

# Soluzione compito 15/02

## Esercizio 1

Le seguenti definizioni sono tratte dall'articolo 2 della LQ 447/95:

- a) *Valore limite di emissione*: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa; sono indicati nel DPCM 14/11/97 - tabella B;
- b) *Valore limite di immissione*: il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori. Il comma 3 dell'articolo 2 prevede la distinzione del valore limite di immissione in *differenziale*, determinato cioè con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo, e *assoluto*, determinato con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale; i limiti sono riportati nella tabella C e nell'articolo 3 del DPCM 14/11/97;
- c) *Valore di qualità*: valore di rumore da conseguire nel breve, medio e lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla LQ 447/95. Sono riportati nel DPCM 14/11/97 - tabella D;
- d) *Valore di attenzione*: il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente. Sono riportati nell'art. 6 del DPCM 14/11/97.

## Esercizio 2

Il riconoscimento delle componenti tonali ed impulsive è descritto nell'allegato B del DM 16/03/98.

Ai fini del riconoscimento dell'impulsività di un evento, devono essere eseguiti i rilevamenti di  $L_{AI_{max}}$ , il massimo del livello di pressione con costante di tempo impulse ed  $L_{AS_{max}}$ , ovvero il massimo registrato con costante di tempo slow.

L'evento è considerato impulsivo se sono verificate le seguenti condizioni:

- l'evento è ripetitivo;
- la differenza tra  $L_{AI_{max}}$  ed  $L_{AS_{max}}$ , il massimo del livello di pressione con costante di tempo impulse ed  $L_{AS_{max}}$ , ovvero il massimo registrato con costante di tempo slow, è superiore a 6 dB;
- la durata dell'evento a -10 dB dal valore  $L_{AF_{max}}$  è inferiore a 1 s.

L'evento sonoro impulsivo si considera ripetitivo quando si verifica almeno 10 volte nell'arco di un'ora nel periodo diurno ed almeno 2 volte nell'arco di un'ora nel periodo notturno. La ripetitività deve essere dimostrata mediante registrazione grafica del livello  $L_{Af}$  (livello con costante di tempo fast) effettuata durante il tempo di misura.

Al fine di individuare la presenza di Componenti Tonali (CT) nel rumore, si effettua un'analisi spettrale per bande di 1/3 di ottava. Si considerano esclusivamente le CT aventi carattere stazionario nel tempo ed in frequenza. Se si utilizzano filtri sequenziali si determina il minimo di ciascuna banda con costante di tempo Fast. Se si utilizzano filtri paralleli, il livello dello spettro stazionario è evidenziato dal livello minimo in ciascuna banda.

Per evidenziare CT che si trovano alla frequenza di incrocio di due filtri ad 1/3 di ottava, possono essere usati filtri con maggiore potere selettivo o frequenze di incrocio alternative. L'analisi deve essere svolta nell'intervallo di frequenza compreso tra 20Hz e 20 kHz.

Si è in presenza di una CT se il livello minimo di una banda supera i livelli minimi delle bande adiacenti per almeno 5dB. La CT viene penalizzata soltanto se tocca una isofonica eguale o superiore a quella più elevata raggiunta dalle altre componenti dello spettro; è prevista un'ulteriore penalizzazione per componenti a bassa frequenza (20-200 Hz).

### Esercizio 3

Il tempo di riverbero è definito come il tempo in cui il livello sonoro all'interno di un ambiente in condizioni di campo riverberante decada di 60 dB dal livello prodotto da una sorgente stazionaria. In caso non sia possibile misurare il decadimento di 60 dB, si effettua un'estrapolazione basata su decadimenti più corti (EDT, T20, T30...).

La formula di Eyring - Knudsen è

$$T_{60} = - \frac{kV}{S \log(1 - \alpha) + 4mV}$$

dove  $V$  è il volume della stanza,  $S$  la superficie laterale,  $\alpha$  il coefficiente d'assorbimento medio delle superfici e  $m$  il coefficiente d'assorbimento dell'aria.

Se si trascura l'assorbimento dell'aria, ed  $\alpha \ll 1$ , otteniamo la formula di Sabine a partire dallo sviluppo  $\log(1 + x) \approx x$ :

$$T_{60} = k \frac{V}{\alpha S}$$

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{288}{120 \times 0.01 + 192 \times 0.2} = 1.17 \text{ s}$$

(NB: se si fosse trascurato il contributo della superficie con assorbimento 0.01 si sarebbe ottenuto  $T_{60} = 1.2$  s, valore molto vicino).

Inserendo il pannello con coefficiente d'assorbimento pari a 0.8, si ottiene

$$T_{60} = 0.161 \times \frac{288}{120 \times 0.01 + 192 \times 0.2 + 10 \times 0.8} = 0.97 \text{ s}$$

L'ambiente è pertanto adeguato all'utilizzo come sala da lettura, dato che  $T_{60} < 1$  s.

## Esercizio 4

Per produrre la curva distributiva, conviene ordinare riscrivendoli incolonnati nei relativi intervalli: in questo modo, la curva distributiva è praticamente già svolta (con minime probabilità d'errore). La convenzione vuole, al solito che per l'attribuzione di un dato all'intervallo valga la regola  $] -$  intervallo aperto a sinistra, chiuso a destra.

La curva cumulativa si ottiene calcolando le frequenze cumulate, riportate nella tabella:

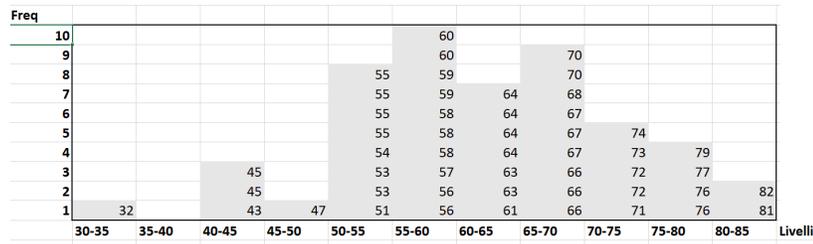


Figure 1: curva distributiva esercizio 4

	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85
f	1	0	3	1	8	10	7	9	5	4	2
cum.	1	1	4	5	13	23	30	39	44	48	50
N-cum	49	49	46	45	37	27	20	11	6	2	0
%	98	98	92	90	74	54	40	22	12	4	0

Table 1: frequenze cumulate e assolute esercizio 4

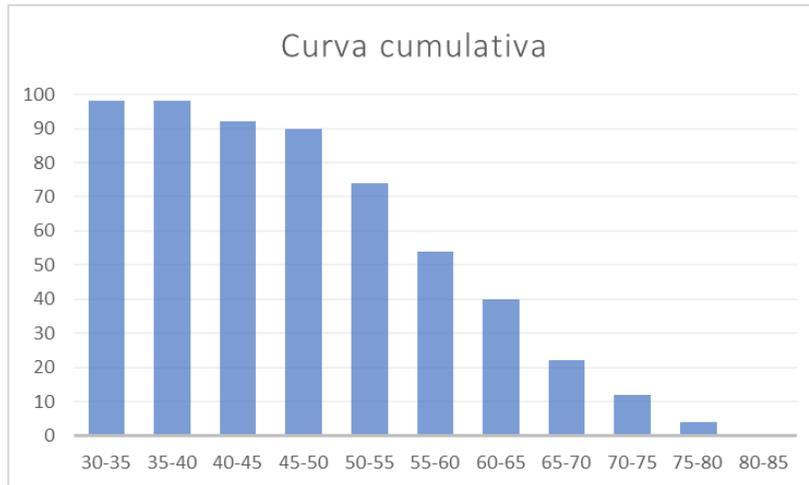


Figure 2: curva cumulativa esercizio 4

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

$$I_{90} = (51) \cdot 0.9 = 45.9$$

Il 45° dato è 76 dB(A), e la parte decimale non contribuisce perché il 46° dato è sempre 76:  $0.9 \times (76 - 76) = 0$  dB(A).

Quindi  $L_{10} = 76$  dB(A).

Per  $L_{90}$ :  $I_{10} = 5.1$ , quindi  $L_{90} = 47 + (51 - 47) \cdot 0.1 = 47.4$  dB(A).

## Esercizio 5

### Punto a)

Il calcolo del livello in banda larga della potenza sonora pesata A si effettua sommando tutti i contributi in banda d'ottava, ricordando che due livelli uguali producono un livello 3 dB più alto dei due presi singolarmente. Si noti che la banda di 8000 Hz produce un contributo trascurabile al livello in banda larga, dato che è inferiore di almeno 10 dB delle altre bande.

Il livello di potenza in banda larga, pesato A è pari a  $L_w(A) = 91$  dB(A).

Nella configurazione sono presenti due sorgenti immagine,  $S'$  ed  $S''$ . La prima è posta nello stesso punto di  $S$ , ed è dovuta alla riflessione dell'energia sonora dal pavimento. La seconda è posta specularmente ad  $S$ , considerando come piano di riflessione la parete verticale.

Dato che il pavimento ha un coefficiente d'assorbimento pari a 0.25, l'intensità riflessa sarà  $I_r = 0.75I_i = \frac{3}{4}I_i$ . Il livello di potenza sonora da assegnare alla sorgente immagine  $S'$  sarà quindi:  $L_w(S') = L_w(S) + 10 \log \frac{3}{4} = L_w(S) - 1.25$  dB(A) = 89.75 dB(A).

Dato che le due sorgenti sono praticamente nello stesso punto, il livello complessivo generato in  $S$  è:  $L_w(S_{tot}) = 10 \log(10^{9.1} + 10^{8.975}) = 93.4 \text{ dB(A)}$ .

La sorgente immagine  $S''$  invece è posta come in figura, e, siccome la parete è completamente riflettente:  $L_w(S'') = L_w(S_{tot})$ .

Le distanze sorgente-ricettore sono:  $d_{S_{tot}R} = \sqrt{50} = 7.07 \text{ m}$  e  $d_{S''R} = \sqrt{125} = 11.1 \text{ m}$ .

Utilizzando la formula per la propagazione sferica  $L_P(r) = L_w - 20 \log r - 11$  si ottiene:

$$\begin{cases} L_P(S_{tot}R) = 65.4 \text{ dB(A)} \\ L_P(S''R) = 61.5 \text{ dB(A)} \end{cases} \rightarrow L_P(R) = 10 \log(10^{6.54} + 10^{6.15}) = 66.9 \text{ dB(A)}$$

### Punto b)

$$L_{eq\ d} = 10 \log\left(\frac{1}{16} (5 \times 10^{6.69} + 4 \times 10^5 + 7 \times 10^4)\right) = 10 \log(5 \times 10^{6.69} + 4 \times 10^5 + 7 \times 10^4) - 10 \log 16 = 61.9 \text{ dB(A)}$$

### Punto c)

Dapprima si calcola il numero di Fresnel  $N = \frac{2\delta}{\lambda}$  associato ad ogni banda d'ottava. L'inserimento della barriera comporta una variazione di cammino geometrico pari a  $\delta = A + B - d = (5.59 + 2.5 - 7.07) \text{ m} = 1.02 \text{ m}$ .

Dalla relazione  $c = \lambda f$ , si ricava:  $N = 2\delta \frac{f}{c}$ , quindi  $N_{2f} = 2N_f$ .

Utilizzando la formula di Maekawa per sorgenti puntiformi  $A_{barr} = 10 \log(3 + 20N)$ , otteniamo i valori in tabella.

Dai valori in tabella, il livello equivalente risulta:  $L_P(R) = 10 \log(2 \cdot 10^{3.6} + 10^{3.7} + 10^{3.1} + 10^{3.4}) = 42.2 \text{ dB(A)}$ .

freq. [Hz]	$L_w(A)$ [dB(A)]	$N$	$A_{barr}$	$-20 \log r - 11$	$L_p(R) = L_w - 20 \log r - 11 - A_{barr}$
250	79	1.5	15	28	36
500	82	3	17	28	37
1000	79	6	20	28	31
2000	85	12	23	28	34
4000	88	24	24	28	36
8000	69	48	24	28	trasc.

Table 2: attenuazioni per banda d'ottava, con barriera.