

Soluzione compito

10/04/2018

Esercizio 1

I modelli principali trattati nel corso delle lezioni sono il modello CSTB, il CETUR, il CNR e il CRTN.

Il modello CSTB è il risultato di un *best fit*. Esprime il livello di rumore stradale L_{eq} in funzione del flusso veicolare Q e della larghezza della strada L :

$$L_{eq} = 10 \log Q - 6.5 \log L + 51 \quad [\text{dB(A)}]$$

Il modello CETUR è leggermente più evoluto, in quanto distingue tra veicoli leggeri e pesanti e introduce una serie di termini correttivi per tenere in considerazione effetti locali quali tipologia di manto stradale, riflessioni dovute ad edifici circostanti, pendenza della strada, presenza di incroci con strade secondarie e velocità media dei veicoli:

$$L_{eq} = 10 \log(Q_l + EQ_p) - 10 \log L + 55 + k_{corr} \quad [\text{dB(A)}]$$

Il modello CNR applica la stessa filosofia del CETUR, fissando il fattore di equivalenza ad 8:

$$L_{eq} = 10 \log(Q_l + EQ_p) - 10 \log \left(\frac{25}{d} \right) + \Delta L \quad [\text{dB(A)}]$$

Il CRTN, invece, è un modello simile ai precedenti che però fornisce una stima del L_{10} .

Esercizio 2

L'articolo 4 della LQ 477/95 impone ai comuni la classificazione del territorio in 6 zone acusticamente omogenee, secondo i criteri dettati dalla regione di appartenenza e tenendo conto delle preesistenti destinazioni d'uso già individuati dagli strumenti urbanistici in vigore.

Nonostante siano le regioni a dettare l'iter amministrativo dei piani di zonizzazione, le procedure amministrative di approvazione del piano prevedono comunque le seguenti fasi comuni:

1. adozione del piano con provvedimento amministrativo del comune e contestuale deposito per pubblica visione;
2. trasmissione del piano ad organi competenti (Regione, Provincia, Comuni confinanti, ARPA, etc.) per ricevere eventuali osservazioni e pareri;
3. approvazione del piano da parte del comune (oppure dalla regione, in caso di inerzia dei comuni, come stabilito dall'articolo 4 della LQ 447/95).

Il piano di risanamento acustico è definito nell'art. 7 della LQ 447/95, ed è necessario nel caso di superamento dei valori di attenzione

I piani di risanamento devono contenere un'indicazione di:

- tipologia ed entità dei rumori presenti;
- soggetti a cui compete l'intervento;
- priorità;
- stima degli oneri finanziari;
- eventuali misure cautelari.

Esercizio 3

Dato il rumore di fondo uguale a 50 dB(A), i livelli misurati ogni minuto sono:
53 53 53 61 61 90 80 80 80 70 70 50 dB(A)

ordinati in verso crescente: 50 53 53 53 61 61 70 70 80 80 80 90.

La scelta degli intervalli è abbastanza arbitraria, ma la larghezza è fissata dalla traccia a 10 dB(A).

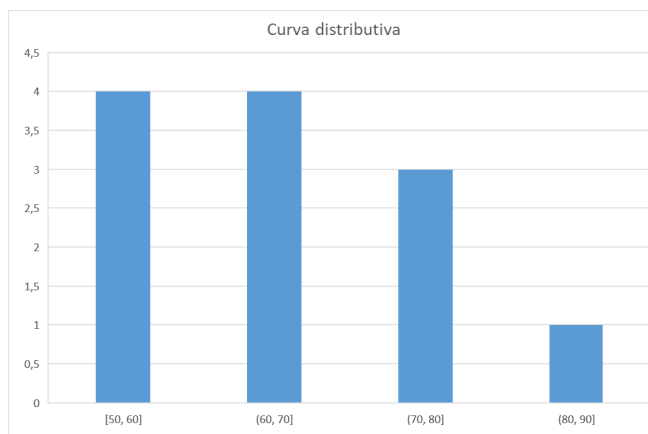


Figure 1: asse x : classi istogramma [dB(A)], asse y frequenze assolute

Una volta costruita la curva distributiva, quella cumulativa è ottenibile mediante le formule note (vedi tabella).

	[50-60]	(60-70]	(70-80]	(80-90]
f	4	4	3	1
cum.	4	8	11	12
N-cum	8	4	1	0
%	67	33	8.3	0

Table 1: frequenze assolute, cumulate e curva cumulativa

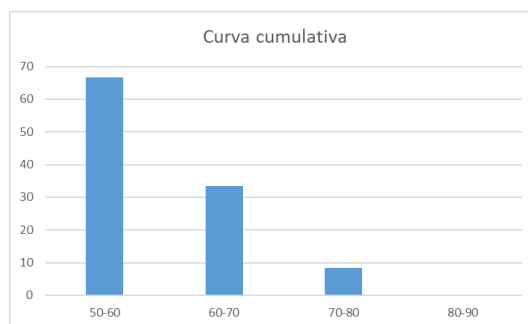


Figure 2: asse x : classi istogramma [dB(A)], asse y frequenze assolute

La stima dei livelli statistici L_{10} ed L_{90} si effettua mediante il calcolo della posizione del dato superato nel 90 e nel 10% dei casi:

$$I_{90} = 13 \cdot 0.9 = 11.7$$

L'11° dato della serie ordinata è 80 dB(A), quindi $L_{10} = 80 + 0.7 \times (90 - 80) = 87$ dB(A).

$I_{10} = 13 \cdot 0.1 = 1.3$, pertanto $L_{90} = 50 + 0.3 \times (53 - 50) = 50.9 \approx 51$ dB(A).

Esercizio 4

Per sorgenti puntiformi, vale la legge: $I = \frac{W}{4\pi r^2}$ dove I è l'intensità acustica e r è la distanza tra sorgente e punto di misura. Passando ai livelli:

$$10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{W}{4\pi r^2} \frac{1}{W_0} \right) \rightarrow L_I = L_w - 20 \log r - 11 = L_w - A_{g,s}$$

Per sorgenti lineari, invece, si ha $I = \frac{W}{2\pi r h} = \frac{\sigma}{2\pi r}$ dove σ è la potenza per unità di lunghezza. In dB, si scrive:

$$L_I = L_{w'} - 10 \log r - 8 = L_{w'} - A_{g,l}$$

dove $L_{w'}$ è il livello di potenza per unità di lunghezza.

Come passo successivo, si può trovare la relazione tra il livello di pressione (la quantità misurata dai fonometri) e il livello di intensità.

Dato che $I = \frac{p_{eff}^2}{\rho c}$, otteniamo

$$L_I = 10 \log \left(\frac{p_{eff}^2}{\rho c} \frac{p_0^2}{p_0^2} \frac{1}{I_0} \right) = 20 \log \left(\frac{p_{eff}}{p_0} \right) + 10 \log \left(\frac{p_0^2}{I_0 \rho c} \right) \approx L_p$$

Esercizio 5

Punto a)

Le sorgenti del cantiere, approssimate a puntiformi e tutte nello stesso punto, sono accese secondo lo schema in tabella.

Orario	Sorgenti	L_W [dB(A)] potenza sorgente	$L_{eq}(R)$ livello orario al ricevitore
6-7			50
7-8			50
8-9			50
9-10	scav	130	83
10-11	scav., mar.	140	93
11-12	scav.	130	83
12-13	betoniera	99	54
13-14	betoniera	99	54
14-15			45
15-16			45
16-17	scav., mar.	140	93
17-18			55
18-19			55
19-20			55
20-21			55
21-22			55

Table 2: sorgenti accese e relativo residuo

Per il calcolo del livello in banda larga di ogni sorgente, basta ricordare alcune semplici regole della somma tra livelli. Ad esempio, per la scavatrice:

$$L_{W,s}(A) = 10 \log(2 \cdot 10^{10.1} + 2 \cdot 10^{12.7} + 10^{11.1} + 10^9) \approx 3 + 127 \text{ dB(A)} = 130 \text{ dB(A)}$$

Allo stesso modo, per le altre sorgenti: $L_{W,b}(A) = 99 \text{ dB(A)}$ e $L_{W,mp}(A) = 140 \text{ dB(A)}$.

Il livello al ricevitore prodotto dalle singole sorgenti si ottiene utilizzando la formula ricavata nell'esercizio 4, utilizzando $A_{g,s} = 20 \log d + 11 = 47 \text{ dB(A)}$, pertanto:

$$\begin{cases} L_{p,s}(R) = 83 \text{ dB(A)} \\ L_{p,b}(R) = 52 \text{ dB(A)} \\ L_{p,mp}(R) = 93 \text{ dB(A)} \end{cases}$$

Ora è possibile calcolare il livello equivalente orario al ricevitore, tenendo conto delle regole sulla somma dei livelli, e quindi:

$$L_{eq,d} = 10 \log\left(\frac{1}{16} (3 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^{8.3} + 2 \cdot 10^{9.3} + 2 \cdot 10^{5.4} + 3 \cdot 10^{4.5} + 4 \cdot 10^{5.5})\right) = 84 \text{ dB(A)}$$

Questo livello, risulta quindi oltre il valore limite di immissione per un ricevitore in classe IV.

Anche il limite differenziale non è rispettato. Si ricorda che il livello differenziale ai sensi del DM 16/03/98 art. va riferito ai tempi di misura T_M . Il tempo di misura dev'essere riferito alla durata della sorgente disturbante.

Per quanto concerne il valore limite di emissione, se si segue la definizione data dalla LQ 447/95, va confrontato con il livello prodotto dalla sorgente *nei pressi della sorgente stessa*.

In casi pratici, tuttavia, l'affermazione del DPCM 14/11/1997 fa sì che venga considerato il ricevitore più vicino, ed in questo caso il significato di livello di emissione va a coincidere con quello di livello di immissione di singola sorgente, che nel problema in esame vale:

$$L_{eq,d,s} = 10 \log(2(10^{8.3} + 10^{9.3} + 10^{5.2})) - 12 = 3 + 93 - 12 = 84 \text{ dB(A)}$$

Il livello di emissione è quindi superiore al valore limite in classe IV. Si nota che, dato che il livello della sorgente misurato nei pressi del ricevitore è molto più elevato del rumore residuo, il livello di emissione della sorgente è numericamente uguale al livello di immissione.

Punto b)

L'inserimento di una barriera comporta un'attenuazione dei livelli misurati al ricevitore dipendenti dalla frequenza. Il numero di Fresnel è calcolabile noti i cammini A , B e la distanza d tra sorgente e ricevitore: $N = \frac{2\delta}{c} f = \frac{2(A+B-d)}{c} f$.

Nel problema in esame, $A = \sqrt{25 + 4} = 5.38$ m, $B = \sqrt{55^2 + 2^2} = 55$ m e $d = \sqrt{60^2 + 4^2} = 60.1$ m, da cui: $N = 2 \times 0.28/340 \times f$.

freq [Hz]	$L_w(A)$ [dB(A)]			N	A_{barr}	A_{geo}
	scavatrice	scavatrice+martello	betoniera			
250	101	118	71	0.41	11	47
500	127	129	83	0.82	13	47
1000	127	137	96	1.65	16	47
2000	111	137	96	3.29	18	47
4000	101	121	81	6.59	21	47
8000	89	92	79	13.7	24	47
L_w	130	140	99	//	//	//

(a)

$L_p(R)$ [dB(A)]			
freq [Hz]	scavatrice	scavatrice+martello	betoniera
250	trasc	trasc	trasc
500	67	69	trasc
1000	64	74	33
2000	trasc	72	31
4000	trasc	trasc	trasc
8000	trasc	trasc	trasc
$L_p(R)$	69	77	35

(b)

Table 3: calcolo delle attenuazioni in presenza di barriera

Quindi, il livello equivalente relativo al periodo diurno, nel caso di inserimento di barriera, è pari a: $L_{eq,d} = 10 \log (5 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^{6.9} + 2 \cdot 10^{7.7} + 3 \cdot 10^{4.5} + 4 \cdot 10^{5.5}) - 10 \log 16 = 10 \log (5 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^{6.9} + 2 \cdot 10^{7.7} + 3 \cdot 10^{4.5} + 4 \cdot 10^{5.5}) - 12 = 68 \text{ dB(A)}$

Esercizio 1: approfondimenti

I modelli principali trattati nel corso delle lezioni sono il modello CSTB, il CETUR, il CNR e il CRTN.

Il modello CSTB è il risultato di un *best fit*. Esprime il livello di rumore stradale L_{eq} in funzione del flusso veicolare Q e della larghezza della strada L :

$$L_{eq} = 10 \log Q - 6.5 \log L + 51 \quad [\text{dB(A)}]$$

I limiti fondamentali di questo modello sono l'assenza di una dipendenza del rumore dalla velocità, l'assenza di una distinzione tra veicoli leggeri e pesanti ed una errata valutazione del contributo a flusso nullo: una strada di larghezza $L = 10$ m produce, secondo questo modello, un livello di rumore pari a 44.5 dB(A)!

Il modello CETUR è un modello più evoluto rispetto al CSTB. La filosofia di base è la stessa, tuttavia tiene conto della distinzione tra veicoli leggeri e pesanti,

e inserisce una serie di termini correttivi per tenere in considerazione effetti locali quali tipologia di manto stradale, riflessioni dovute ad edifici circostanti, pendenza della strada, presenza di incroci con strade secondarie e velocità media dei veicoli:

$$L_{eq} = 10 \log(Q_l + EQ_p) - 10 \log L + 55 + k_h + k_v + k_g + k_i + k_r \quad [\text{dB(A)}]$$

dove Q_l è il flusso di veicoli leggeri, Q_p il flusso di veicoli pesanti ed E un fattore di equivalenza tra le due tipologie di veicoli (n.ro di leggeri a cui equivale un singolo mezzo pesante), L è la larghezza dell'infrastruttura e:

- $k_h = \begin{cases} -2 \frac{(h-4)}{L} & h > 4 \text{ m} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$ è la correzione per l'altezza h degli edifici circostanti
- $k_v = \begin{cases} 1 \frac{\text{dB(A)}}{10 \text{ km/h}} & v > 60 \text{ km/h} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$ è la correzione per la velocità v dei veicoli
- $k_r = \begin{cases} 10 + 3 \cdot m\% & m\% > 2\% \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$ è la correzione per la pendenza $m\%$ della strada
- $k_c = L_{eq,2} - (3 - 0.1 \cdot x)$ è il termine correttivo in caso di presenza di incroci con strade secondarie nelle vicinanze. $L_{eq,2}$ è il livello di rumore prodotto dalla strada secondaria ed x è la distanza dall'incrocio
- k_g dipende dalla tipologia di manto stradale

Il modello CNR considera il traffico come una sorgente lineare posta lungo la linea di mezz'aria e stima il livello di rumore misurato sul piano stradale in corrispondenza della facciata degli edifici. Anche questo modello presenta una serie di termini correttivi, simili al modello precedente. Fissa inoltre il fattore di equivalenza $E = 8$.

$$L_{eq} = 10 \log(Q_l + EQ_p) - 10 \log \left(\frac{25}{d} \right) + 35.1 + \Delta L_v + \Delta L_s + \Delta L_g + \Delta L_{vb} + \Delta L_h + \Delta L_f + \Delta L_b \quad [\text{dB(A)}]$$

dove L_{eq} , Q_l e Q_p hanno lo stesso significato delle formule precedenti e d è la distanza geometrica tra la linea di mezz'aria e il punto di misura. I vari termini correttivi tengono conto di:

- velocità media: $\Delta L_v = \begin{cases} 1 \frac{\text{dB(A)}}{10 \text{ km/h}} & v > 50 \text{ km/h} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$
- manto stradale: $\Delta L_s = \begin{cases} -0.5 & \text{liscio} \\ 0 & \text{ruvido} \\ +1.5 & \text{cemento} \\ +4 & \text{lastricato, scabro} \end{cases} \quad [\text{dB(A)}]$

- pendenza: $\Delta L_g = \begin{cases} 0.6 \cdot (m\% - 5) & m\% > 5\% \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$ [dB(A)]
- situazione traffico: $\Delta L_{vb} = \begin{cases} +1.0 & \text{prossimit\`a semafori} \\ -1.5 & v < 30 \text{ km/h} \end{cases}$
- distanza punto di misura-strada ΔL_h per la propagazione del suono
- riflessioni da pareti retrostanti il microfono $\Delta L_b = +2.5$ dB(A) e sul lato opposto al lato di misura $\Delta L_f = +1.5$ dB(A).

Il modello CRTN consente la valutazione del livello statistico L_{10} del rumore del traffico stradale, secondo la formula:

$$L_{10} = 10 \log Q + 33 \log \left(v + 40 + \frac{500}{v} \right) + 10 \log \left(1 + \frac{5p}{v} \right) + 0.3G - 27.6$$

dove Q è il flusso medio di veicoli, v la velocità media e p la percentuale di veicoli pesanti facenti parte del flusso Q , G è la pendenza.