

## LEZIONE 9: 06/12/2010

### Competenze della regione

- 1) Criteri in base ai quali i comuni devono procedere alla classificazione del territorio per l'applicazione dei valori di qualità tenendo conto:
  - delle preesistenti destinazioni d'uso;
  - aree da destinare allo spettacolo;
  - divieto di contatto aree  $> 5$  dBA di diff.
- 2) Poteri sostitutivi
- 3) Modalità, scadenze e sanzioni
- 4) Disciplina per rilascio & controllo concessioni edilizie

### Competenze della provincia

- funzioni amministrative previste dalla L n° 142;
- Competenze assegnate dalle regioni (art 4) in materia di inquinamento acustico (L. 142/90)
- Controllo e vigilanza (articolo 14) in ambiti territoriale ricadenti nel territorio di più comuni ricompresi nella circoscrizione provinciale

### Competenze dei comuni (Art. 6)

Comma 1:

- Fare classificazione del territorio secondo quanto stabilito dalle regioni.
- Coordinamento degli strumenti urbanistici già adottati con le determinazioni assunte per class. territori.
- adozione dei Piani del Risanamento (art. 7)

### Piani di risanamento acustico (art. 7)

→ Adozione piani Ris. (comma 1)

→ Comma 2: il piano di Risanamento deve contenere:

- tipologie & entità rumori present.
- individuazione soggetti cui compete
- priorità, modalità e tempi
- stime finanziarie e mezzi
- misure cautelari

→ Comma 5: per i comuni con più di 50.000 abitanti la giunta comunale presenta al consiglio comunale una relazione biennale sullo stato acustico del comune.

## Disposizioni in materia impatto acustico

Articolo 8 : 4 categorie.

- Valutazione Impatto Ambientale (secondo L. 349), redatta in conformità delle esigenze di tutela inq. acustica (comma 1)
- i soggetti titolari predispongano una documentazione di impatto acustico (comma 2) (su richiesta dei comuni)
  - Strade
  - Impianti sportivi
  - Circoli
  - Ferrovie
  - Aeroporti
- Valutazione previsionale elime acustico (esposizione al rumore) comma 3 per scuole, asili-nido, ospedali, ...
- Per il rilascio di concessioni edilizie rel. a nuovi impianti, deve essere allegata una documentazione di <sup>prev. di</sup> impatto acustico (comma 4).  
Le dom. di licenza di esercizio devono contenere indicazione di misure ~~prev. di~~ previste per ridurre o eliminare le emissioni sonore causate dall'attività, da inviare all'ufficio competente (comma 6)

## Controlli → Articolo 14

- Le amm. provinciali al fine di esercitare le funzioni di controllo e vigilanza utilizzano le A.R.P.A. (comma 1)
- Comune esercita le funzioni amm. struttive relative al controllo sull'osservanza
  - di prescrizioni attinenti al contenimento dell'inquinamento acustico prodotto da auto;
  - discipline del rumore prodotto dall'uso di macchinari rumorosi ed attività all'aperto.
- Art. 6
- Art. 8

## Riepilogo delle Norme

Cosa abbiamo fatto e cosa dobbiamo fare ?

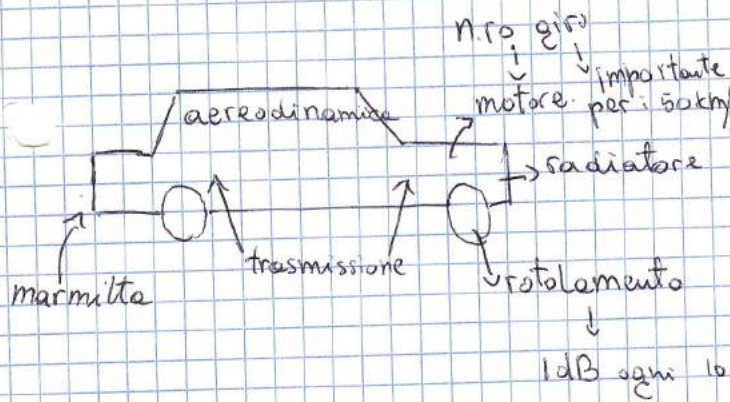
D.P.C.M. 1/3/91 → limiti di immissione

→ Classificazione acustica → piani di risanamento

Legge quadro:



## VEICOLO → SORGENTE DI RUMORE



Per un veicolo leggero:  
 Rumori meccanici 35%  
 Rumore rotolamento 55%  
 Rumori aerodin. 10%

Fino a 50 km/h è importante il motore, poi diventano più importanti le ruote. Le marmitte delle auto è silenziata.

Per i mezzi pesanti non vale la regola dei 50 km/h, ma sarà verso i 70 km/h.

Superficie drenante 2-4 dB

Motore: 2-3 dB (frizionamento)

Scarico: aumento volume camera esp. 4-5 dB

1 dB ogni 10 km/h

Modello C.S.T.B.  $L_{eq} = 10 \log Q - 6,5 \log L + 51$  ⇒ fornisce valori in dBA.

Risultato di un best fit.

dove Q: Flusso veicolare  
 L: larghezza stradale

Limite Fondamentale: assenza di dipendenza del rumore dalla velocità, della differenza tra mezzi leggeri e pesanti.  
 Inoltre parte dalla considerazione Fond. che una strada di 10 metri produce 44,5 dB (di suo!)  
 ↳ rumore di fondo.

## Modello CETUR.

$$L_{eq} = 53 + 10 \log (Q_{VL} + E Q_{PL}) - 10 \log l + K_H + K_V + K_G + K_C + K_R \quad (\text{dBA})$$

$Q_{VL}$  = Flusso leggero

$l$  = larghezza strada.

$Q_{PL}$  = Flusso pesanti

Strade ad "U":  $\frac{h}{e} > 0,5$

$E$  = fattore equivalenza

$K_H$  = correzione altezza

$$h > 4 \text{ m} : K_H = -2 (h - 4) / e$$

$$h < 4 \text{ m} : 0$$

$$K_V = \text{velocità} = \begin{cases} = 0 & v < 60 \text{ km/h} \\ = 1 \text{ dBA} / 10 \text{ km/h} & v > 60 \text{ km/h} \end{cases}$$

$K_R$  = pendenza

$$K_C = \text{incroci} = L_2 - (3 + 0,1 \cdot x)$$

$K_R$	10	13	16	18	20
%	2	3	4	5	6

$x$ : distanza da strade principale

$L_2$ : è il  $L_{eq}$  calcolato nella secondaria senza considerare la principale.

$K_G$  = dipende dal terreno.

### MODELLO C.N.R.

$$L_{eq} = 35,1 + 10 \log(N_L + 8 N_W) + \log\left(\frac{25}{d}\right) + \Delta L_V + \Delta L_P + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB}$$

traffico ~ sorgente lineare

Livello calcolato su piano stradale in corrispondenza facciata edifici + riflessioni.

Velocità Media	$\Delta L_V$
0 - 50	0
50 - 60	+1
60 - 70	+2

$\Delta L_P, \Delta L_B$ : correzione riflessioni dovute a parete retrostante (2,5 dBA) od opposte (1,5 dBA) al microfono.

$\Delta L_S$	Manto Stradale
-0,5	liscio
0	ruvido
+1,5	cemento
+4	lastricato scabro

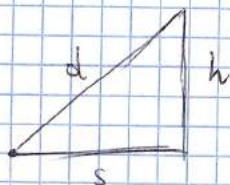
Pendenze	$\Delta L_G$
5	0
6	+0,6
7	+1,2
8	+1,8
9	+2,4
10	+3,0
V% in più	+0,6

Situazione traffico	$\Delta L_{VB}$
pross. mita semafori	+1,0
Velocità veicolare < 30 km/h	-1,5

Aggiunte dopo

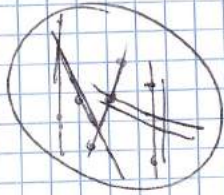
$$L_H = -10 \log\left(\frac{(d+s)^2 + h^2}{d^2 + 2,25s}\right)$$

$h$ : ~~distanza~~ altezza } dal bordo del marciapiede del ricevitore  
 $s$ : distanza

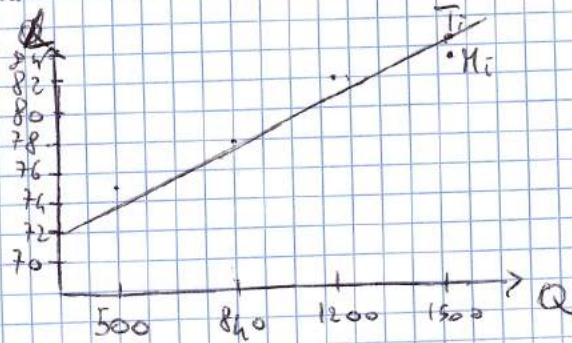


# Spiegazione di "Best Fit"

In una città ho preso i seguenti dati:

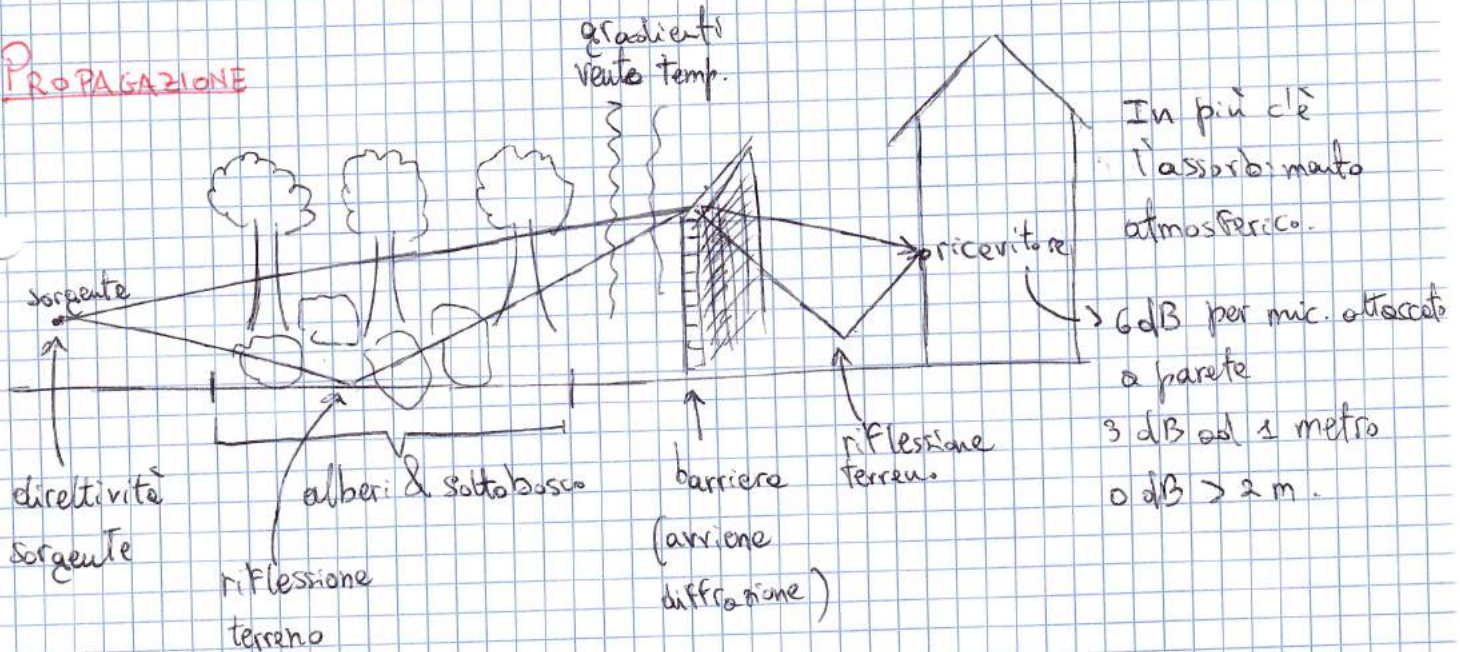


Q	L
500	75
1200	82
840	78
1500	83

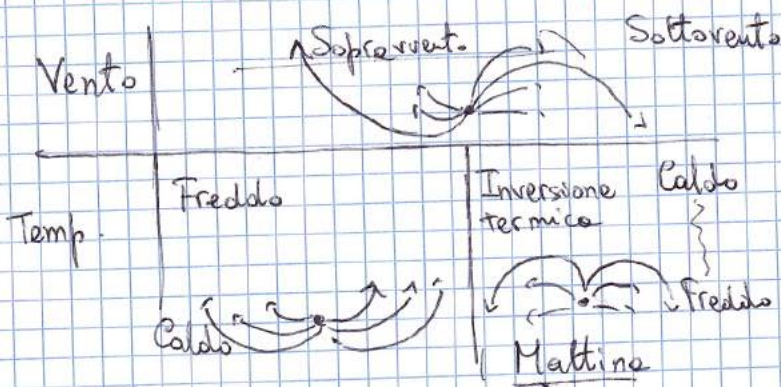


Il best fit è t.c.  $\sum_i (M_i - T_i)^2$  è minimo.

## PROPAGAZIONE



## Effetti di gradiente di vento e temp



LEZIONE 10 07/12/2010

PROPAGAZIONE DEL SUONO (in esterno)

Data una sorgente puntiforme:  $L_p = L_{pf} - A$   $\rightarrow$  attenuazione

Dove  $A = A_{div} + A_{atm} + A_{bar} + A_{veg} + A_{misc}$ .

$A_{div} = 20 \log \frac{r}{r_{ref}}$  6 dBA al raddoppio della distanza.

$A_{atm, F} = \frac{r}{1000} \left\{ 0,6 + 1,6 \left( \frac{F}{1 \text{ kHz}} \right) + 1,4 \left( \frac{F}{1 \text{ kHz}} \right)^2 \right\}$  5 dB a 1500 m x 500 Hz  
5 dB a 250 m x 4000 Hz.

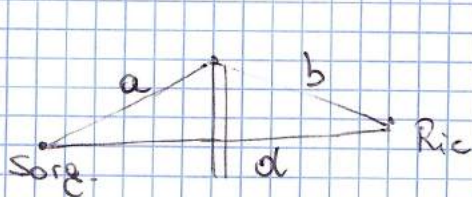
$A_{bar} \geq 5 \text{ dB}$  all'ombra geometrica della barriera

$A_{bar} = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{Th \sqrt{2\pi N}} \geq 0$  al di fuori dell'ombra geometrica delle barriere ( $N = n.ro \text{ Fresnel}$ )

$A_{veg} = 6 - 10 \left( \frac{F}{1 \text{ kHz}} \right)^{1/3} \left( \frac{\text{altro}}{100 \text{ m}} \right) \leq 10$  5 dB a 150 m x 500 Hz  
5 dB a 50 m x 4000 Hz  
 $\rightarrow$  spesso se vegetazione

$A_{misc}$  = altri effetti, dovuti alle riflessioni del terreno, gradienti di vento e di temperatura.

Definizione di cammino ottico  $\delta$ : (differenza di cammino)

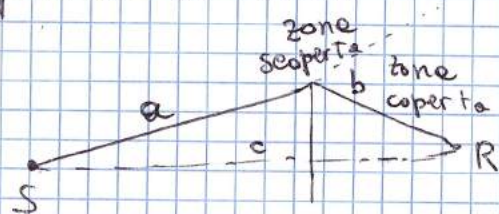


$\delta = a + b - d$

$\Rightarrow$  numero di Fresnel:  $N = \frac{2\delta}{\lambda}$

$\downarrow$   
lunghezza d'onda dell'emissione sonora.

Vogliamo vedere la correzione al livello sonoro prodotta da barriera



$\delta = a + b - c$   
 $x = \log_{10} \delta$

Zona coperta	
$x < -3$	$C = -5,0$
$-3 < x < +1,2$	$C = -15,4 - 8,26x - 2,78x^2 - 0,71x^3$
$x > 1,2$	$C = -30$

Zona scoperta

$x < -4$   $C = -5,0$

$-4 < x < 0$  polinomiale

$x > 0$   $C = 0$

Correzione dovuta all'assorbimento del terreno.

$$\text{per } 0,75 \leq H < \frac{d+5}{6} \quad C = 5,2 \log_{10} \left( \frac{6H-1,5}{d+3,5} \right) \times I$$

$$\text{per } H < 0,75 \quad C = 5,2 \times I \cdot \log_{10} \left( \frac{3}{d+3,5} \right)$$

$$\text{per } H \geq \frac{d+5}{6} \quad C = 0$$

dove:  $I = \%$  terreno riflettente

$d =$  distanza S ed R.

$H =$  altezze medie del terreno tra S ed R

## Calculation of Road Traffic Noise

Divisione strada in segmenti

↓  
Calcolo contributo  
per segmento

↓  
Livello Base di Rumore

Flusso, Velocità, % veicoli pesanti  
pendenza, tipo superficie

↓  
Correzioni al livello base

Propagazione  
Distanza

← Sì → Ostacoli → no → Tipologia Terreno

↓  
Tipologia del sito } Angolo di vista

↓  
Altro segmento → sì

↓  
No → Combinazione di tutti i segmenti

↓  
Previsione finale  $L_{10}$

N.B.: si verifica la relazione sperimentale:  $L_{10} = L_{eq} + 3 \text{ dB(A)}$   
 $(2,8 \pm 0,4) \text{ dB(A)}$

$L_{eq}$  = media energetica  
 $L_{10}$  = comportamento statistico

N.B.: differenza tra microfono in assenza di riflessione con presenza di riflessione:  $+2,5 \text{ dB}$

LEZIONE 10: 10/12/2010

Danno

Alterazione non reversibile dal punto di vista clinico  $\rightarrow$  mai con rumore ambientale

Disturbo

Alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche del soggetto, chiaramente oggettivabile

Annoyance Stato di scontentezza,

Disagio, fastidio riferito al rumore che l'individuo sa o crede possa agire su di lui in modo negativo.

Fattori fisici: durata, livello di pressione, toni puri, impulsi.

Fattori psicologici: riconoscibilità sorgente, variazione individuale del livello di sensibilità.

L'annoyance è difficile da misurare.

REAZIONE SOGGETTI AD ATTIVAZIONE SORGENTE DISTURBANTE

Eccedenza del rumore

0 dB(A)

5 dB(A)

10 dB(A)

15 dB(A)

20 dB(A)

Reazione

Nessuna

Moderata - lamenti sporadici

Media - lamenti diffusi e minacce di azioni legali

Forti - lamenti molto diffusi, minacce frequenti di azioni legali

Fortissima - vigorose azioni legali



## EFFETTI DEL RUMORE SUL SONNO

- Diminuzione del tempo di comparsa del primo episodio di sonno paradossale (REM)
- Riduzione del sonno lento profondo (scomparsa);
- Aumento risvegli;
- Prolungamento della fase di addormentamento

Tali effetti dipendono da:

- 1) Età e sesso (donne più sensibili)
- 2) Presenza di livelli elevati di picco, più che da elevati livelli continui nel tempo.

Porta quindi a:

- ⓐ Modificazioni della struttura del sonno;
- ⓑ Aumento battito cardiaco;
- ⓒ Riduzioni delle prestazioni;
- ⓓ Alterazione dell'umore.

N.B.: non si osserva alcun adattamento della risposta cardiaca

## Effetti Extra-Uditivi

Proporzionali all'energia assorbita in analogia a quanto avviene nel caso dei danni uditivi. (Supponiamo, ma non corretto in generale)

- frequenza e tipologia del disturbo
- risposta del soggetto, che dipende dall'ambiente.

Questi effetti non sono comunque specifici e possono essere riassunti in una situazione di stress dell'individuo, cioè alterazioni funzionali, fisiologiche quali:

- aumento freq. cardiaca
- vasodilatazione
- aumento secrezione surrenale

Aumento del rischio di infarto miocardico.

## REAZIONE AL RUMORE

Varie, e comportano un adattamento che può essere:

- Comportamentale: di difesa dal rumore, ad es. insonorizzazione, diverso utilizzo di locali, modifica abitudini di vita, trasloco.
- Funzionale: l'azione avviene su basi inconscie e può essere di tipo fisiologico o psicologico. Risposte tipiche di reazioni ad "allarme".

## TECNICHE DI MISURA - METODO DIRETTO ED INDIRETTO

Valutazione dell'esposizione (art. 39) :

- Metodo diretto: utilizzo dosimetro integratore che accompagna l'op. durante il turno di lavoro
- Metodo indiretto: esposizione al rumore a partire da misure della p. acustica nelle pos. occupate dal lavoratore + tempo exp.

Una raccolta dettagliata di informazioni deve consentire di individuare :

- a) Sorgenti di rumore;
- b) Ambiente di lavoro;
- c) Postazioni di lavoro

La scelta dei metodi dipende :

- presenza di postazioni fisse o mob. del lavoratore
- prevedibilità spostamenti.

Posizione di misura: la misura va effettuata (art. 39 punto A-3.2 all VI) all'altezza dell'orecchio della persona nella postazione di lavoro, pref. in sua assenza (per evitare riflessioni).

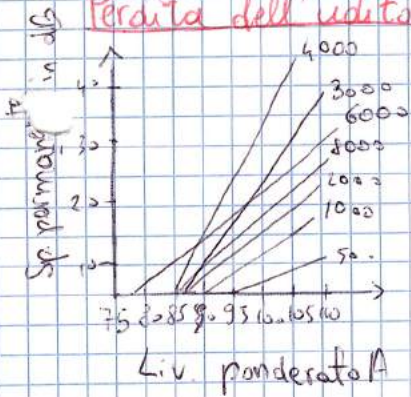
Ove questo non sia possibile, il mic. va posto a 10 cm dall'orecchio.

### ERRORE CASUALE

- Assenza di chiarezza sull'indicazione data in A-3.3, dove è chiesto di fornire per ogni misura l'incertezza con cui è nota
- Errore casuale: ha medie attorno al valor medio (che è la misura)
- Consiglio: protrarsi nel tempo delle misure, piuttosto che ripetizione. Per misure corrette, l'errore è quello della catena strumentale utilizzate (ma comunque almeno 1 dB).
- Errori quali: tempi di esposizione, variabilità sorgente, posizione misura ecc. non sono errori casuali, e possono essere ridotti ed eliminati.

# LEZIONE 12: 17/12/2010

## Perdita dell'udito



Relazione tra valor medio della perdita uditiva indotta da rumore e livello sonoro ponderato A, al quale i lavoratori sono stati esposti: per 8 ore al giorno, per 5 gg <sup>la settimana</sup> ~~la settimana~~, per più di 10 anni.

La soglia uditiva si alza prima per frequenze più alte, poi per frequenze più basse.

È meglio far uso di protezione per l'udito:

tappi → premodellati  
 → premodellati per il cliente  
 → da modellarsi  
 → unità semiauricolare

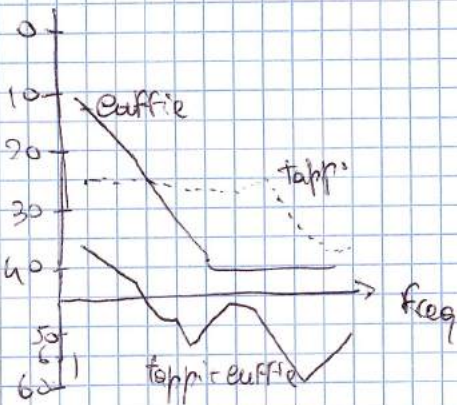
euffie → eicremauricolare  
 → sovraauricolare  
 → rivestire miniaturizzato con capsule comunicazione

Elmetti → sportivi  
 → militari

Metodi Attivi → genera un suono in controfase ed rumore presente

N.A.: per via della protezione uditiva sui luoghi di lavoro, allarmi ed altro devono essere presenti anche in forma visiva

I tappi, a basse frequenze, sono più efficaci delle euffie



## Obblighi produttori e datore di lavoro

Art. 46 del D.L. <sup>277</sup> 1991:

- rispetto dell'art. 41 comma 1 (interventi fono)
- obbligo stabilito per i produttori di dare informazione dettagliata e esatta delle nuove macchine nel caso di  $LEP \geq 85$  dB(A)
- Comma 3: il datore di lavoro nell'acquisto di nuove macchine deve privilegiare l'acquisto di macchine meno rumorose

## EFFETTI

- Progettare nuovi impianti, ristrutturare precedenti
- Stimolo alle industrie produttrici nello sviluppare prodotti più silenziosi

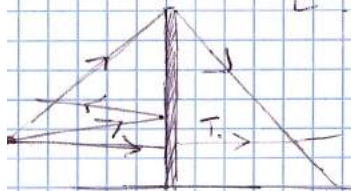
## Necessità

- Conoscere con certezza la potenza sonora emessa, per calcolare il LEP

Prima per ogni macchina veniva scelto una Decret. Legge, ma oggi giorno si preferisce fare una direttiva quadro, che viene standardizzata dalla CEN.

Piccola parentesi: Una barriera può anche trasmettere il suono, ed è lasciato passare

$$E \rightarrow I_{inc} = E_{rif} + E_{tra} + E_{ass} + (E_{diff.})$$



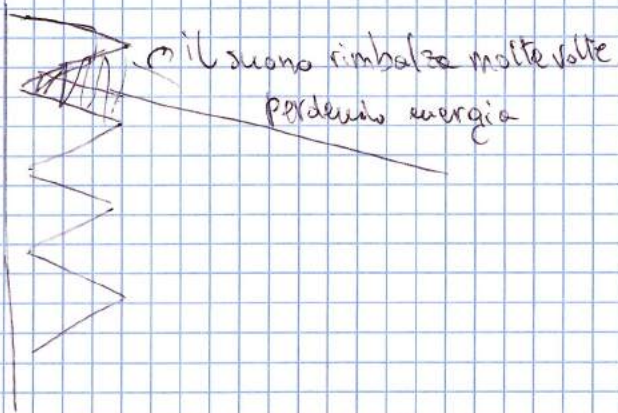
Un materiale poroso disperde più energia sonora, poiché i raggi sonori rimangono intrappolati all'interno.



riflettenti = isolanti  
porosi = assorbenti

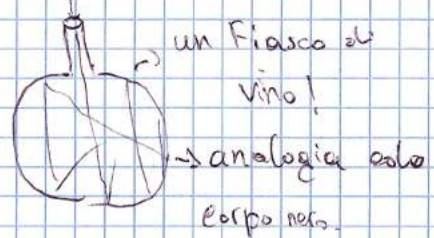
$$1 = \frac{E_{rif}}{E_{inc}} + \frac{E_{tra}}{E_{inc}} + \frac{E_{ass}}{E_{inc}} = \alpha_{rif} + \alpha_{tra} + \alpha_{ass}$$

Per annullare il riverbero, si possono usare forme particolari per le superfici: camera anecoica:



il suono rimbalza molte volte perdendo energia

### Risunatore di Helmholtz



un Fiasco di vino!

→ analogia con corpo nero.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ → tipo di estati.

### Caso pratico: Cisterne H<sub>2</sub>O Livorno.

Punto di misura	Misure 1997	Misure 1992
Pompe 1	-	92 ± 0,5
Pompe 2	74,5 ± 0,5	90,5 ± 0,5
	73,5 ± 0,5	91,5 ± 0,5
	73,0 ± 0,5	—
	—	91,5 ± 0,5
—	—	68,0 ± 0,5

↑  
Sono stati presi acoramenti.

## LEZIONE 15: 10/01/2010

### Richiamo alla lezione scorsa: VIBRAZIONI

Nota consideriamo vibrazioni strutturali  $\Rightarrow$  rumori forti possono causare danni strutturali.

(di questo si occupa l'ingegneria civile)

$\Rightarrow$  ci occupiamo di vibrazioni umane: l'uomo è fatto di "masse e molle", che possono andare in risonanza a determinate Frequenza.

Vibrazioni misurate in dB



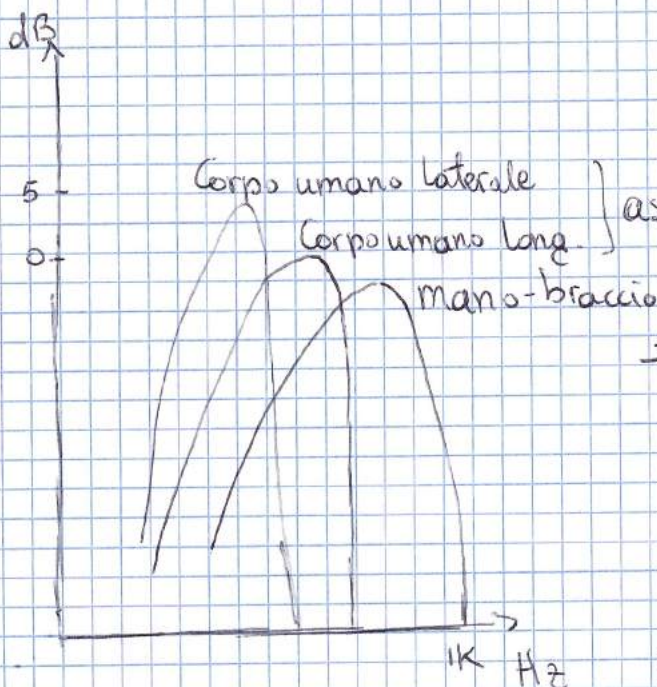
Vibrazioni  $\rightarrow$  per misurarle uso l'accelerometro, che deve avere massa pari (al massimo) il 10% della massa dell'oggetto vibrante.

Accelerometro a compressione  $\rightarrow$  cristallo piezoelettrico che viene pressato da una massa sismica  $\Rightarrow$  trasduttore

N.B.: l'accelerometro va usato in assenza di radiazioni, campi magnetici, ... che possono disturbare la misure

$\rightarrow$  Bisogna montarlo bene, poiché ogni tipo di fissaggio presenta una risonanza che potrebbe alterare le misure nei dintorni di quella frequenza.

Curve di ponderazione



assi di simmetria del corpo umano

$\rightarrow$  S.R.: basicentrico o biodinamico

basicentrico: fisso (e.g.: assoluto)

biodinamico: solidale al corpo umano

Per misure di vibrazioni su corpi umani si usano supporti (anelli), che di fatto

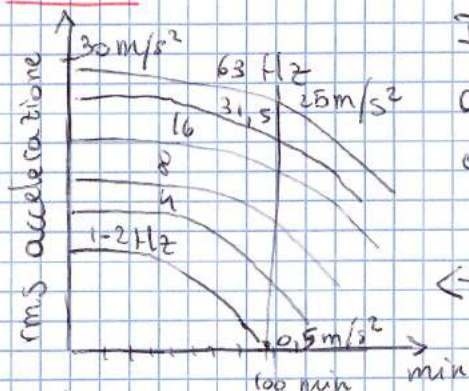
alterano la risposta dell'accelerometro (ed inoltre i fili devono essere tesi)

ricordo: R.M.S. :  $a_{eq} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$

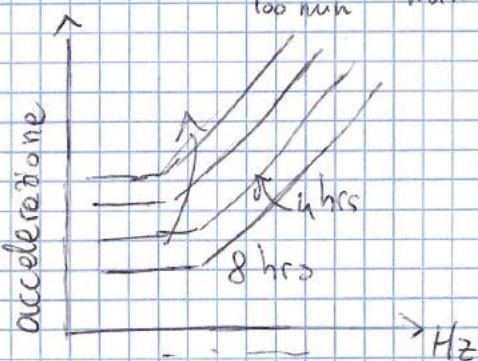
## SINDROME DA VIBRAZIONI MANO-BRACCIO

- 1) Caratteristiche: frequenza, ampiezza, direzione; componenti impulsive.
- 2) Caratteristiche utensile: tipo, peso, manutenzione
- 3) Caratteristiche esposizione: ore/die; durata totale exp.; intermittenza exp.  
4 hrs. lavorative
- 4) Dose di vibrazioni: accelerazione ponderata in frequenza equivalente per 4 hrs. di lavoro (ISO 5349)
- 5) Fattori biodinamici: postura, forza di prensione, area e locazione delle parti delle mani esposte a microtrauma
- 6) Fattori ambientali: microclima, rumore, agenti chimici angiotossici.
- 7) Fattori individuali: età, metodo di lavoro, agenti vasocostrittori, suscettibilità individuale e condizioni patologiche preesistenti.

## LIMITI



Diminuzione di efficienza <sup>lavorative</sup> dovuta all'effetto di affaticamento per esposizioni a vibrazioni in fine della durata di exp.



Vibrazioni a corpo intero  
Lo stesso approccio si usa per il sistema mano-braccio.

## METODO SEMPLIFICATO PER TEMPO VASCO EXP.

Mantenimento efficienza lavorative:  $a_t = a_1 \quad t \leq 10 \text{ min}$

$$a_t = a_1 \sqrt{\frac{t_0}{t}} \quad 10 \text{ min} < t < 480 \text{ min}$$

$a_t$ : accelerazione tollerabile per un'exp. di  $t$  minuti

$a_1$ : accelerazione tollerabile per 1 min.

$t_0$ : 10 minuti.

Data un'accelerazione complessiva ponderata, il tempo max tollerabile è:

$$t = 10 \left( \frac{2,8}{a_{sum}} \right)$$

2,8: accelerazione max tollerabile per 1 min tra 4 ed 8 Hz.

$$a_{sum} = \sqrt{(1,4 a_{xw})^2 + (1,4 a_{yw})^2 + a_{zw}^2}$$

più importanti: per vibrazioni.

ISO 2631/1: valutazione dell'esposizione umana alle vibrazioni

La ISO 2631/1 fornisce uno std. per valutare l'exp. alle vibrazioni trasmesse al corpo di un conducente

(a) limite efficienza diminuita per fatica

(b) limite di esposizione ; → danni alla salute

(c) limite del comfort ridotto

(a) → curve limite Frequenza-accelerazione

→ trasv. e longitudinale  
→ verticale

Curve (b) e (c) ricavate da (a)

$$(b) = (a) - 10 \text{ dB} \rightarrow 3,16 \text{ volte in meno}$$

$$(c) = (a) + 6 \text{ dB} \rightarrow 2 \text{ volte in più}$$

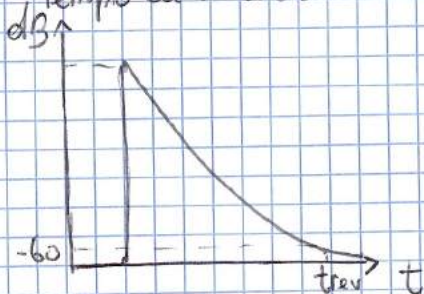
N.B.: in Italia, la popolazione non è tutelata contro le vibrazioni, i lavoratori lo sono grazie ad una direttiva europea.

## LEZIONE 16: 14/01/2011

### Acustica Architettonica

#### Rapid Speed Transmission Index

Tempo di riverbero → tempo in cui il segnale è sceso di 60 dB

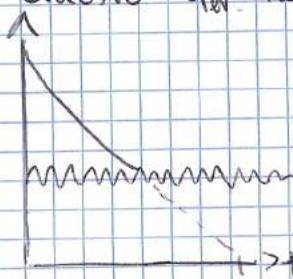


Un segnale prodotto al tempo  $t=0$ , arriva prima direttamente all'osservatore, poi tramite varie riflessioni. Le riflessioni più lontane, oltre ad arrivare più tardi, hanno subito un'attenuazione.

l'energia è scesa  
1 milione di volte

Questo  $t_{rev}$  non è sempre eadabile, ma a volte è necessario un fit:

In presenza di rumore di fondo, ad esempio.



In un luogo aperto, oppure in una camera anecoica, il tempo di riverbero è teoricamente nullo.

In una stanza a superfici riflettenti, completamente vuota, è possibile ottenere onde stazionarie, con nodi e ventri fissi.

Legge sperimentale di Wallace Sabine (Boston) - 1927

- 1) Più grande è la stanza, maggiore è il  $t_{rev}$ .  $t_{rev} \propto V$
- 2) È inversamente proporzionale all'efficiente di assorbimento:  $t_{rev} \propto \frac{1}{\alpha_{Ass}}$
- 3)  $t_{rev} \propto \frac{V}{\sum \alpha_i A_i}$

$\sum \alpha_i A_i \rightarrow A_i$ : superficie occupata dall'iesimo agente assorbente.

Legge di Sabine

$$T = (0,16 \pm) \left( \frac{m}{s} \right)^{-1} \frac{V}{\sum \alpha_i A_i}$$

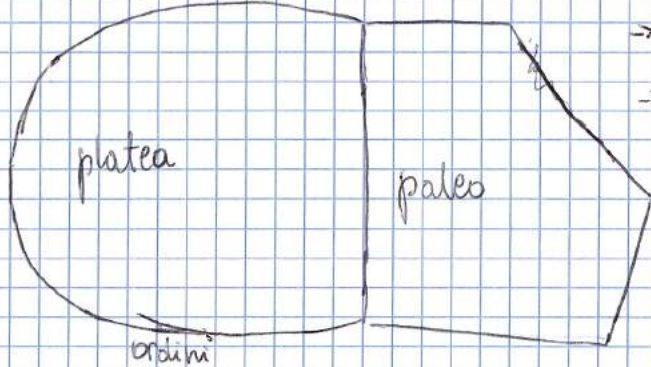
Non tiene conto però della forma della stanza! Almeno apparentemente, ma in effetti, c'è una relazione che varia tra solido e solido tra area laterale e volume  
 → Altro problema: se ho una stanza cubica, apparentemente è uguale, a parità di area coperta da pannelli riflettenti, coprire il soffitto oppure le pareti laterali; ma ciò è falso.

→ Limitazione: la formula di Sabine vale per d. v. o, per stanze PIENE di energia sonora, distribuite uniformemente → sorgente isotropica oppure attiva per tempi lunghi.

Inoltre, il tempo di riv. dipende dalla frequenza:  $T(\nu)$ , perché  $\alpha_i \neq \alpha_i(\nu)$

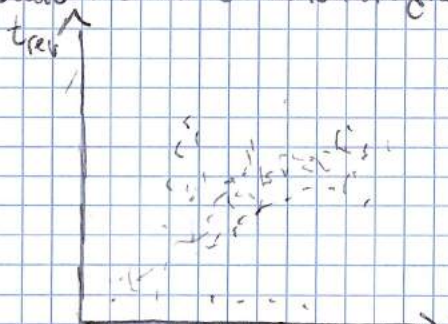
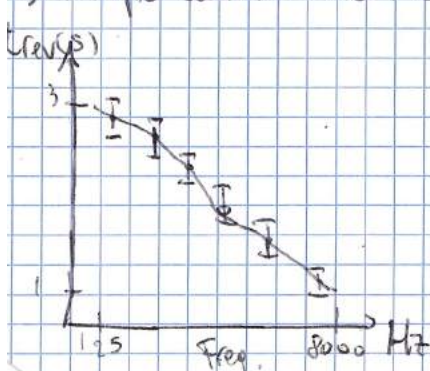
### TEATRO GOLDONI - LIVORNO

Teatro all'italiana: ovale



- copertura in vetro
- 600 posti 20 m x 22 m
- 100 palchetti in 4 ordini: 500 posti
- platea: 200 posti
- 120 posti per orchestra
- il paleo è trapezoidale perché non c'erano abbastanza soldi per comprare il terreno!

Nel retro del paleo erano presenti 2 giare (risonatore di Helmholtz) e 3 archi.  
 ⇒ tempo di riverbero: calcolato mediante back integration



In genere il  $t_{rev}$  è maggiore al crescere del volume, ma non è l'unica cosa che conta: c'è da considerare le varie superfici come sono fatte!



IL RA STI. è strettamente collegato al tempo di riverbero, che ~~più~~ se è alto comporta una ridotta intelligibilità della parola  
 RA STI. varia tra 0 ed 1.

DEFINIZIONE

$D = \text{Definition} = D_{50} = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$  early energy fraction (parlato)

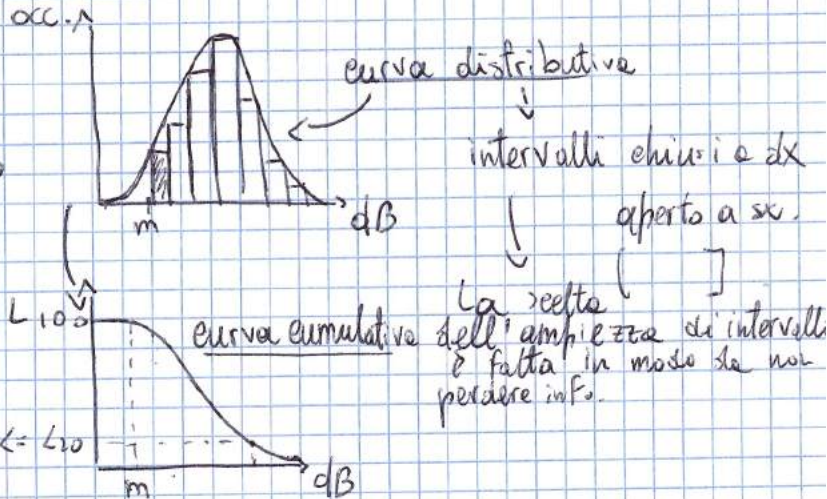
$E = \text{Clarity} = C_{80} = 10 \log_{10} \left( \frac{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right)$

$T_s = \text{Central Time} = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$

E.D.T.: early decay time

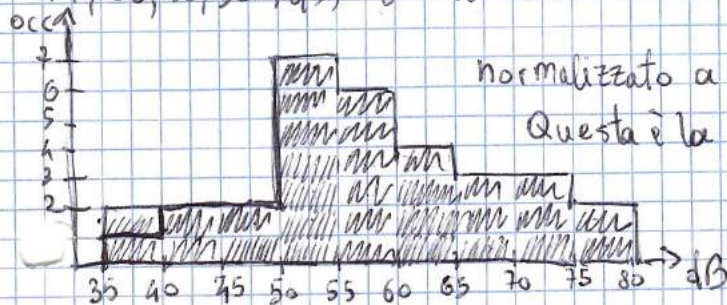
LEZIONE 17/01/2011

RIMOZIONE DI RUMORE DI FONDO DA MISURE



Costruire grafico dei seg. valori:

50, 53, 52, 53, 65, 70, 73, 62, 52, 38, 62, 45, 56, 77, 54, 57, 67, 55, 59, 67, 74, 57, 64, 54, 71, 77, 56, 58, 60, 43, 35 val. minimo.



normalizzato a 30 (n.ro misure totali)  
 Questa è la curva distributiva.



## NUMERO OTTIMALE DI CLASSI

$$C = 1 + \log_2 N = 1 + \frac{10}{3} \log_{10} N \quad (\text{Sturges } \sim 1920)$$

Dixon - Krampal  $C = 0.8 \log_{10} N$  (1965)  $\rightarrow$  curve asimmetriche

Scott (1978):  $h = \frac{3.5 S}{\sqrt{N}}$   $h$ : larghezza classe  
 $S$ : deviazione std.

Funzione di ripartizione empirica  $\Rightarrow$  grafico speculare alla curva cumulative

Variabile  $x$  su  $n$  unità  $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4 \leq \dots \leq x_n$   
 $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $1/n$   $2/n$   $1/n$

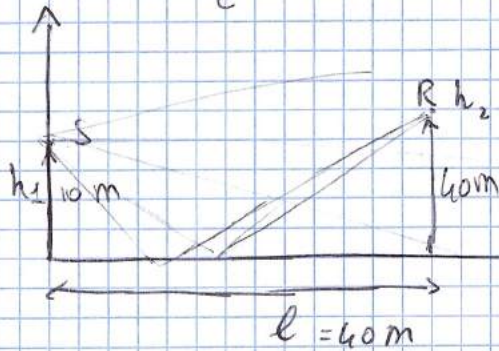
Vedere legge 4795 ; 89-98  $\rightarrow$  DCR 788-99  $\rightarrow$  per Toscana: relazione previsionale elima acustico.  
 come forla.

Serve quando voglio costruire edifici tipo scuole.

Residenze: isolamento di facciate 40 dB(A)

Impulso acustico: più o meno l'inverso della relazione previsionale.

Esercizio: sorgente omnidirezionale, su parete comp. riflettente.

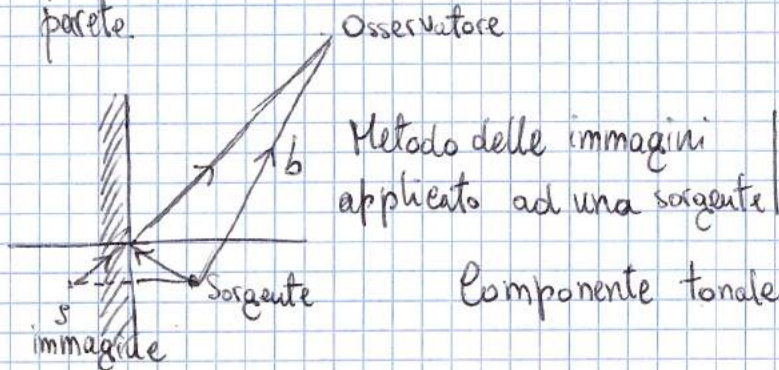


F (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
pond(A)	-16	-9	-3	0	1	1	-1
$L_w$ (dB)	91	93	93	75	80	86	79

$\rightarrow$  in teoria dovrai applicarlo alla  $L_p$ .

Possiamo sfruttare il concetto di direttività per descrivere il suono emesso da una sorgente semplice in prossimità di uno o più piani riflettenti quando possiamo assumere:

- $\rightarrow$  distanza sorgente-superficie piccola in confronto a distanza tra S-R.
- $\rightarrow$  dist S-piano riflettente  $\ll$  lung. d'onda.
- $\rightarrow$  potenza sonora della sorgente può essere assunta costante, non influenzata dalla parete.



N.P.: vale il ragionamento speculare per Ricevitore, invece di Sorgente.

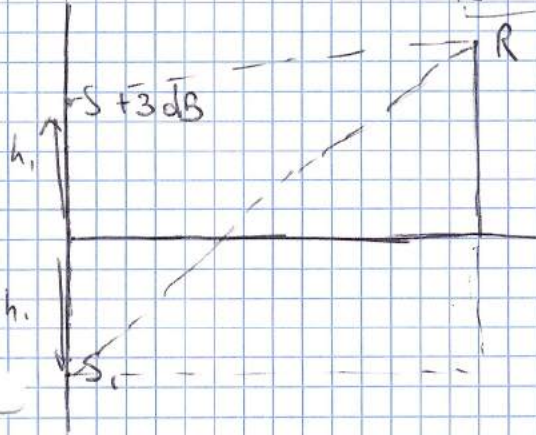
Componente tonale: per calcolare il livello di pressione complessivo devo tener conto della d.d.f.

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 11 + DI + (A\theta)$$

Vale Frequenza per Frequenza

barriere, → ISO 9637 → I  
 area II

$$L_w(\text{dB}_A) = 75 \mid 84 \mid 90 \mid 75 \mid 84 \mid 87 \mid 78 \rightarrow 84 \mid 87 \rightarrow 90$$



$$L_{TOT} = 93 \text{ dB(A)}$$

$$L_{TOT} + 3 \text{ dB} = 96 \text{ dB(A)}$$

$$SR = \sqrt{r^2 + (h_2 - h_1)^2} = 50 \text{ metri}$$

$$S_{1,R} = \sqrt{r^2 + h_1^2} = 64 \text{ metri}$$

$$\left. \begin{aligned} L_p &= 96 - 20 \log_{10} 50 - 11 = 51 \text{ dB(A)} \\ L_{p1} &= 96 - 20 \log_{10} 64 - 11 = 49 \text{ dB(A)} \end{aligned} \right\} L_p^{TOT} = 53 \text{ dB(A)}$$

M.B.: Se la superficie a terra fosse semiassorbente con  $\alpha = \frac{1}{2}$ , avrei  $L_{p1} = 46 \text{ dB(A)}$

Supponiamo ora che nel tempo diurno 58 dB(A) di rumore di fondo.

Supponendo poi che la sorgente sia accesa x 5hrs nel tempo diurno, vedere se il ricevitore rispetta i limiti di immissione su R per essere in zona 4.

Criterio differenziale: soddisfatto se 5dB

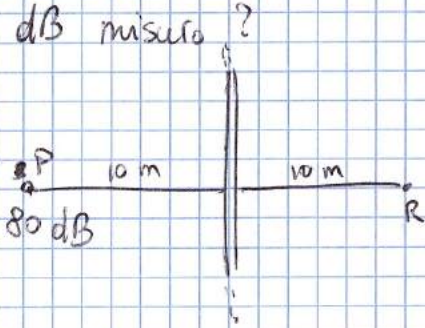
Campo diffuso: Flusso costante

↳ sorgente chiusa in una cavità a pareti riflettenti.

$$\frac{P^2}{4\rho c} = D \rightarrow \text{densità energia}$$

# LEZIONE 18: 28/01/2018

- Una sorgente ~~avvicina~~ produce 80 dB a 10 m da una parete che ha coeff. di trasmissione di -30 dB. Il ricevitore posto ad 10 m dal muro quanti dB misura?



- dovunque sia il muro, è la stessa cosa
- parliamo di livelli sonori, ma non di potenze
- il problema è malposto, poiché non abbiamo informazioni sulla sorgente

→ Devo dare la distanza  $q'$  della sorgente dal punto P:  $q' = 20 \text{ m}$ .

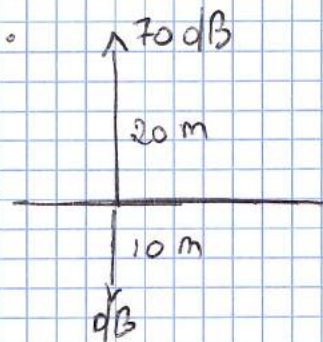
Posso ricavare  $L_w$ :  $L_w = L_p + 11 + 20 \log q' = 80 + 11 + 20 \log 20$   
 $= 91 + 7.6 = 98.6 \text{ dB}$

$L_p(\text{Muro}) = L_w - 11 - 20 \log 20 = 98.6 - 11 - (20 \log 2 + 20 \log 10) = 73 \text{ dB}$

$\log 2 + \log 2 = (0,3 + 0,3) = 0,6 \times 10 = 60 \times 2 =$

~~73 dB~~

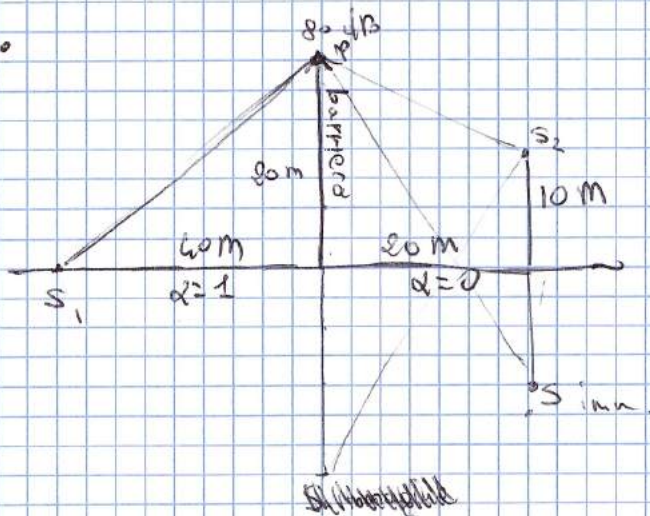
Tolgo alt. muro:  $L_p(+t) = 43 \text{ dB}$



$$L_w - 8 - 10 \log r = L_p$$

$$L_p(10) + 10 \log 10 = L_p(20) + 10 \log(20)$$

$$L_p(10) = L_p(20) + 3 \text{ dB}$$



Sappiamo inoltre che

$S_1$  è lineare, il contributo delle 2  $S_2$  isotropa, in  $P$  è lo stesso.

$$L_{PS_2} = L_w - 11 - 20 \log r_{S_2}$$

$$L_{PS_1} = L_w - 8 - 10 \log r_{S_1}$$

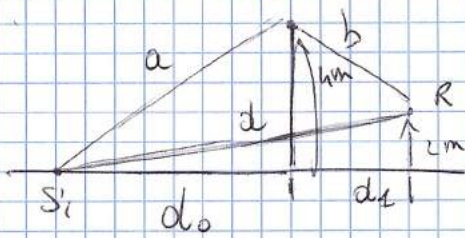
$$L_{PS_2} = L_w - 10 \log r_{S_2} - 11$$

$$L_p = 10 \log \left( 10^{\frac{(L_w - A)/10}{10}} + 10^{\frac{(L_w - B)/10}{10}} + 10^{\frac{(L_w - C)/10}{10}} \right)$$

$$10^8 = 10^{\frac{Lw-A}{10}} + 10^{\frac{Lw-B}{10}} + 10^{\frac{Lw-C}{10}} = 10^{\frac{Lw}{10}} (10^{-A} + 10^{-B} + 10^{-C})$$

$$\frac{10^8}{D} = 10^{\frac{Lw}{10}} \rightarrow \log\left(\frac{10^8}{D}\right) = \frac{Lw}{10} \rightarrow \boxed{Lw = 10(8 + \log D)}$$

- Prendiamo una sorgente lineare, ed una barriera a distanza  $d$  dalla strada. Al di là della barriera è presente un ricevitore, ad  $h = 2m$  dal suolo.



$$f = 1 \text{ KHz}$$

$$d_0 = 5 \text{ m}$$

$$d_1 = 4 \text{ m}$$

$$d = \sqrt{(5+4)^2 + 4^2} = 9,80 \text{ m}$$

$$a = \sqrt{5^2 + 4^2} = 6,4 \text{ m}$$

$$b = \sqrt{4^2 + 2^2} = 4,5$$

$$N = \# \text{ Fresnel} = \frac{d - (a+b)}{\lambda} = -10 \rightarrow |N| = 10$$

$$\frac{\lambda}{2} = 0,17 \text{ m}$$

guardando sull'"abaco" trovo che l'insertion loss è +20dB

$$f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{340 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} = 0,34 \text{ m}$$

Facendo l'ipotesi che il pavimento sia completamente assorbente:

$$L_p^1 = \text{livello sonoro in R ante-operam} = Lw - 8 - 10 \log \sqrt{9^2 + 4^2}$$

$$L_p^2 = \text{quello calcolato prima.}$$

|-|

- Indice isolamento di facciate:

$$D_{2m, nT, w} = L_{Aep, 2m} - L_{int} + 10 \log \frac{T_{50}}{10} \rightarrow \text{Deve per legge essere di } 60 \text{ dB.}$$

$$\text{Per il traffico stradale: } L_i \approx L_{e, 2m} - D_{2m, nT, w} + 10 \log \frac{500 \text{ Hz}}{160 \text{ Hz}}$$