un picoWatt
- $D$  : indice di direttività della sorgente w (dB)
- $A$  : attenuazione sonora in banda d'ottava (dB) alla frequenza f durante la propagazione del suono dalla sorgente w al recettore p

Il termine di attenuazione A è espresso dalla seguente equazione:

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

dove:

- $A_{div}$  : attenuazione dovuta alla divergenza geometrica
- $A_{atm}$  : attenuazione dovuta all'assorbimento atmosferico
- $A_{gr}$  : attenuazione dovuta all'effetto del suolo
- $A_{bar}$  : attenuazione dovuta alle barriere
- $A_{misc}$  : attenuazione dovuta ad altri effetti (descritti nell'appendice della norma)

Il valore totale del livello sonoro equivalente ponderato in curva A si ottiene sommando i contributi di tutte le bande d'ottava e di tutte le sorgenti presenti secondo l'equazione seguente:

$$Leq(dBA) = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^8 10^{0.1(L_p(i,j)+A(i,j))} \right) \right)$$

dove:

- $n$  : numero di sorgenti
- $j$  : indice che indica le otto frequenze standard in banda d'ottava da 63 Hz a 8kHz
- $A_f$  ; indica il coefficiente della curva ponderata A

**L'implementazione della norma nel modello**

Il modello di calcolo NFTP Iso9613 implementa la ISO9613-2 calcolando il valore di SPL equivalente prodotto da una serie di sorgenti puntiformi poste sul territorio.

Rispetto a quanto contenuto nella ISO9613-2 nello sviluppo del modello sono state fatte le seguenti approssimazioni interpretazioni:

- nella implementazione del metodo alternativo per il calcolo dell'effetto del suolo, descritto nel paragrafo 7.3.2 della ISO 9613-2, non viene considerato il termine di correzione D
- nella valutazione degli effetti di schermo delle barriere viene considerata solo la diffrazione dagli spigoli orizzontali superiori
- non vengono considerati effetti di riflessione; nel paragrafo 7.5 della ISO 9613-2 la riflessione è trattata tramite l'utilizzo di sorgenti virtuali. Tale effetto non è stato considerato sia a causa della notevole complicazione degli

algoritmi di calcolo sia a causa delle numerose condizioni che la ISO stessa prevede per la validità dello schema proposto

- nel caso della diffrazione da schermi non viene valutata la condizione di validità della barriera in quanto il programma è stato sviluppato per il calcolo in ambiente esterno dove tale condizione è praticamente sempre verificata
- la presenza di orografia non è esplicitamente trattata dalla ISO 9613-2; il programma di calcolo tratta l'orografia come una serie di ostacoli valutando quindi gli effetti di diffrazione al bordo superiore

### La libreria per il calcolo del rumore emesso da traffico stradale

Il modello contiene un modulo per simulare una sorgente lineare attraverso un numero finito di sorgenti puntiformi in modo da ottenere un giusto equilibrio tra impegno computazionale e accuratezza del risultato.

Lo scopo di questa libreria è di simulare una sorgente lineare attraverso un numero finito di sorgenti puntiformi in modo tale da ottenere un giusto equilibrio tra impegno computazionale e accuratezza del risultato. Il codice per ottenere questo risultato è scomponibile in tre sezioni:

- Calcolo dell'emissione delle sorgenti puntiformi.
- Calcolo del numero ottimale di sorgenti puntiformi;
- Stima dell'intensità sonora della sorgente lineare;

#### Calcolo dell'emissione delle sorgenti puntiformi

Per effettuare questa routine è necessario che siano note le seguenti grandezze:

- X1,Y1 coordinate dell'angolo iniziale della sorgente lineare
- X2,Y2 coordinate dell'angolo finale della sorgente lineare
- Xo,Yo coordinate del punto di misura
- Hm altezza del punto di misura
- H altezza della sorgente
- N Numero di sorgenti puntiformi
- Valore della misura effettuata
- Eventuale andamento in frequenza della sorgente

A partire da questi valori, che devono essere forniti in metri o dBA a seconda della grandezza, verranno calcolate la posizione e l'intensità sonora delle sorgenti puntiformi in modo da approssimare al meglio il caso reale, questo risultato viene raggiunto passando attraverso 3 diverse fasi:

- Calcolo della soluzione esatta del problema in caso piano
- Approssimazione per via iterativa della soluzione che consideri le altezze
- Scomposizione del valore ottenuto in frequenza

Nel caso la sorgente lineare e la misura non siano complanari il valore ottenuto dal calcolo della soluzione esatta viene corretto per via iterativa in modo da considerare la differenza di altezza. Se dopo 1000 iterazione il risultato non è stato raggiunto il calcolo viene interrotto, l'errore relativo mostrato all'utente che decide se continuare il ciclo di iterazione o accontentarsi del risultato ottenuto.

Se è stato inserito un andamento in frequenza l'emissione complessiva della sorgente viene scomposta nelle diverse ottave in modo proporzionale ai valori inseriti.

### Calcolo del numero ottimale di sorgenti puntiformi

Questa funzione si attiva solo su esplicita richiesta da parte dell'utente i valori necessari al suo corretto funzionamento sono:

- L lunghezza totale della sorgente lineare;
- h distanza minima di interesse per lo studio;
- e errore relativo richiesto.

Mediante questi valori si cerca di calcolare il numero di intervalli che approssimino meglio le richieste dell'utente.

Nel caso non sia stata effettuata una misura sul campo e la sorgente lineare sia una strada è possibile stimare il valore della emissione sonora utilizzando la formula di CETUR o di Burges implementate nella libreria.

#### Formula di Cetur:

$$leq = 20 + 10 * \log_{10}(q * (1 - p) + 10 * q * p) + 20 * \log_{10}(v) - 12 * \log_{10}(d + l / 3)$$

#### Formula di Burges

$$leq = 55.5 + 10.2 * \log_{10}(q) + 0.3 * p * 100 - 19.3 * \log_{10}(d + l / 3)$$

dove:

- q = numero di veicoli in transito
- p = rapporto tra il numero di veicoli pesanti e il numero totale
- v = Velocità di percorrenza
- d = Distanza del punto di interesse dal bordo della strada
- l = larghezza della strada

La prima formula è adatta per velocità di percorrenza medio/alte dove il rumore è essenzialmente meccanico e di rotolamento del pneumatico, mentre la seconda è più adatta alle basse velocità dove il rumore fluidodinamica dovuto al motore non è trascurabile.

Per scegliere la formula più adatta al caso in questione nella routine viene scelta la formula che restituisce il valore più alto visto che entrambe le formule tendono a sottostimare il valore corretto al di fuori del loro intervallo di corretto utilizzo.

[1] CETUR, Guide de bruit des transports terrestres: prevision des niveaux sonores, novembre 1980.

[2] M.A. Burges, Noise prediction for urban traffic conditions, related to measurements in the Sydney metropolitan, Area, Appl.Acoust. 10,1,1977.

Il calcolo è stato implementato nella libreria da Roberto Odorici Via Canaletto Centro 476 41100 Modena e-mail: [odo.mail@ccp-mo.it](mailto:odo.mail@ccp-mo.it)