

Inquinamento acustico



Deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi.

E' ritenuto una delle cause del peggioramento della qualità della vita. Il 25 % della popolazione della UE manifesta disturbi legati al fastidio prodotto dal rumore ed una percentuale compresa tra il 5 % ed il 15 % soffre di disturbi del sonno causati dal rumore.

Effetti del rumore

alterazioni non reversibili o non completamente reversibili, obiettabili dal punto di vista clinico e/o anatomopatologico

effetti di disturbo, alterazioni temporanee delle condizioni psicofisiche che siano chiaramente obiettabili, determinando effetti fisiopatologici ben definiti

sensazione generica di disturbo o fastidio

Effetti del rumore

Effetti uditivi

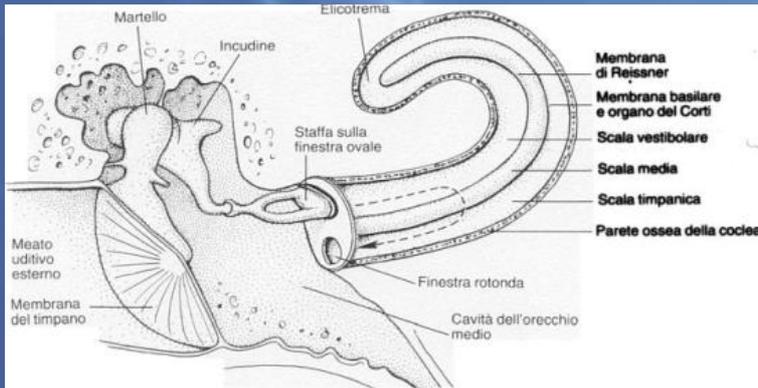
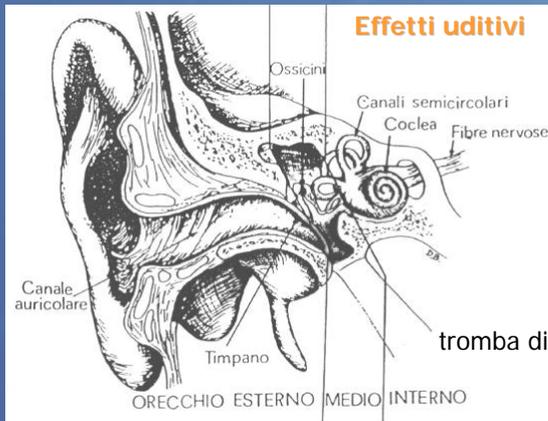
quantificabili attraverso esami audiometrici determinati da esposizione ad elevati livelli di rumore reversibili se la lesione è funzionale irreversibili se il danno è organico

(ipoacusia, acufeni, lesioni al timpano, ...)

Effetti extra-uditivi

non riguardano direttamente l'apparato uditivo dipendono dalla sensibilità del soggetto sono legati ad esposizioni prolungate nel tempo

(interferenza con le fasi del sonno, interazione con il sistema endocrino, nervoso centrale, con l'apparato cardiovascolare, ...)



sostanza reticolare
 ↓
 stato di vigilanza della corteccia

↓
 Lobo temporale della corteccia cerebrale (analisi del suono)

← Effetti extrauditivi

Onde acustiche

onde longitudinali di pressione / ciò che si propaga è una fluttuazione di pressione necessitano di un mezzo (aria, acqua, ...) per propagarsi

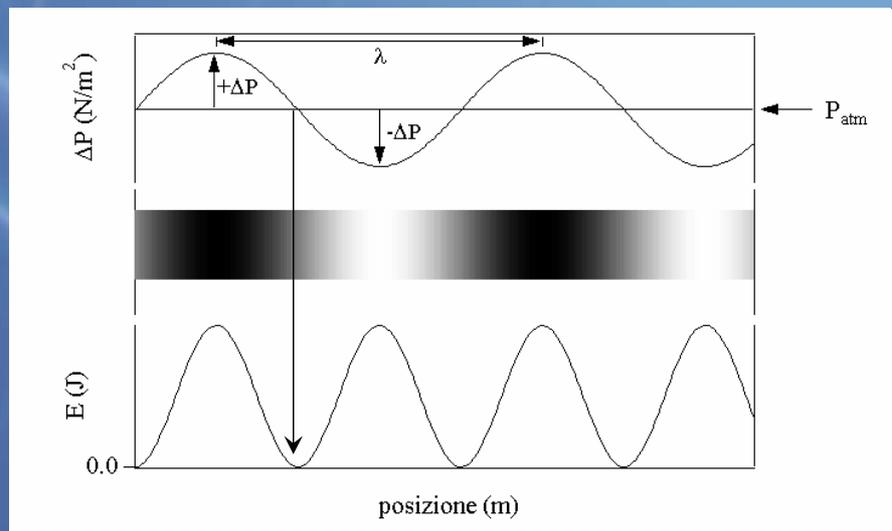
$$\lambda f = c_s \quad (c_s = 343 \text{ m/s, nell'aria})$$

$$3 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} < \Delta P < 60 \text{ Pa} \quad P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa} \quad A = \frac{\Delta P}{c_s \rho 2\pi f}$$

$$\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{in acqua: } \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3, c_s = 1400 \text{ m/s})$$

successione di compressioni e rarefazioni del mezzo

$$I = \frac{(\Delta P)^2}{\rho c_s}$$



Onde acustiche

$$3 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} < \Delta P < 60 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3$$

$$I = \frac{(\Delta P)^2}{\rho c_s} \longrightarrow I_{\text{min}} = \frac{(3 \cdot 10^{-5})^2}{\rho c_s} \quad I_{\text{max}} = \frac{(60)^2}{\rho c_s} \longrightarrow \frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{min}}} = \frac{(60)^2}{(3 \cdot 10^{-5})^2} = 4 \cdot 10^{12}$$

attenzione !

- la sensazione sonora raddoppia quando l'intensità del suono quadruplica
- 12 ordini di grandezza sono troppi per una scala lineare !

si preferisce quindi utilizzare una scala di tipo logaritmico per esprimere l'intensità di un suono

$$I_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$$

Intensità minima apprezzabile ad una frequenza pari a 1000 Hz

Livello di intensità sonora

... qualche dato in più.

$$3 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} < p < 60 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3$$

$$A = \frac{p}{c_s \rho 2\pi f}$$

$$\longrightarrow A = 10^{-11} \text{ m}$$

$$\longrightarrow A = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

notevole sensibilità !

$$F = p S$$

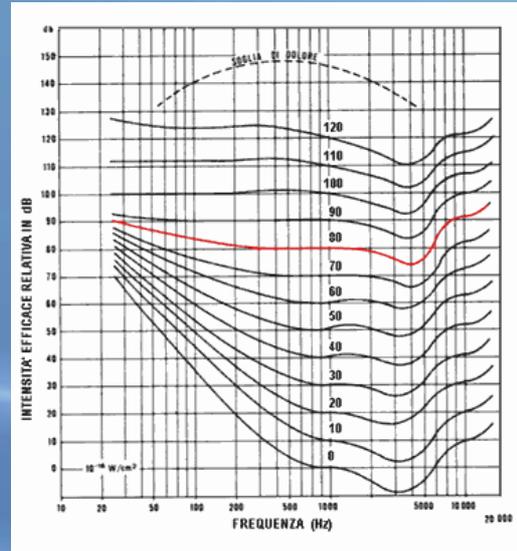
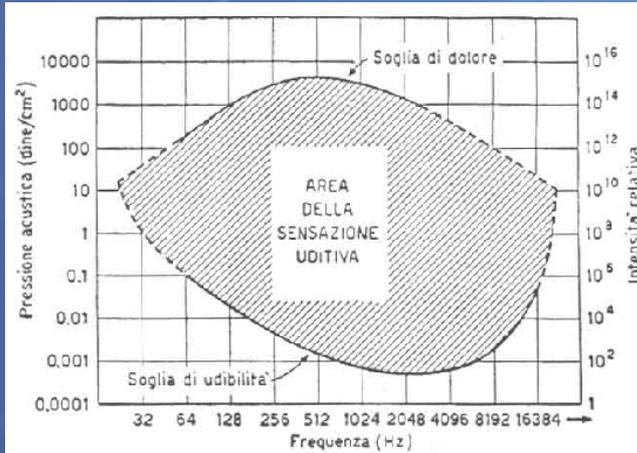
$$S = 25 \text{ mm}^2$$

$$\longrightarrow 7.5 \cdot 10^{-10} \text{ N}$$

$$\longrightarrow 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

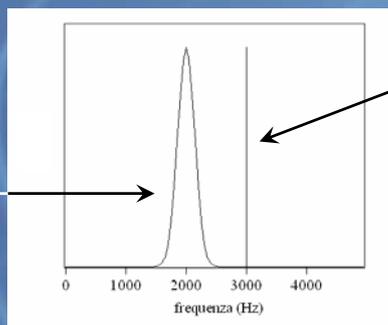
notevole sensibilità !

La sensibilità dell'orecchio cambia con la frequenza



Nel grafico si osservano curve lungo le quali la sensazione sonora rimane costante

Un suono "puro" è prodotto da oscillazioni di pressione che avvengono ad una singola frequenza. Matematicamente lo rappresentiamo mediante una funzione di tipo sinusoidale.



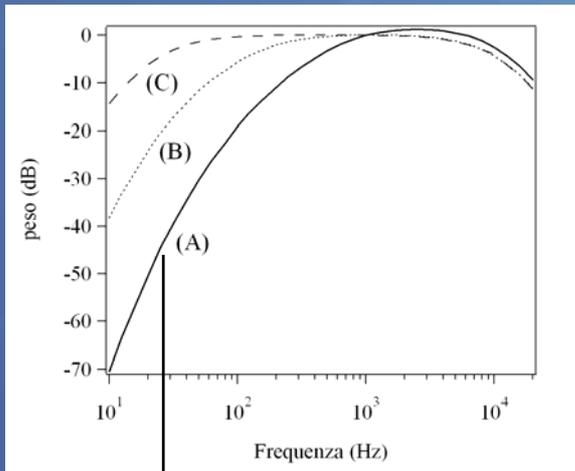
$$p(f, t) = p_o \sin(f t)$$

In generale, invece, un suono è composto da oscillazioni di pressione che avvengono a diverse frequenze. Matematicamente, quindi, lo rappresentiamo mediante una COMBINAZIONE di funzioni di tipo sinusoidale.

$$p(t) = \sum_f p_o(f) \sin(f t)$$

La sensazione prodotta da un suono su di un soggetto dipende dal peso relativo che le singole componenti pure hanno, all'interno del suono stesso, oltre che dalla sensibilità del soggetto.

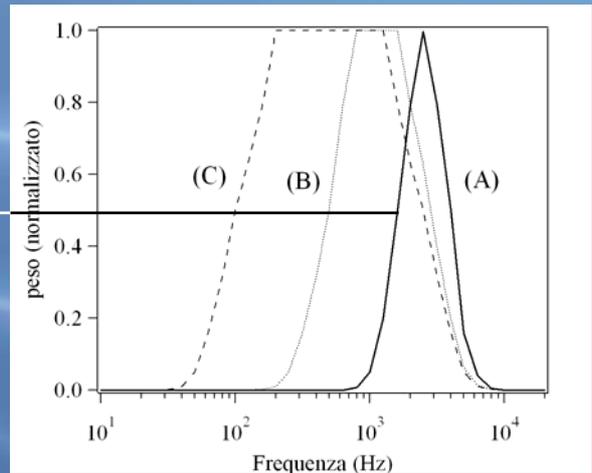
$$p_{eff}(t) = \sum_f p_o(f) \sin(f t) \text{ sens}(f)$$



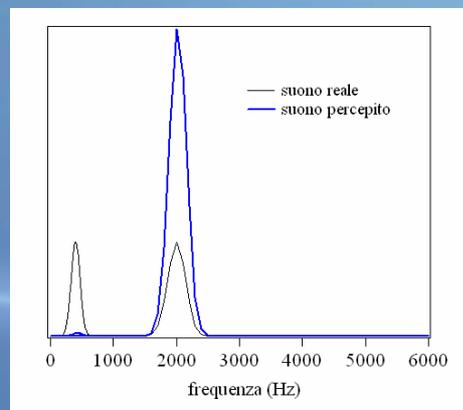
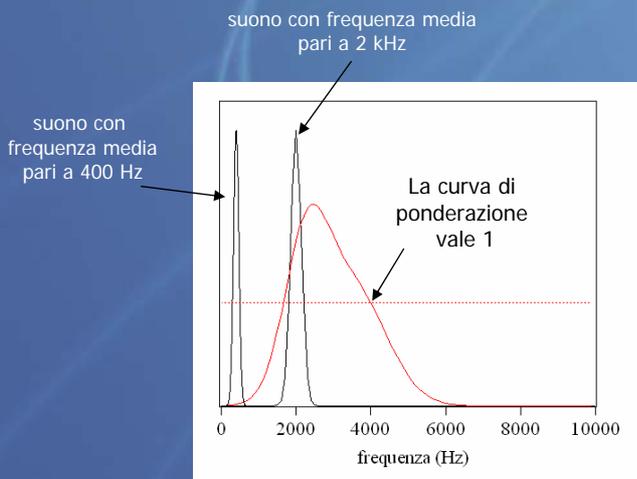
Curve di ponderazione

(A -> legata alla sensibilità dell'orecchio umano)

$$p_{eff}(t) = \sum_f p_o(f) \sin(ft) \text{sens}(f)$$



$$p(t) = \sum_f p_o(f) \sin(ft) \quad \text{suono originale}$$



$$p_A(t) = \sum_f p_o(f) \sin(ft) \text{pond}_A(f)$$

Livello di intensità sonora ponderato A $I_{dB A} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_A}{I_o} \right) = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{p_A}{p_o} \right)^2 \right)$



Ottingo un valore INDIPENDENTE dalla forma dello spettro di frequenze di cui è formato il suono

Attenzione: la composizione in frequenza del suono cambia istante dopo istante

$$p(t) = \sum_f p_o(f, t) \sin(ft)$$

$$p_A(t) = \sum_f p_o(f, t) \sin(ft) \text{pond}_A(f)$$

Per eliminare sia la dipendenza dalla distribuzione di frequenze che dal tempo, faccio riferimento ad un valore ottenuto a partire dalla media effettuata sia sulle frequenze che in funzione del tempo.

$$L_{eqA,T} = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

Indicatori utilizzati per valutare l'intensità delle onde acustiche e la corrispondente sensazione sonora

$$I_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_o} \right)$$

Livello di intensità sonora

$$I_{dB A} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_A}{I_o} \right)$$

Livello di intensità sonora ponderata A

$$L_{eqA,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

Livello equivalente ponderato A
relativo all'intervallo T

L_{day} : 06.00 → 22.00
 L_{night} : 22.00 → 06.00

L_{day} : 07.00 → 19.00
 $L_{evening}$: 19.00 → 23.00
 L_{night} : 23.00 → 07.00

posso definire
un'intensità media
relativa ad un
determinato
intervallo di tempo

$$I_{A,T} = 10 \left(\frac{L_{eqA,T}}{10} \right)$$

$$SEL = L_{AE} = \log_{10} \left(\frac{1}{1 \text{sec}} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

Livello di esposizione sonora

Viene usato per valutare l'intensità di eventi sonori localizzati temporalmente

Livello day-evening-night (den): una volta misurati i tre livelli equivalenti (day, evening e night) si sommano 5 dB al secondo, 10 dB al terzo e poi si calcola il livello equivalente complessivo.

ATTENZIONE: nel calcolare il livello equivalente complessivo si deve calcolare il valor medio delle intensità sonore, NON il valor medio dei livelli equivalenti

Esempio:

calcoliamo la media tra L_1 (misurato in un intervallo di 5 ore) e L_2 (misurato in un intervallo di 3 ore)

$$I_1 = 10^{\left(\frac{L_1}{10}\right)}$$

$$I_2 = 10^{\left(\frac{L_2}{10}\right)}$$

$$I_{media} = \frac{(5 \cdot I_1 + 3 \cdot I_2)}{8}$$

$$L_{medio} = 10 \log \left(\frac{(5 \cdot I_1 + 3 \cdot I_2)}{8} \right)$$

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}}}{24} \right]$$

Danni di tipo uditivo

Stimoli acustici intensi (impulsivi) superiori ai 130dB

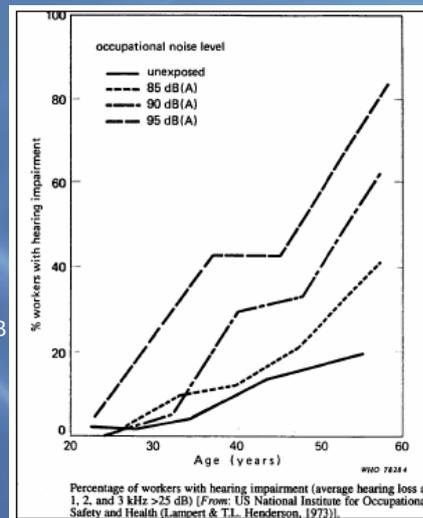
Rottura timpanica

Dislocazione ossicini

Danni degenerativi alle cellule ciliate

Danni IRREVERSIBILI

Perdita uditiva media superiore a 25 dB alle frequenze di 1, 2 e 3 kHz



Valori-guida proposti dall'OMS per il rumore ambientale				
Ambiente specifico	Effetti critici/ [Critical Health Effect(s)]	L _{Aeq} (dB)	Riferimento temporale (h)	L _{Amax, fast} (dB)
Ambienti di vita, esterno	Annoyance elevata, periodo diurno e serale	55	16	-
		50	16	-
Abitazioni, interno	Intelligibilità della parola e moderata annoyance, periodo diurno e serale	35	16	-
		30	8	45
All'interno delle stanze da letto	Disturbo del sonno, periodo notturno	30	8	45
All'esterno delle stanze da letto	Disturbo del sonno, finestre aperte (valori esterni)	45	8	60
Aule scolastiche ed asili, interno	Intelligibilità della parola e difficoltà nella comprensione dell'informazione e nella comunicazione del messaggio	35	durante le lezioni	-
Asili	Disturbo del sonno	30	durante il sonno	45
Stanze da letto, interno	Disturbo del sonno	30	durante il sonno	45
Suole, aree esterne di ricreazione	Annoyance (sorgente esterna)	55	durante il gioco	-
Ospedali, reparti, interno	Disturbo del sonno, periodo notturno	30	8	40
Ospedali, reparti, interno	Disturbo del sonno, periodo diurno e serale	30	16	-
Ospedali, sale di cura, interno	Interferenza con il riposo e la marcia	# 1	-	-
Aree industriali, commerciali, di traffico, interno ed esterno	Danno uditivo	70	24	110
Cerimonie, celebrazioni, feste ed eventi di spettacolo	Danno uditivo (frequentatori: < 5 volte/anno)	100	4	110
Livelli pubblici, interno ed esterno	Danno uditivo	85	1	110
Musica ascoltata da cuffie o auricolari	Danno uditivo (valore in campo libero)	85 # 4	1	110
Suoni impulsivi prodotti da giocattoli, fuochi d'artificio e armi da fuoco	Danno uditivo (adulti)	-	-	140 # 2
Suoni impulsivi prodotti da giocattoli, fuochi d'artificio e armi da fuoco	Danno uditivo (bambini)	-	-	120 # 2
Aree esterne in parchi e aree di tutela	Disturbo della quiete	# 3	-	-

Tabella n. 9.2 - (tratto da WHO, 1999)

Criterio: Il danno uditivo risulta proporzionale alla quantità di energia che raggiunge la coclea



Tempo di esposizione e Livello di intensità sonora concorrono a determinare il danno

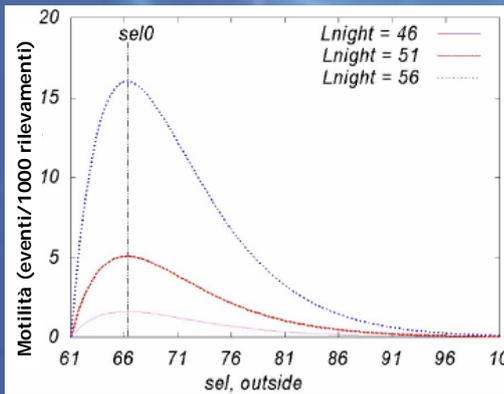
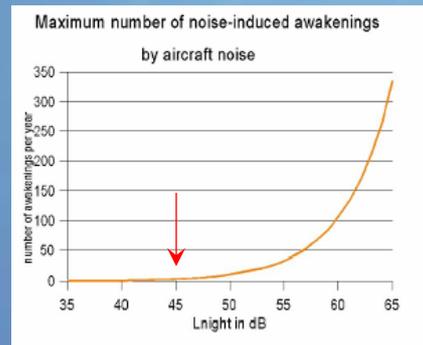
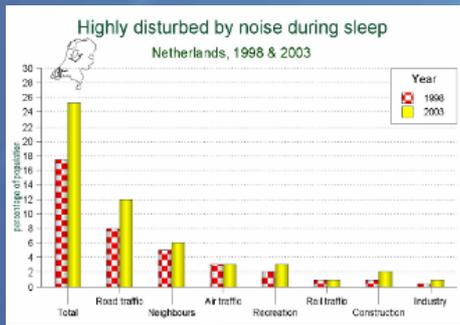
$$E = T_{esp} I_A Area_{Coclea} = T_{esp} 10^{\left(\frac{I_{dBA}}{10}\right)} Area_{Coclea}$$



Se il tempo di esposizione raddoppia il livello sonoro deve diminuire di 3 dBA

Danni di tipo extra-uditivo

“Complaints about night-time exposure to noise are wide spread and not exactly new: Roman writers used to complain about racket in the streets at night”



Rumore ambientale legato a traffico stradale e ferroviario sembra avere scarsa influenza sulla probabilità di risveglio



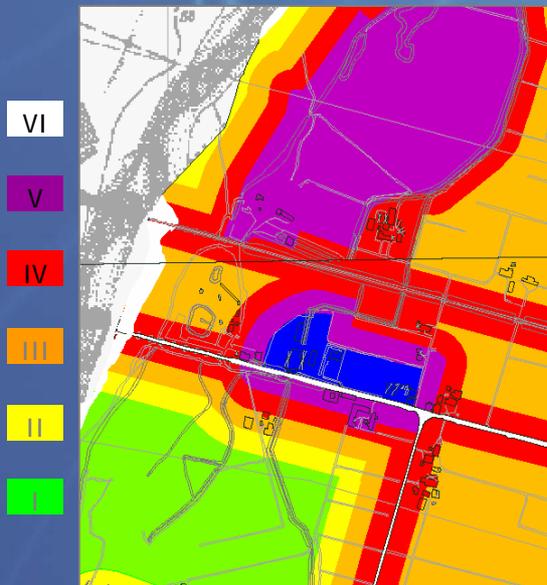
La zonizzazione acustica del territorio può essere utile a ridurre l'impatto delle sorgenti di rumore
DPCM 1/03/1991 - Legge n. 447 del 26 ottobre 1995 (Legge quadro sull'inquinamento acustico) - DPCM 14/11/1997

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento, Leq dB(A)	
	diurno ore 6-22	notturno ore 22-6
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

Livelli di Emissione

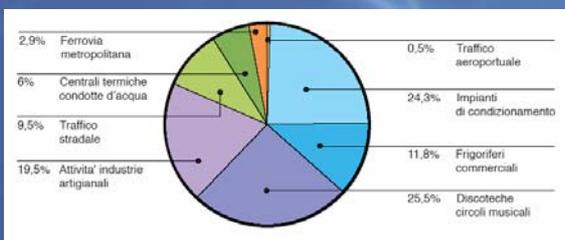
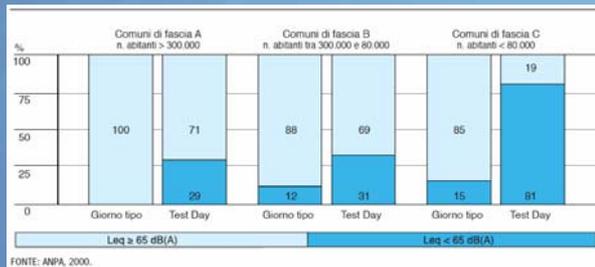
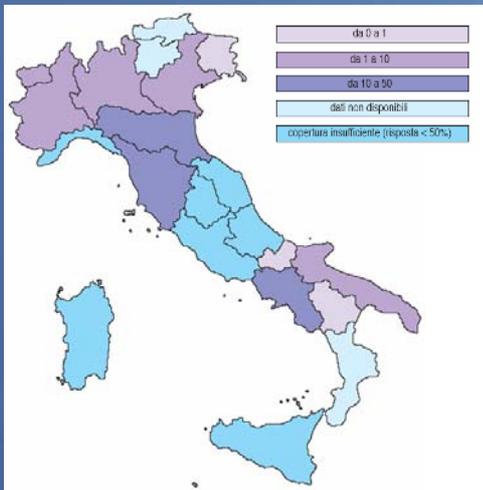
Livelli di Immissione

Livelli di Qualità



In linea generale, occorre sempre evitare il contatto fra aree adiacenti con classe di destinazione d'uso che differisca di più di una classe.

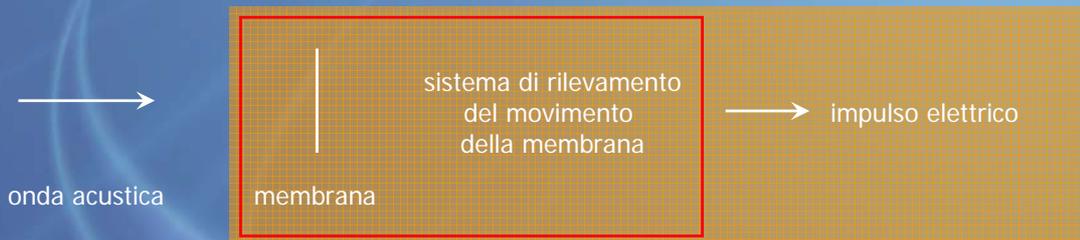
Regione	N. Comuni	N. risposte		N. Comuni		% Comuni zonizzati (b/a)	% Territorio regionale zonizzato
		v.a. (a)	%	zonizzati (b)	in fase di zonizzazione		
Piemonte	1.206	741	61	25	22	3	2.2
Valle d'Aosta	74	74	100	2	0	3	1.5
Lombardia	1.546	1.065	69	190	140	18	9.3
Trentino-Alto Adige	dnd	dnd	dnd	dnd	dnd	dnd	dnd
Veneto	581	437	75	34	44	8	6.9
Friuli-Venezia Giulia	219	126	57	4	10	3	0.8
Liguria	235	97	41	39	47	40	16.6
Emilia-Romagna	341	264	77	28	42	10	11.1
Toscana	287	213	74	36	36	17	10.8
Umbria	92	35	38	1	2	3	2.5
Marche	246	139	57	1	6	1	0.3
Lazio	377	42	11	6	36	14	1.9
Abruzzo	305	131	43	4	4	3	0.8
Molise	136	136	100	0	1	0	0.0
Campania	551	209	38	99	54	47	15.6
Puglia	258	172	67	8	4	5	5.1
Basilicata	131	131	100	1	1	1	0.4
Calabria	409	dnd	dnd	dnd	0	dnd	dnd
Sicilia	390	71	18	0	0	0	0.0
Sardegna	377	124	33	1	0	1	0.2
Italia	8.100	4.546	56	543	452	12	5.2



Regione	N. Comuni	N. risposte		N. Comuni		% Comuni zonizzati (b/a)	% Territorio regionale zonizzato
		v.a. (a)	%	zonizzati (b)	in fase di zonizzazione		
Piemonte	1.206	741	61	25	22	3	2,2
Valle d'Aosta	74	74	100	2	0	3	1,5
Lombardia	1.546	1.065	69	190	140	18	9,3
Trentino-Alto Adige	dnd	dnd	dnd	dnd	dnd	dnd	dnd
Veneto	581	437	75	34	44	8	6,9
Friuli-Venezia Giulia	219	126	57	4	10	3	0,8
Liguria	235	97	41	39	47	40	16,6
Emilia-Romagna	341	264	77	28	42	10	11,1
Toscana	287	213	74	36	36	17	10,8
Umbria	92	35	38	1	2	3	2,5
Marche	246	139	57	1	6	1	0,3
Lazio	377	42	11	6	36	14	1,9
Abruzzo	305	131	43	4	4	3	0,8
Molise	136	136	100	0	1	0	0,0
Campania	551	209	38	99	54	47	15,6
Puglia	258	172	67	8	4	5	5,1
Basilicata	131	131	100	1	1	1	0,4
Calabria	409	dnd	dnd	dnd	0	dnd	dnd
Sicilia	390	71	18	0	0	0	0,0
Sardegna	377	124	33	1	0	1	0,2
Italia	8.100	4.546	56	543	452	12	5,2

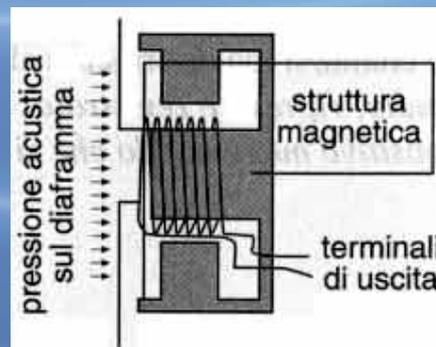
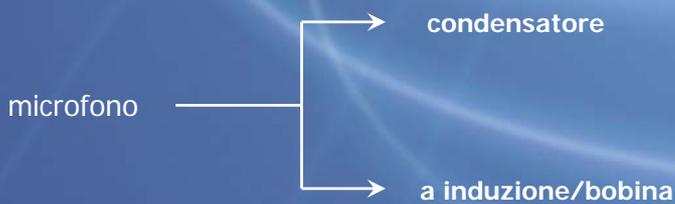
Strumentazione per la misura dell'intensità delle onde acustiche

Trasduttori che permettono di convertire l'energia meccanica trasportata dall'onda acustica in un segnale elettrico. (lo stesso compito viene svolto dall'orecchio)



microfono

fonometro

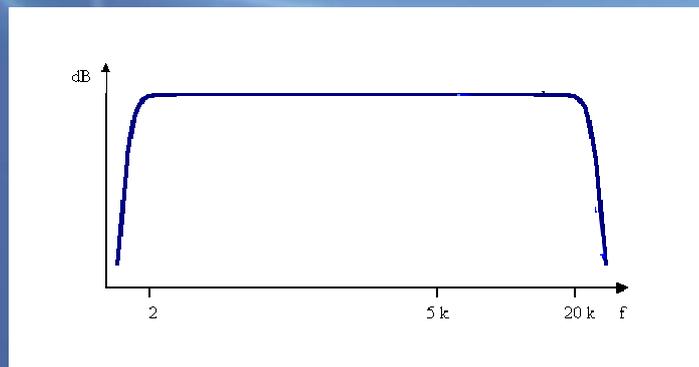


Caratteristiche di un fonometro (→ microfono)

sensibilità si esprime in mV/Pa e varia generalmente tra 2 e 100

A parità di meccanismo di trasduzione, la sensibilità dipende dalla grandezza del microfono? e la banda passante ?

banda passante intervallo di frequenze che vengono rivelate dallo strumento



Modalità di misura

Slow = utile se si vogliono smorzare le fluttuazioni del suono quando varia troppo rapidamente

Fast = adatta per livelli sonori che non oscillano troppo rapidamente

Impulse = approssima il tempo di reazione dell'orecchio (35ms) e coglie il valore efficace di segnali impulsivi

τ	Periodo (ms)	campioni / s
SLOW	1000	1
FAST	125	8
IMPULSE	35	28

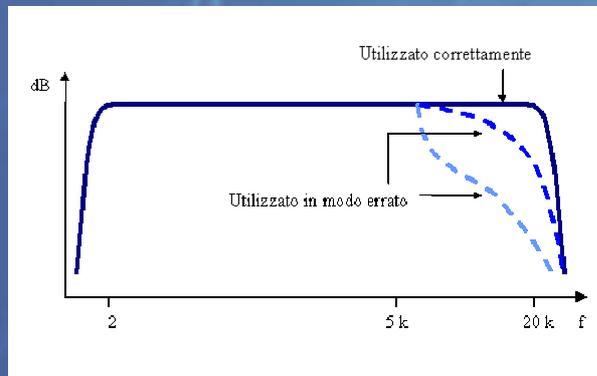
Determinano la rapidità con la quale lo strumento segue le fluttuazioni del segnale durante la misura

Queste costanti di tempo, utilizzate nel misurare il livello sonoro ponderato A, permettono di riconoscere la presenza di componenti impulsive

Ad esempio, un evento è considerato impulsivo se il valore massimo Impulse supera il massimo Slow di almeno 6 dB

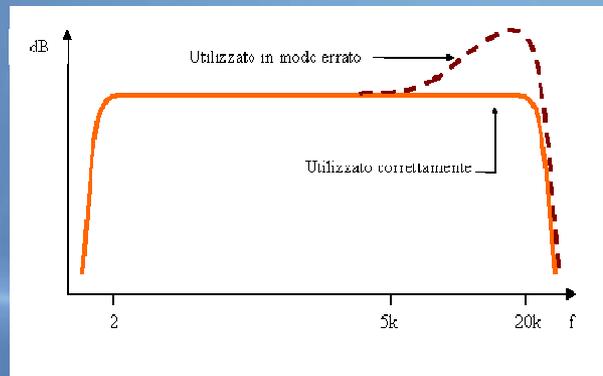
Modalità di misura

Campo libero: vi è la presenza di un'unica sorgente o di una sorgente sonora predominante



Usati scorrettamente, ossia ad esempio orientati con un angolo di 90° rispetto la sorgente, essi sottostimano le componenti ad alta frequenza

Campo diffuso: vi è la presenza di più sorgenti acustiche / rimbombi / ...



Usato scorrettamente, ossia orientato verso la sorgente sonora, produce una sovrastima delle alte frequenze.