

Livello Equivalente

Fino ad ora abbiamo considerato sorgenti sonore con un livello sonoro costante nel tempo. In realtà, vi sono molti casi in cui il livello sonoro non è costante nel tempo e occorre valutarne la rumorosità. Un primo approccio a questo problema è quello di ricercare la funzione matematica che descrive l'andamento del livello sonoro. Questo ci consente di valutare il livello sonoro in un dato istante ma non fornisce un'informazione sulla rumorosità globale. Se ad esempio avessimo una sorgente che si accende ad intermittenza, conoscere esattamente l'andamento del tempo non ci aiuta nel valutare il livello sonoro che produce in un determinato tempo. Si definisce quindi un **livello equivalente** che si calcola come:

$$L_{EQ} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

Il livello equivalente rappresenta una sorta di media del livello sonoro sul periodo di tempo T considerato. In figura è rappresentato l'andamento (quantitativo) del livello emesso da una sorgente intermittente ed il corrispondente livello equivalente:

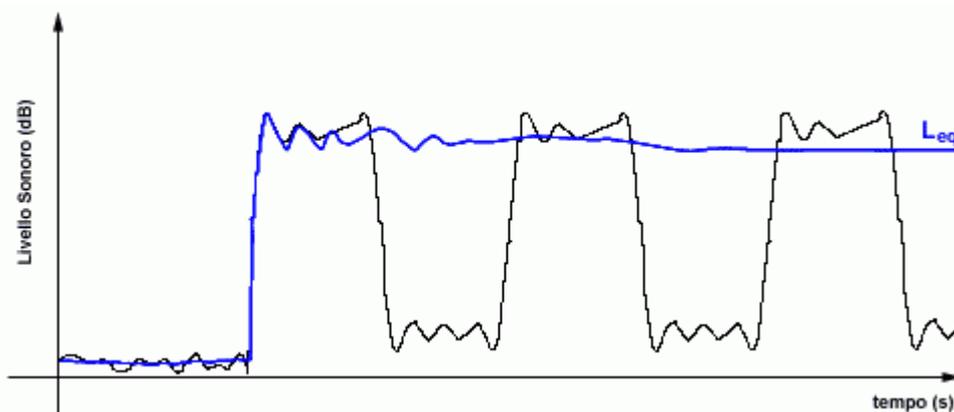


Figura 1: Livello sonoro di una sorgente intermittente e livello equivalente

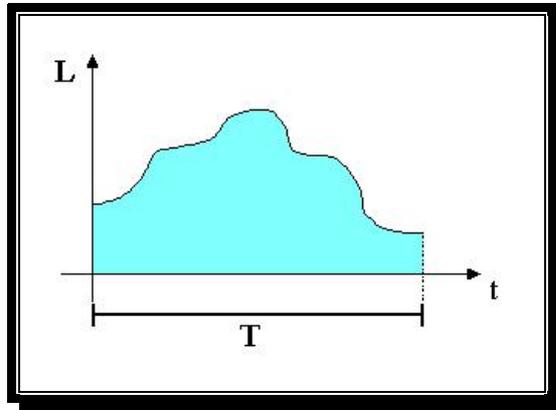
Come si vede dal grafico, il livello equivalente si stabilizza sempre più all'aumentare della finestra di integrazione considerata. L'importanza di questo livello è quella di consentirci di quantificare il livello sonoro emesso da una sorgente attraverso un unico numero. Infatti il livello equivalente è usato nella legislazione per stabilire i limiti tollerabili di rumore. In particolare la legge italiana stabilisce tre intervalli di tempo diversi per effettuare le rilevazioni:

1. 8 ore, che corrispondono al tempo di lavoro da utilizzare per misurare la rumorosità sul luogo di lavoro;
2. dalle 6 alle 22, corrispondenti al periodo diurno
3. dalle 22 alle 6, corrispondenti al periodo notturno

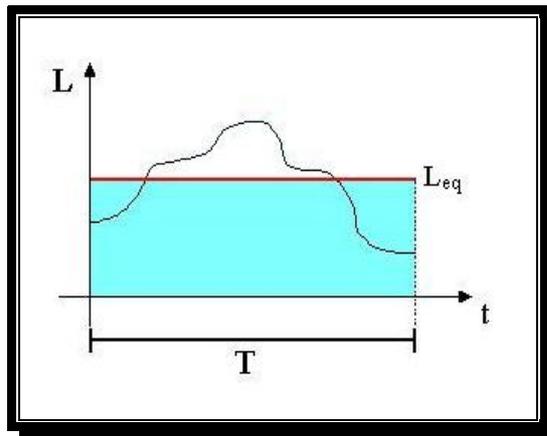
Tutte le misure che si effettuano durante il giorno vanno integrate sulle 16 ore del periodo diurno e, similmente, le misure effettuate di notte vanno integrate sulle 8 ore del periodo notturno.

SEL (single event line)

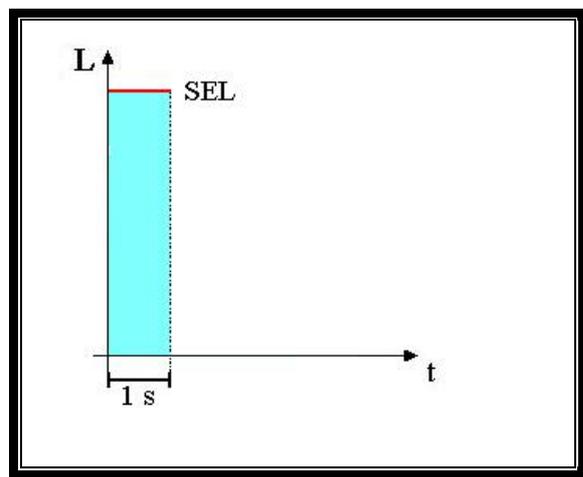
Quando effettuiamo la misura di un livello nel tempo, e più in particolare per un intervallo di tempo T , otteniamo una distribuzione che, in un caso generico, sarà del tipo:



Tramite semplici principi matematici (in questo caso una media integrale) è possibile sostituire l'intero grafico con un semplice valore, un livello equivalente che sottende (sempre nel periodo T) un'area pari a quella sottesa dal grafico ottenuto. Quest'area rappresenta la quantità di energia rilevata.



Il SEL più in particolare rappresenta la stessa quantità di energia “compressa” in un singolo secondo, in modo da ottenere comunque la stessa area (cioè la stessa quantità di energia) sottesa.



La relazione tra SEL e Livello equivalente è data da:

$$SEL = L_{eq} + 10 \lg T$$

dove T è il periodo considerato espresso in secondi.

Il valore di SEL totale (diurno o notturno) viene così calcolato:

$$SEL_{tot} = 10 \cdot \lg \left[N_p \cdot 10^{\frac{SEL_p}{10}} + N_m \cdot 10^{\frac{SEL_m}{10}} \right]$$

Esempio

In un'ora viene effettuato un rilevamento acustico su una pista di atterraggio di un piccolo aeroporto. In questo intervallo di tempo atterrano quattro aerei; i SEL dei quattro passaggi sono: 98 dB, 102 dB, 92 dB e 105 dB. Calcolare il livello equivalente della misura in un'ora.

Soluzione

Innanzitutto occorre trovare il SEL totale, che si con la regola della somma dei livelli:

$$SEL_{TOT} = 10 \log [10^{9,8} + 10^{10,2} + 10^{9,2} + 10^{10,5}] = 107,4 \text{ dB.}$$

Ora baste "ridistribuire" il valore trovato in un livello equivalente lungo 1 ora:
Dalla relazione vista appena prima trovo il livello equivalente:

$$L_{eq} = SEL - 10 \log T = 107,4 - 10 \log 3600 = 71,84 \text{ dB}$$

Esempio

Durante i rilevamenti del livello di pressione sonora di una zona ad elevato traffico vengono elaborati i seguenti valori SEL a 7,5 m, riferiti a diversi tipi di veicolo:

$$SEL_{auto} = 87 \text{ dB}$$

$$SEL_{camion} = 94 \text{ dB}$$

$$SEL_{moto} = 96 \text{ dB}$$

Flusso auto: 1200 / ora; flusso camion: 250 / ora; flusso moto: 180 /ora

! Dalla soluzione di questo problema si vedrà come i valori SEL indicati non possono certamente essere realistici; quindi non vanno presi come riferimento per la soluzione di altri esercizi.

Trovare il livello equivalente a 100 m di distanza dalla strada

Soluzione

Innanzitutto occorre trovare il SEL totale, che si con la regola della somma dei livelli:

$$SEL_{TOT} = 10 \log [1200 \cdot 10^{8,7} + 250 \cdot 10^{9,4} + 180 \cdot 10^{9,6}] = 122,9 \text{ dB}$$

da cui si ricava il livello equivalente a 7,5 metri, pari a:

$$L_{eq} = SEL - 10 \log T = 122,9 - 10 \log 3600 = 87,3 \text{ dB}$$

A questo punto il livello equivalente a 100 m si ricava così

$$L_{eq,100m} = 87,3 + 10 \log^{7,5/100} = 76,0 \text{ dB.}$$

! Da questo risultato si può quindi comprendere che i valori SEL indicati nel testo dell'esercizio non possono certamente essere realistici, e non vanno presi come riferimento per la soluzione di altri esercizi.

Attenuazioni del livello sonoro

Effetto del vento

Il vento può influire notevolmente sull'andamento dei raggi sonori. In presenza di vento infatti la **velocità del suono e quella del vento si sommano** come composizione vettoriale. In realtà, il vento può trasportare il suono solo quando la velocità del vento è confrontabile con quella del suono (e questo è abbastanza raro).

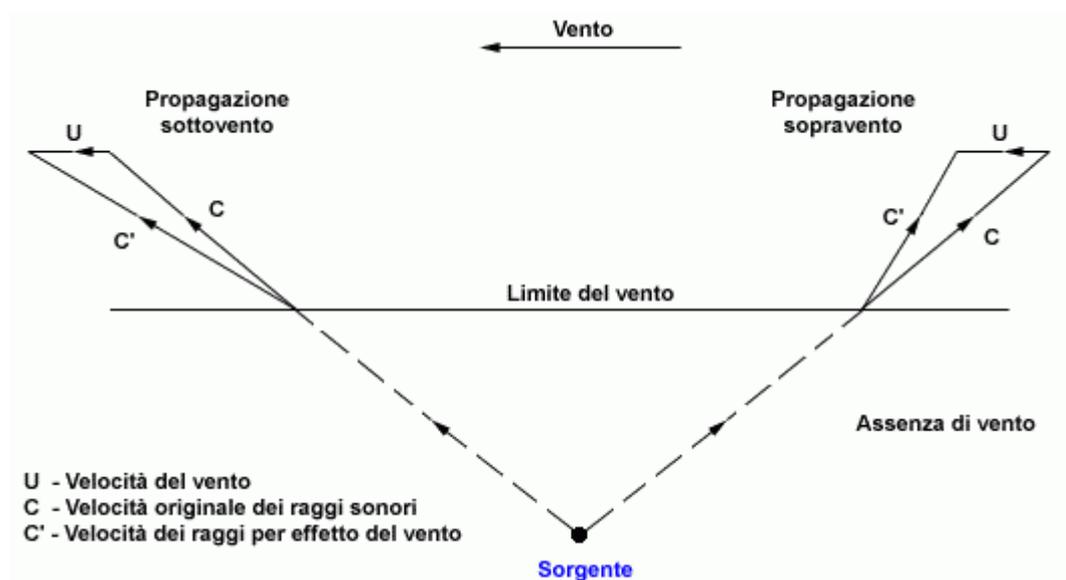
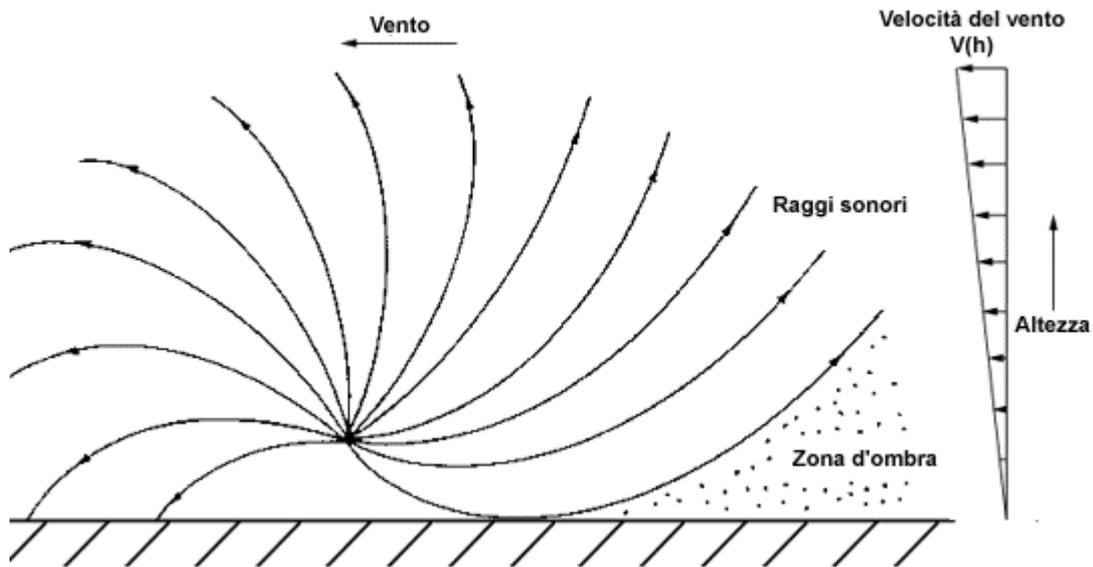


Figura 2: Composizione vettoriale del vento con i raggi sonori

Il vento inoltre può curvare i raggi sonori. Infatti in presenza di un gradiente di velocità al variare della quota fa sì che i raggi sonori curvino sottovento.



Effetto di curvatura del vento sui raggi sonori

Questa curvatura data dal vento porta alla formazione di una zona d'ombra sopravvento e di una zona in cui il suono "piove" sottovento.

Per tenere conto di questi fenomeni esiste la normativa ISO-9613/2 che descrive i metodi di calcolo appropriati. Tale normativa risulta però estremamente complessa, tanto da risultare praticamente inapplicabile senza l'utilizzo di calcolatori avanzati.

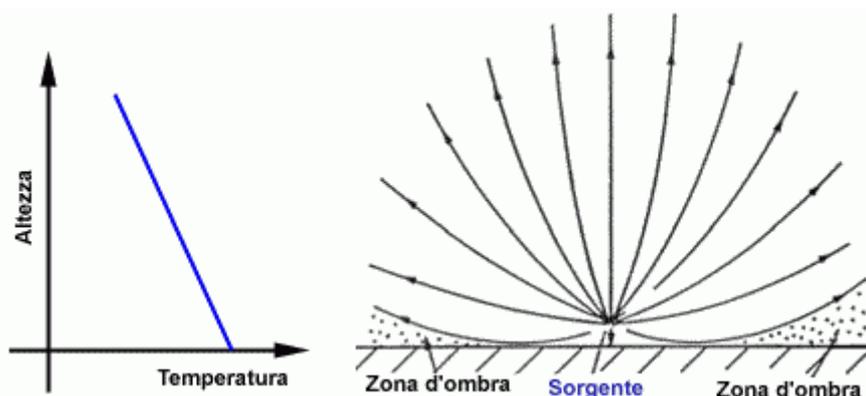
Per semplificare il calcolo considero sempre la condizione di sottovento e quindi immagino i raggi sonoro sempre curvati verso il basso. In genere si utilizza un raggio di curvatura di 2000 o 3000 metri. In ogni caso, la curvatura del raggio sonoro si apprezza solo quando la distanza di propagazione è confrontabile con il raggio di curvatura scelto.

Effetto della temperatura

La temperatura varia al variare della quota ed esistono diverse configurazioni di variazione. Esamineremo ora tre casi che possono presentarsi:

a) Andamento normale

In condizioni normali la temperatura decresce man mano che ci si allontana dalla superficie. I raggi sonori (nelle varie figure rappresentati con le linee di campo ortogonali al fronte d'onda e rappresentanti punti di iso-intensità sonora) sono curvati verso l'alto. Esiste una superficie limite teorica tangente al terreno, al di sotto della quale si forma una **zona d'ombra** dovuta all'assenza di onde sonore.



b) Inversione termica

In questa situazione il terreno è più freddo dell'aria circostante e quindi a basse quote la temperatura al suolo è più bassa della temperatura in quota. All'aumentare della distanza dal suolo si ritorna ad un andamento di tipo normale. Questa è una delle situazioni climatiche tipiche di zone come la pianura Padana. In questi casi i **raggi sonori sono curvati verso l'alto** e ciò comporta l'assenza di zone d'ombra; questo può dare origine a strani fenomeni perché il suono può "piovere" su zone che non sarebbero raggiungibili se i fronti d'onda avessero l'andamento consueto.

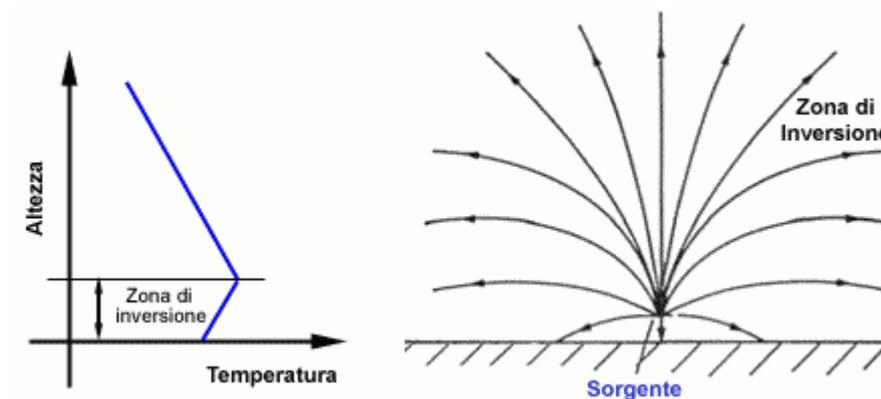
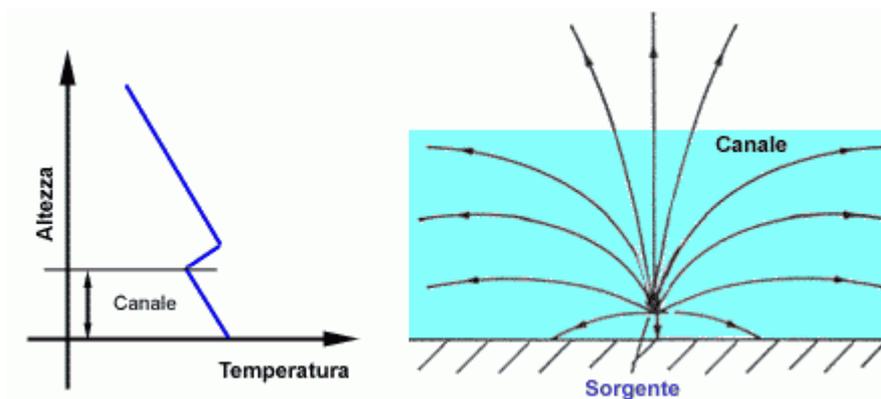


Figura 3: Andamento della temperatura e dei raggi sonori in caso di inversione termica

c) Canale sonoro

È il fenomeno più "strano" e raro. Si forma un canale sonoro quando ho uno strato d'aria che è più caldo (o più freddo) rispetto agli strati circostanti. In questo caso le onde sonore vengono "intrappolate" nello strato di diversa temperatura e possono uscire soltanto quando varia nuovamente la temperatura; possono quindi percorrere anche parecchi chilometri prima di ricadere e questo può dare origine ai cosiddetti "**miraggi sonori**". Una situazione simile si può verificare in presenza di nebbia: infatti la coltre di nebbia sul suolo forma una zona dove la temperatura è minore di quella del terreno, mentre sopra lo strato di nebbia i raggi del sole rendono la temperatura più alta. Questa variazione di temperatura crea un canale in cui possono restare intrappolate le onde sonore.



Andamento della temperatura e dei raggi sonori in caso di canale sonoro

Nel progettare sistemi occorre tenere conto di questi fenomeni termici. La normativa italiana stabilisce che in sede di calcolo è necessario considerare il caso mediamente sfavorevole, cioè quello dell'inversione termica.

Effetto di terreno assorbente

Nel caso in cui un suono venga rilevato a bassa altezza da un suolo “assorbente”, (come un campo di grano alto 1,5 – 2 m) avviene una rilevante diminuzione del livello sonoro. Se la sorgente è lineare l’attenuazione per raddoppio della distanza è , in condizioni normali, pari a 3 dB, ma in caso di terreno assorbente arriva a 5 dB per raddoppio della distanza!

La norma ISO 9613 indica come valutare i rilevamenti in caso di terreno assorbente.