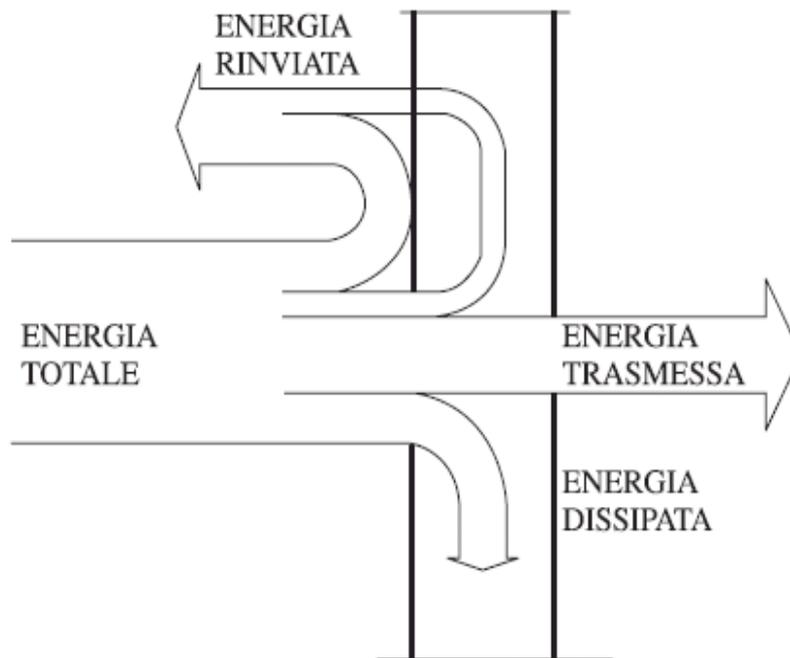


INDICE della lezione del 04/05/2016

Scelta dei materiali fonoassorbenti.....	1
La legislazione sul rumore ambientale.....	5
La classificazione acustica del territorio.....	8
Il SEL ed il LEP – Esposizione dei lavoratori al rumore.....	9

SCELTA DEI MATERIALI FONOASSORBENTI



$$a + t + r = 1 \quad (1)$$

$$\rightarrow a = \alpha \rightarrow \alpha = 1$$

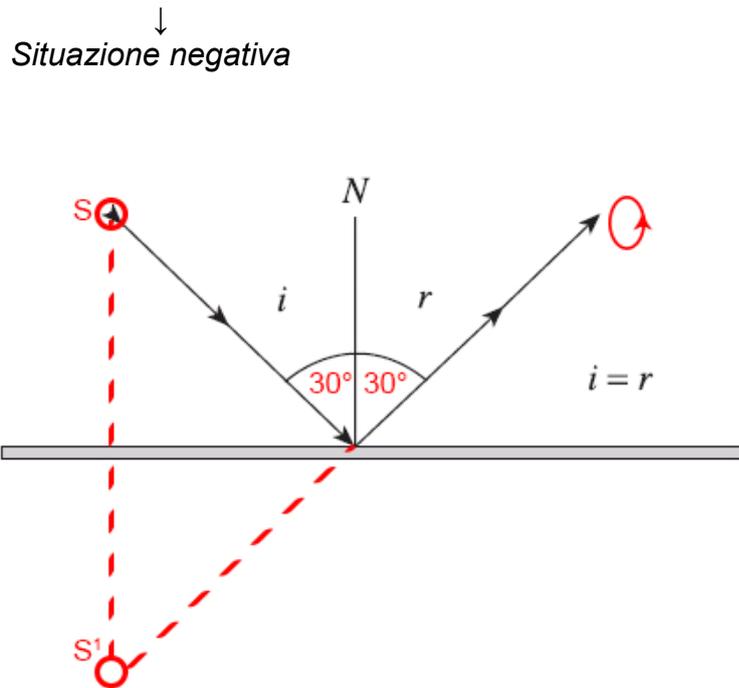
Differenza tra materiali FONOASSORBENTI(1) e materiali FONOISOLANTI(2):

- (1) Con caratteristiche tali da minimizzare la potenza sonora riflessa " W_r ".
- (2) Con caratteristiche tali da minimizzare la potenza sonora trasmessa " W_t ".

1° fattore → SPECULARITA' DELLA SUPERFICIE

FONOASSORBIMENTO significa poca riflessione, da ciò ne consegue che è fondamentale la **SUPERFICIE del materiale**.

- Se il materiale è liscio e privo di imperfezioni → Riflessione SPECULARE → Legge di Snell



- Se il materiale NON è liscio e privo di imperfezioni → Riflessione DIFFUSA

↓
Situazione positiva

2° fattore → PERCENTUALE ENERGIA RIFLESSA

Quando la sorgente del disturbo si trova nello stesso locale in cui è l'ascoltatore, si potrà diminuire il livello sonoro totale (campo diretto più campo riflesso) principalmente in tre modi:

- riducendo la potenza sonora della sorgente,
- allontanando l'ascoltatore dalla sorgente ($> r$),

!- riducendo l'energia riflessa dalle pareti di confine. Questo risultato viene conseguito aumentando l'*area equivalente di assorbimento acustico* delle superfici esposte al campo acustico ($> A$).

Si ricorda che l'**area equivalente di assorbimento acustico A** vale:

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i \quad (\text{m}^2) \quad (2)$$

S_i=Area

α_i=Coeff. di assorbimento acustico apparente della porzione "*i-esima*"

Nell'ipotesi di campo acustico riverberante, il valore dell'**attenuazione del livello sonoro "DL"** conseguente alla installazione di materiale fonoassorbente sulle pareti di confine risulta:

$$DL(f) = 10\log(A_2 / A_1) \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

dove 1 e 2 indicano i valori prima e dopo il trattamento acustico delle pareti.

3° fattore → SPESSORE MATERIALE

→ L'entità dell'assorbimento aumenta con esso.

4° fattore → FREQUENZA DELL'ONDA INCIDENTE

→ L'entità dell'assorbimento aumenta con essa.

5° fattore → INSTALLAZIONE DEL MATERIALE

CATEGORIE dei MATERIALI FONOASSORBENTI

- 1) Materiali porosi
- 2) Risuonatori acustici
- 3) Pannelli vibranti
- 4) Sistemi misti

1) Gli assorbenti acustici porosi sfruttano il principio di dissipazione del suono/rumore in calore attraverso moti convettivi e a loro volta si possono distinguere in fonoassorbenti fibrosi e materiali fonoassorbenti a celle aperte.

- L'irregolarità della disposizione dei pori garantisce una maggiore dissipazione dell'energia sonora.

- Importante è l'*installazione del materiale*

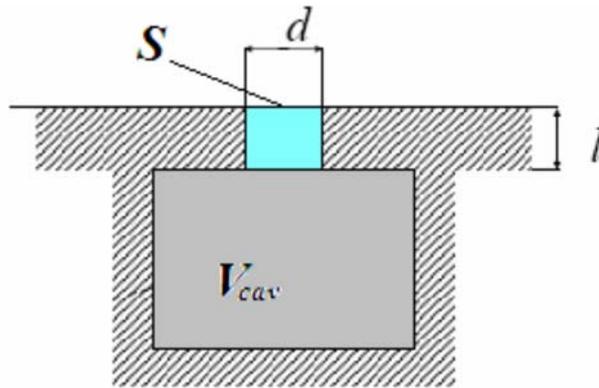
→ Presenza e spessore dell'intercapedine posta dietro il pannello;

→ Sistema di sospensione

→ Tipo di rivestimento superficiale del pannello

2) I cosiddetti "risuonatori" sono costituiti da una cavità che comunica con l'esterno attraverso un foro detto "collo del risuonatore".

- La massima dissipazione di energia si ha in corrispondenza della frequenza di risonanza del risuonatore.



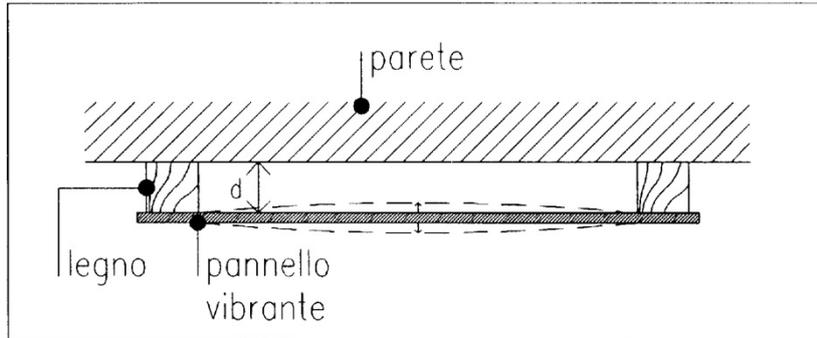
$$f_o = \frac{c_0}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{V_{cav} \cdot \left(\frac{16d}{3\pi}\right)}} \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

f_0 = Frequenza di risonanza rispetto al materiale (Errore di risultato stimato del 20% circa).

- I risonatori si comportano come “assorbitori selettivi in frequenza”, in genere nel campo delle basse o medio-basse frequenze.

- Riempire parzialmente la cavità con del materiale fonoassorbente, influenza la curva del coefficiente di assorbimento acustico.

3)



$$f_{ris} = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}} \quad (\text{Hz}) \quad (5)$$

m = Massa areica del pannello (Kg/m²)

d = Spessore intercapedine

4) Le frequenze di risonanza dei pannelli forati sono in genere comprese nell'intervallo tra 200 Hz e 5 Hz.

- Le proprietà di assorbimento dei pannelli forati possono essere migliorate inserendo nell'intercapedine del materiale fonoassorbente poroso.

- E' possibile ottenere un assorbimento distribuito su un range di frequenze più ampio, utilizzando pannelli con fori di diametro differente.

LA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO, α

Esistono due metodi normati per la misura del coefficiente di assorbimento acustico:

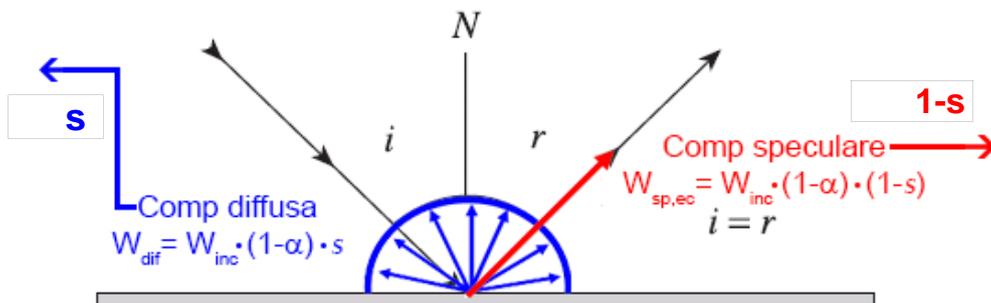
- In **camera riverberante**⁽¹⁾, per **incidenza casuale**
- Nel **tubo ad onde stazionarie**⁽²⁾ per **incidenza normale**

⁽¹⁾ Coefficiente acustico ad "incidenza casuale" specificato in norma ISO 354-2003.

- Per il calcolo del tempo di riverberazione viene adottata la FORMULA DI SABINE.

SCATTERING= Riflessione

Considerando una superficie scabra, una frazione **s** dell'energia riflessa totale verra' riflessa in modo diffuso, mentre la restante frazione **1-s** restera' speculare.



LA LEGISLAZIONE SUL RUMORE AMBIENTALE

Attuale quadro legislativo italiano:

- DPCM 1 marzo 1991 (l'Italia fu prima al mondo ad adottare una normativa sul rumore ambientale)
- Legge quadro sull'inquinamento acustico (L. 447/1995)
- D.Min.Amb. 11/12/1996 (Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo)
- DPCM 14/11/1997 (Determinazione dei valori limiti delle sorgenti sonore)
- D.Min.Amb. 16/3/1998 (Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico)
- DPR 459 del 18/11/1998 (Regolamento del rumore ferroviario)
- DPR 142 del 30/06/2004 (Regolamento del rumore stradale)

Allo stato attuale, quando si presenta un progetto per un intervento edilizio, occorrono due documenti:

Lo studio del clima acustico: verifica che i limiti in vigore vengano rispettati, cioè che l'edificio non sia esposto a un rumore eccessivo.

Lo studio di impatto acustico: verifica che le sorgenti sonore installate nell'edificio non superino i limiti in vigore presso gli edifici circostanti.

La Comunità Europea ha deciso di intervenire armonizzando le normative dei vari Paesi con la direttiva CEE n.49/2002.

I parametri previsti dalla direttiva CEE sono:

L_{DEN} (livello day - evening - night):

si valutano anzitutto i 3 livelli parziali:

1. L_{Day} (livello equivalente dalle 06 alle 20);
2. L_{Evening} (livello equivalente dalle 20 alle 22);
3. L_{Night} (livello equivalente dalle 22 alle 06).

Si aggiungono 5 dB a L_{Evening} e 10 dB a L_{Night}.

Infine si fa il livello equivalente complessivo.

L_{NIGHT} (livello equivalente notturno): valore medio energetico ottenuto sull'intero periodo notturno (dalle 22 alle 06), coincide con il valore utilizzato nel calcolo di L_{DEN}.

Di fatto però l'Italia ha solo parzialmente recepito la direttive comunitarie e attualmente sono in vigore i parametri del 1991.

I parametri acustici attualmente in vigore sono:

- Livello equivalente diurno (**L_{eq,giorno}**): valore medio energetico ottenuto sull'intero periodo diurno (dalle 06 alle 22);
- Livello equivalente notturno (**L_{eq,notte}**): valore medio energetico ottenuto sull'intero periodo notturno (dalle 22 alle 06);
Di solito il limite diurno è 10 dB(A) più alto del limite notturno.
- Livello differenziale (**L_{diff}**): differenza fra i livelli equivalenti misurati su brevi periodi, corrispondenti rispettivamente al funzionamento ed allo spegnimento di una specifica sorgente sonora di tipo fisso.

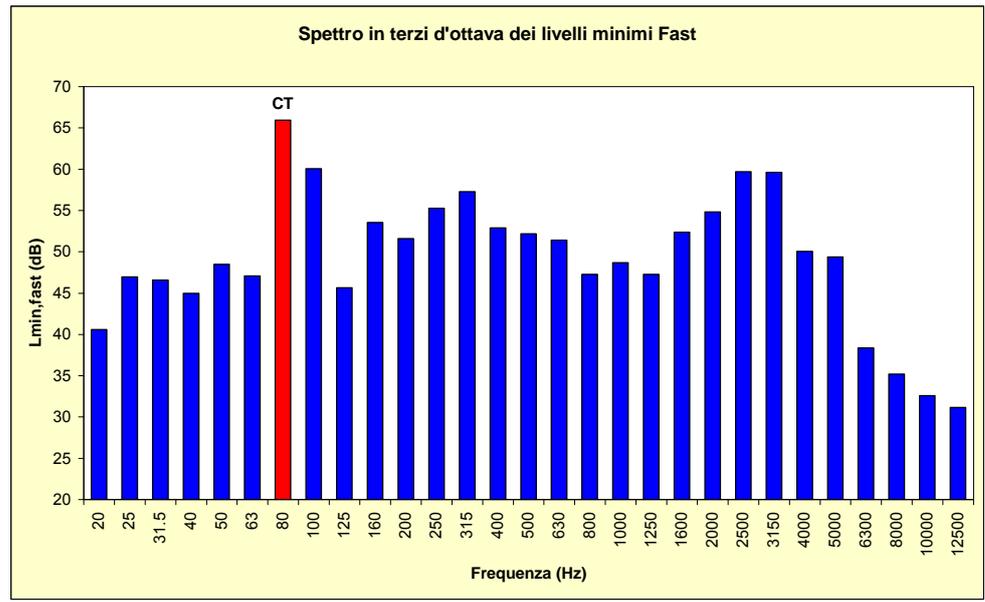
La differenza tra sorgente accesa e sorgente spenta non deve superare i 3 dB(A) di notte e i 5 dB(A) di giorno.

$L_{eq,giorno}$ ed $L_{eq,notte}$ si misurano all'esterno degli edifici, L_{diff} si misura all'interno delle abitazioni.

Esistono due tipi di correzione del rumore:

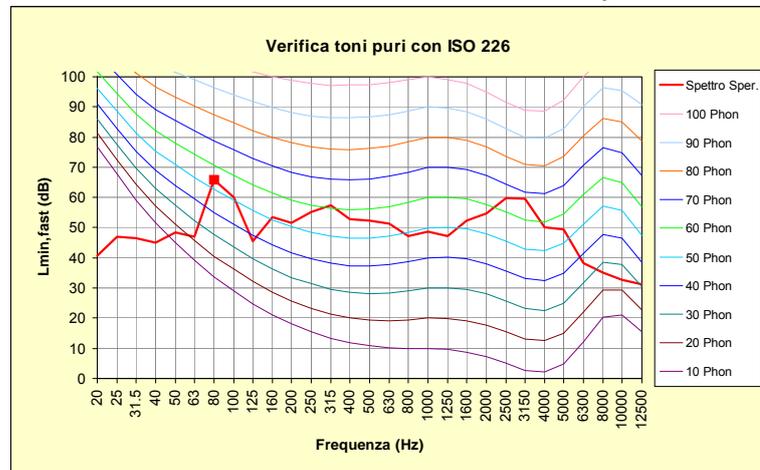
- Correzione tonale
- Correzione impulsiva

Correzione tonale: se il rumore presenta un picco tonale rilevante, si applica una maggiorazione del valore misurato pari a +3 dB(A).



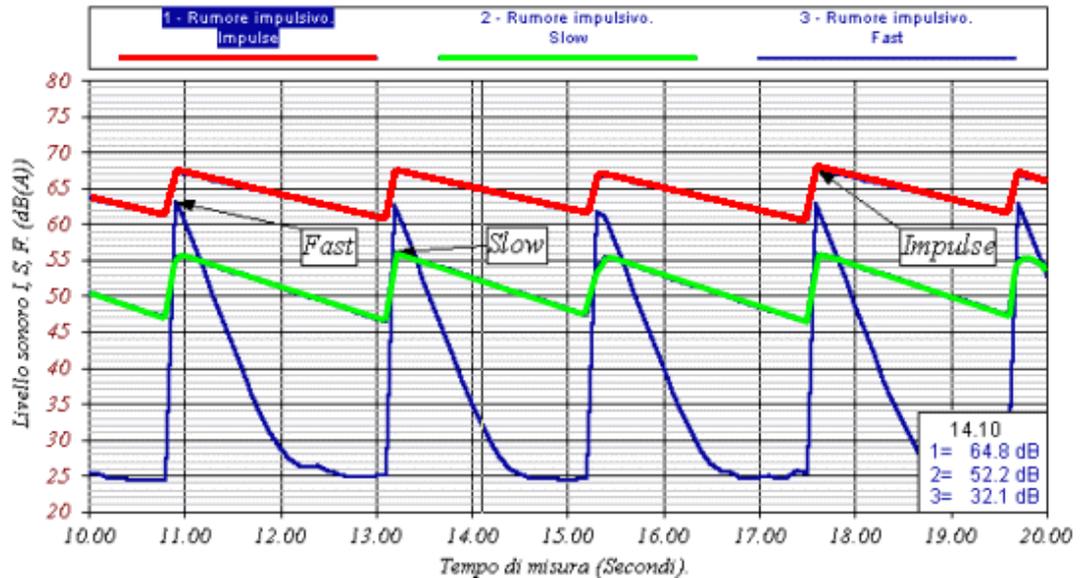
Condizioni che devono verificarsi per poter applicare la correzione tonale:

- Il rumore deve essere persistente;
- La componente tonale sventa di almeno 5 dB(A) rispetto alle bande adiacenti;
- Il picco rilevato risulta intercettare la isofonica più alta.



Correzione impulsiva: richiede di misurare con tre costanti di tempo dello strumento (slow, fast e impulse). L'evento è impulsivo se il valore massimo "impulse" supera il massimo "slow" di almeno 6 dB.

Se il rumore presenta un successione di eventi impulsivi si applica una maggiorazione di +3 dBA.



Condizioni che devono verificarsi simultaneamente per poter applicare la correzione impulsiva:

1. La differenza tra LAImax (Max. Impulse) ed LASmax (Max. Slow) è per ogni evento superiore a 6 dB;
2. La durata dell'evento a -10 dB dal valore LAFmax (Max. Fast) è inferiore a 1 s;
3. L'evento impulsivo è ripetitivo (almeno 10 volte/ora di giorno e 2 volte/ora di notte).

CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DEL TERRITORIO

Nel 2005 è stata approvata la nuova zonizzazione acustica del Comune di Parma, essa sostituisce la prima del 1998 ed individua 6 zone all'interno del territorio comunale.

In ogni zona acustica ci sono dei limiti acustici differenti.

Ogni zona è rappresentata su una mappa con una colorazione diversa e ad ognuna corrisponde un limite di rumore. La colorazione è conforme alla normativa regionale.

La zonizzazione acustica segue il **principio di scalarità**, occorre cioè sempre evitare il contatto tra aree adiacenti con classe di destinazione d'uso che differisca di più di una classe.

Larghezza minima di una fascia: 50 metri.

La legge prevede delle eccezioni al principio di scalarità: l'eccezione più tipica sono le strutture di tipo scolastico e ospedaliero che per legge vanno considerate in classe 1.

Limiti di rumorosità vigenti:

La legge fissa limiti diversi per ogni zona.

Al crescere della classe d'uso della zona cresce il limite diurno e il limite notturno.

Classe di destinazione d'uso	Leq,giorno	Leq,notte
I - Aree particolarmente protette	50	40
II - Aree prevalentemente residenziali	55	45
III - Aree di tipo misto	60	50
IV - Aree di intensa attività umana	65	55
V - Aree prevalentemente industriali	70	60
VI - Aree esclusivamente industriali	70	70

	GIORNO	NOTTE
Livello differenziale	5	3

IL SEL ED IL LEP - ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI AL RUMORE

LIVELLO EQUIVALENTE = Il livello sonoro equivalente continuo L_{eq} (dB) viene definito come:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_{rif}^2} dt \right] \quad (6)$$

T= L'intervallo di tempo di integrazione
 p(t)= Valore istantaneo della pressione
 p_{rif}= Pressione di riferimento

SEL = Livello equivalente ricompattato in un secondo

$$SEL = L_{eq} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (7)$$

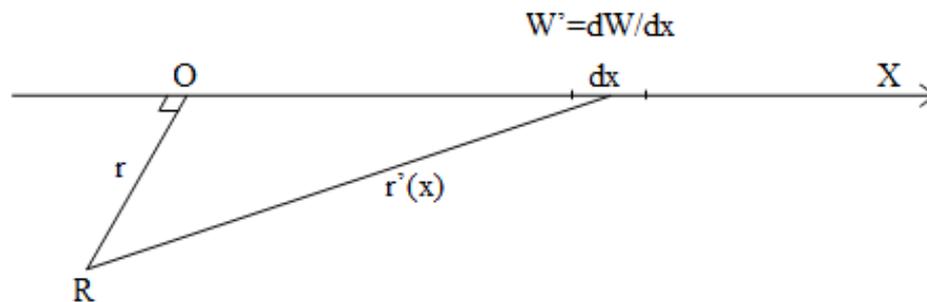
$$T_0 = 1s \quad (8)$$

Serve per misurare il rumore di transito dei veicoli.

RUMORE DELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO

SORGENTE LINEARE COERENTE ED INCOERENTE

Per molte sorgenti sonore ha più senso considerare l'ipotesi di sorgente lineare, anziché puntiforme: pensiamo a strade, ferrovie, aeroporti, ecc..

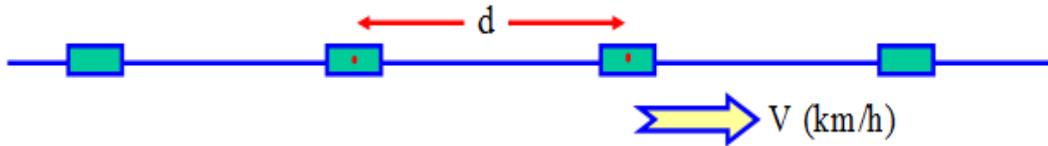


In questo caso la propagazione avviene con redistribuzione della potenza sonora su un fronte di propagazione cilindrico:

$$L_p = L_{W^1} - 10 \log(r) - 6 \quad \leftarrow \text{(Emissione incoerente)} \quad (9)$$

$$L_p = L_{W^1} - 10 \log(r) - 8 \quad \leftarrow \text{(Emissione coerente)} \quad (10)$$

*ESERCIZIO Strada come sequenza di sorgenti puntiformi-
Se avessimo L_{wi}*



$$V = 50 \text{ km/h}$$

$$Q = 500 \text{ veicoli/h}$$

$$L_{w,1veic} = 90 \text{ dB(A)}$$

Da cui:

$$d = V/Q = 50000/500 = 100 \text{ m}$$

$$L_{w'} = L_{w,1veic} - 10 \cdot \log_{10}(d) = 90 - 10 \cdot \log_{10}(100) = 70 \text{ dB(A)}$$

Per cui, alla distanza $r = 50 \text{ m}$, avremo un livello sonoro:

$$L_{p,50m} = L_{w'} - 10 \cdot \log_{10}(r) - 6 = 70 - 10 \cdot \log_{10}(50) - 6 = 47 \text{ dB(A)}$$

LEGAME TRA **SEL** E L_{w1}

Abbiamo stabilito che:

$$L_{eq} = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{V \cdot 1000} \right) - 10 \cdot \log(r) - 6 \quad (11)$$

Poichè SEL è valutato alla distanza standard $r=7,5\text{m}$, ma va riferito ad 1 solo dei Q veicoli transitati in un'ora, abbiamo:

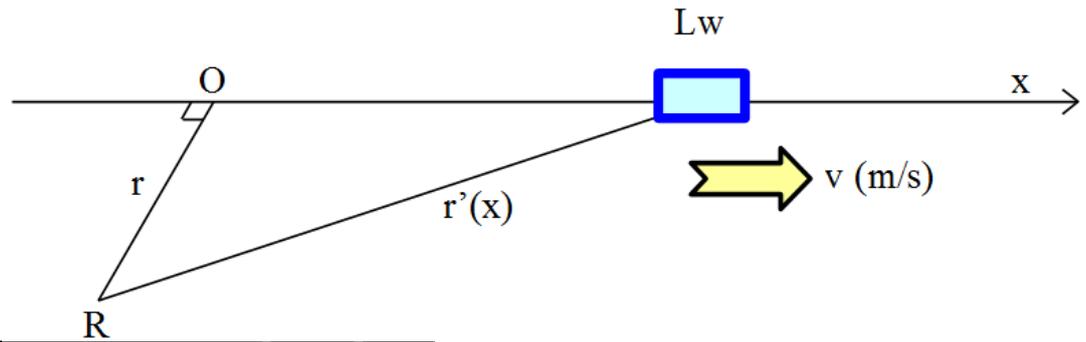
$$SEL = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{V \cdot 1000} \right) - 10 \cdot \log(7.5) - 6 + 10 \cdot \log(3600)$$

$$SEL = L_w + 10 \log(V) - 9.19$$

Alla velocità $V=50 \text{ km/h}$, abbiamo quindi:

$$SEL = L_w - 26.19 \quad (\text{dB(A)})$$

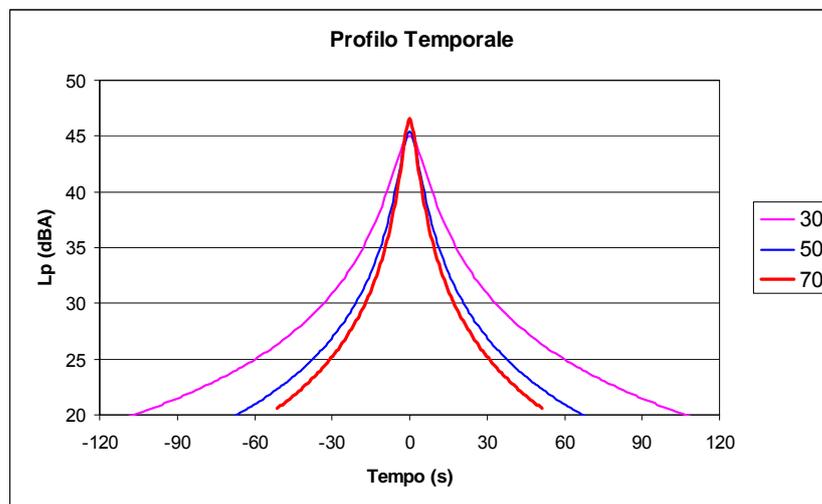
Se conosco il SEL



$$Lp(t) = L_w - 10 \cdot \log[r'^2(t)] - 11$$

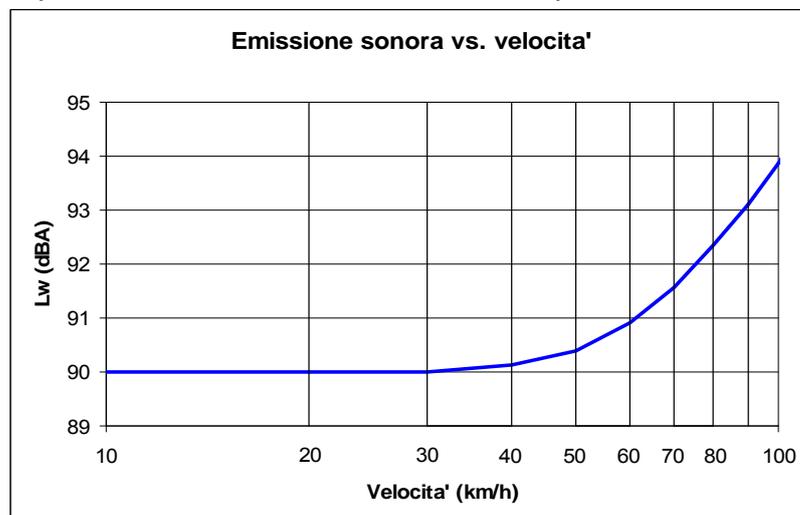
$$Lp(t) = L_w - 10 \cdot \log[r^2 + (v \cdot t)^2] - 11$$

In base alle precedenti relazioni, è possibile calcolare il profilo temporale di LP(t) al passaggio del veicolo, a varie velocità:

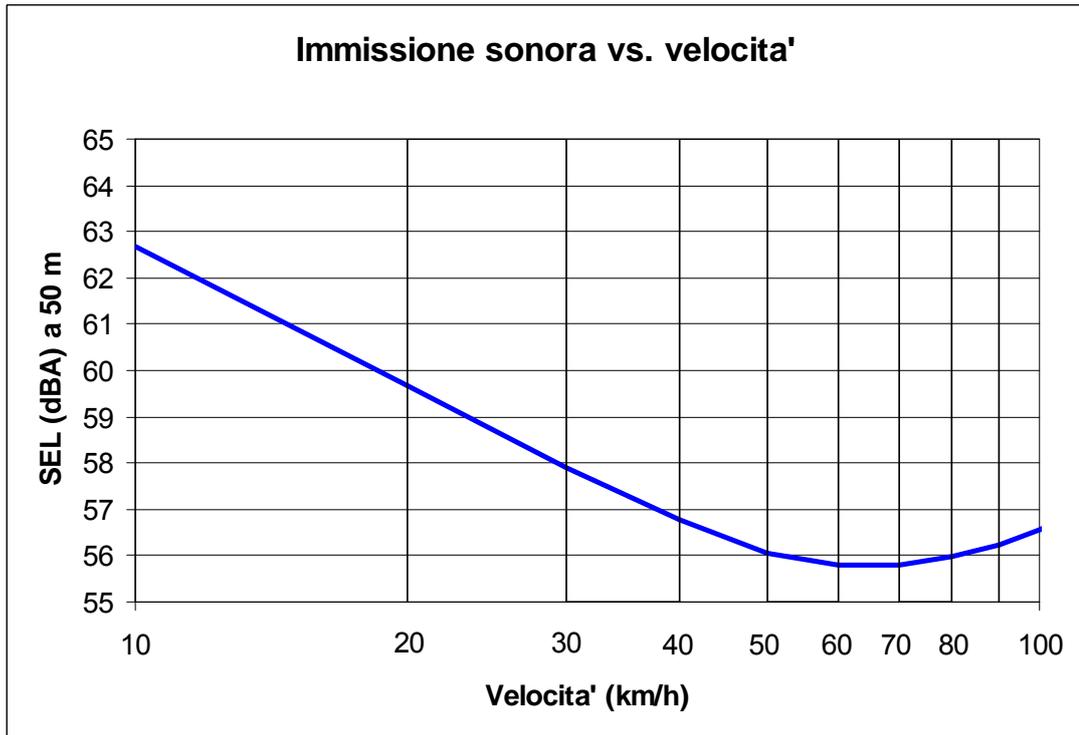


EFFETTO DELLA VELOCITA'

Il livello di potenza Lw cresce con la velocità a partire dai 30 km/h.



Il SEL presenta invece un minimo attorno ai 70 km/h.



LIVELLO DI ESPOSIZIONE PERSONALE

L_{ep} = Il livello di esposizione personale L_{ep} (dB) viene definito come:

$$L_{ep} = 10 \log \left[\frac{1}{8h} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_{rif}^2} dt \right]$$

T = durata effettiva della giornata di lavoro (ad es. 11h)

8h= Durata convenzionale di una giornata di lavoro standard, pari sempre ad 8h.

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

→

	$L_{EX,8h}$
VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE	87 dB(A)
VALORI SUPERIORI DI AZIONE	85 dB(A)
VALORI INFERIORI DI AZIONE	80 dB(A)

Nel caso tali valori vengano superati, diventa progressivamente opportuno fornire ai lavoratori dispositivi di protezione individuale (cuffie,

tappi), per livelli >80 dB(A). Con livelli maggior di 85 dB(A) per i lavoratori diventa obbligatorio indossare permanentemente tali dispositivi, ed i valori maggiori di 97 dB(A) sono in generale considerati inaccettabili, e richiedono di mettere in atto azioni finalizzati alla riduzione dell'esposizione dei lavoratori.

Di esse la più semplice è quella di ridurre il loro tempo di esposizione T, mandandoli a casa oppure in zone meno rumorose del cantiere non appena la loro dose giornaliera di Lep si avvicina agli 85 dB(A).

<i>LIVELLO EFFETTIVO ALL'ORECCHIO (L'_{Aeq})</i>	<i>STIMA DELLA PROTEZIONE</i>
> 85 dB(A)	INSUFFICIENTE
80-85 dB(A)	ACCETTABILE
75-80 dB(A)	BUONO
70-75 dB(A)	ACCETTABILE
< 70 dB(A)	ECESSIVO