



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



AGENTI FISICI GENERALITÀ

A cura di:

Dr. Manuel Fernández
Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"
Università del Salento

Quali sono gli agenti fisici?





RUMORE – INQUINAMENTO ACUSTICO

AMBIENTI DI VITA:

LEGGE QUADRO n° 447 DEL 26 OTTOBRE 1995

AMBIENTI DI LAVORO:

D. LGS. n° 81 DEL 9 APRILE 2008

TITOLO VIII – CAPO II

Che cos'è il suono?

Suono: sequenza di **compressioni** e **rarefazioni** di **pressione** attorno a quella atmosferica, generate dalla **vibrazione di una sorgente in un mezzo elastico** e che possono essere percepite dall'orecchio umano. Sono onde longitudinali che non si propagano nel vuoto.



Grandezze associate:

- **Frequenza (f):** Numero di oscillazioni nell'arco di un secondo (Hz) ➡ **Tono** grave/acuto
- **Ampiezza (A):** Intensità del volume percepito (Pa) ➡ **Volume** forte/debole

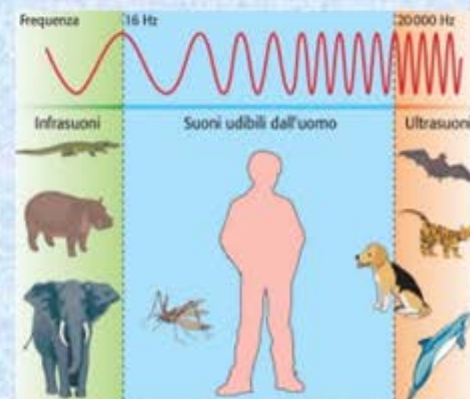
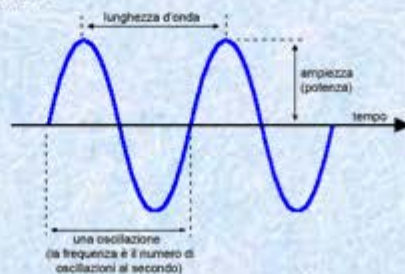
Intervallo di frequenze udibili: Da 20 Hz a 20 kHz

Ultrasuono: se $f > 20$ kHz

Infrasuono: se $f < 20$ Hz

Tono puro: costituito da una singola frequenza.

Suono armonico: sovrapposizione di toni puri.



Che cos'è il rumore?

Rumore: Sovrapposizione **brusca** e **sgradevole** di suoni con diverse **frequenze** e **ampiezze**

Non ha più senso parlare di toni, ma piuttosto di **banda di rumore**

Il **rumore bianco** è quello che presenta **uniformità** su tutta la banda dell'udibile

In base all'**ampiezza** del rumore è possibile avere diversi **effetti**:

- **Abbassamento dei livelli di concentrazione e attenzione**
- **Difficoltà di comunicare**
- **Sordità temporanea**
- **Sordità permanente**

Soglia di percezione: $p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 0.00002 \text{ Pa}$

Soglia del dolore: $p_{\max} = 200 \text{ Pa}$ (rottura del timpano)

Scala del decibel
Logaritmica

$$\text{Ampiezza (dB)} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

Soglia di percezione: $p_0 = 0 \text{ dB}$

Soglia del dolore: $p_{\max} = 140 \text{ dB}$

Motivi:

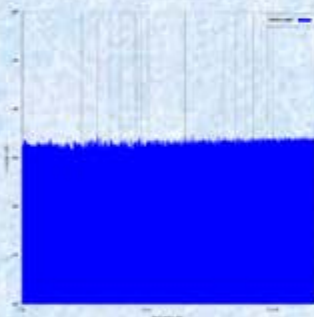
- 1) Più facile da trattare matematicamente
- 2) la **percezione dell'orecchio** riesce a discriminare suoni con differenza di 3 dB a qualunque valore effettivo della pressione sonora

Potenza spettrale di un segnale di rumore

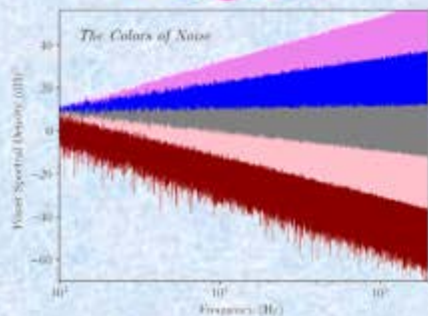
Rumore bianco



Distribuzione uniforme
tra 20 Hz e 20 kHz



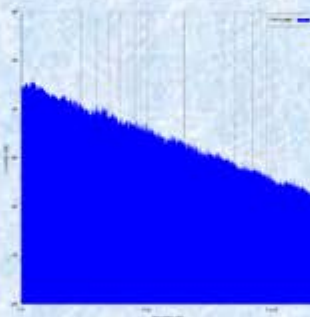
Densità di potenza
spettrale



Rumore rosa



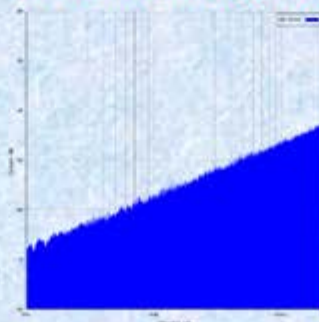
Tiene conto della
sensibilità dell'udito



Rumore blu



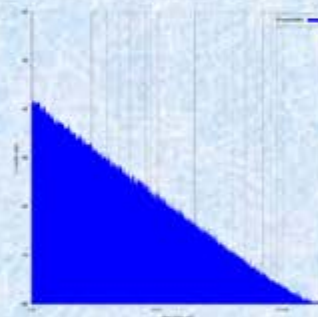
Piuttosto fastidioso



Rumore marrone (o Browniano)



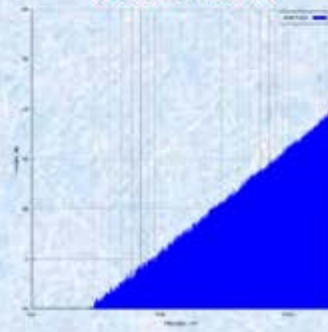
Riduce rumori
fastidiosi



Rumore viola



Stridulante





UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



Potenza spettrale di un segnale di rumore

 IL RUMORE BIANCO, ROSA, ROSSO, BLU, VIOLA E GRIGIO



Guarda più...



Condividi



0:00 / 1:32



YouTube





Classificazione in base all'intensità

In base all'**intensità** i rumori possono essere:

- **Stabili o stazionari:** Quando le **fluttuazioni di livello** sono **trascurabili** (< 2.5 dB rispetto alla media).
- **Fluttuanti**, in cui le **variazioni** sono **elevate**, ma avvengono **in modo continuo**, cioè senza brusche cadute al livello del rumore di fondo ambientale (> 2.5 dB rispetto alla media).
- **Intermittenti:** Se la loro durata è superiore ad 1 secondo, ma **cadono bruscamente in più riprese** durante il periodo di osservazione.
- **Impulsivi:** Quando i rumori sono caratterizzati da **forte intensità e durata inferiore ad 1 secondo**. Hanno istantanee e brusche variazioni di livello sonoro.
- **Aleatori:** Prodotti da **un grande numero di sorgenti** che agiscono con distribuzione casuale, ciascuna con un tempo breve.



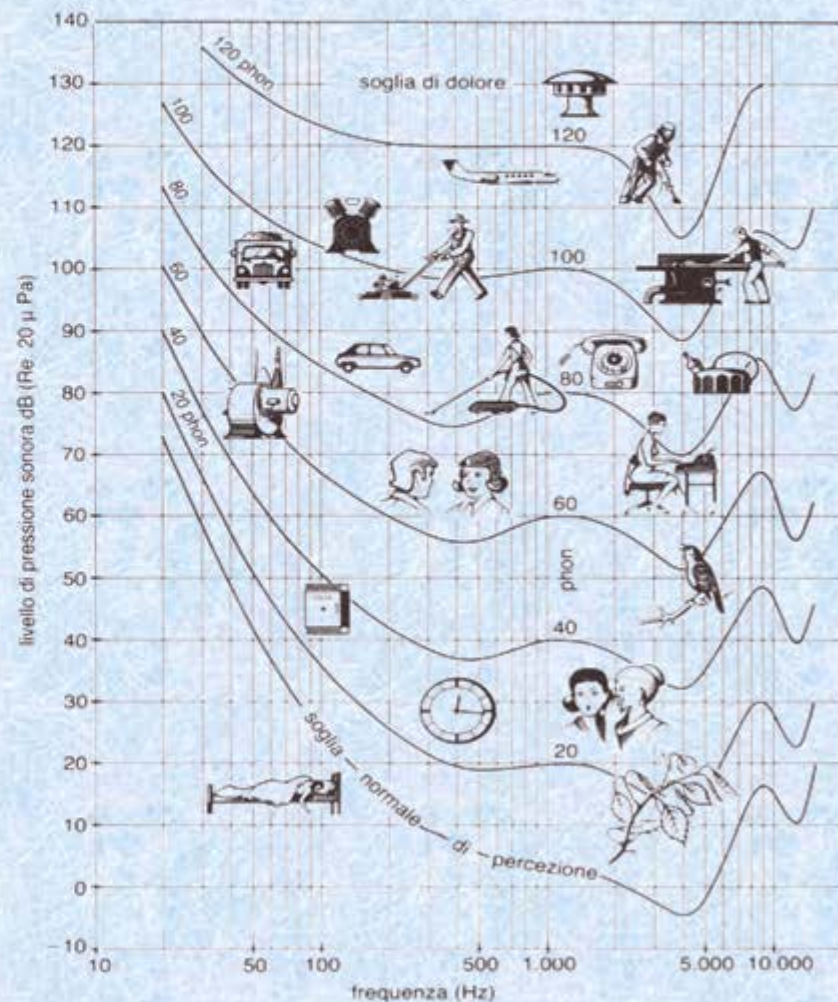
Rumori impulsivi

I **rumori impulsivi** possono inoltre essere a sua volta classificati:

- ❖ In funzione del **numero di impulsi nell'unità di tempo**:
 - **Sporadici o occasionali**: gli impulsi sono ≤ 5 per minuto;
 - **Frequenti**: gli impulsi sono compresi tra 5 e 20 per minuto;
 - **Costanti**: gli impulsi sono > 20 per minuto.
- ❖ In funzione della **regolarità di reiterazione degli impulsi**:
 - **Rumori impulsivi asincroni**: gli impulsi si succedono ad intervalli non regolari;
 - **Rumori impulsivi periodici o ripetitivi**: gli impulsi si ripetono ad intervalli regolari.

Sorgenti tipiche di rumore – Scala in dB

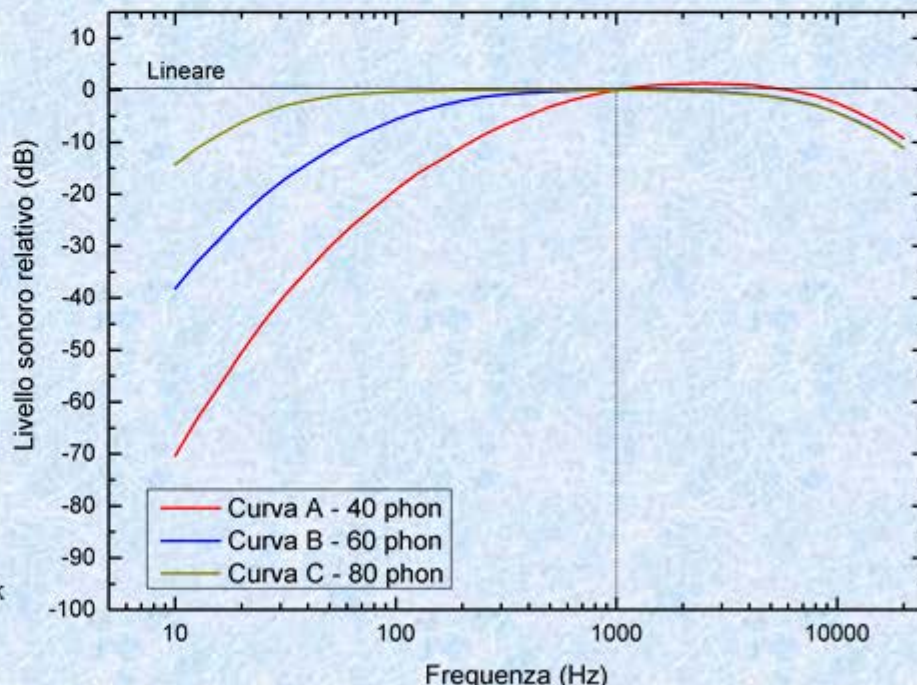
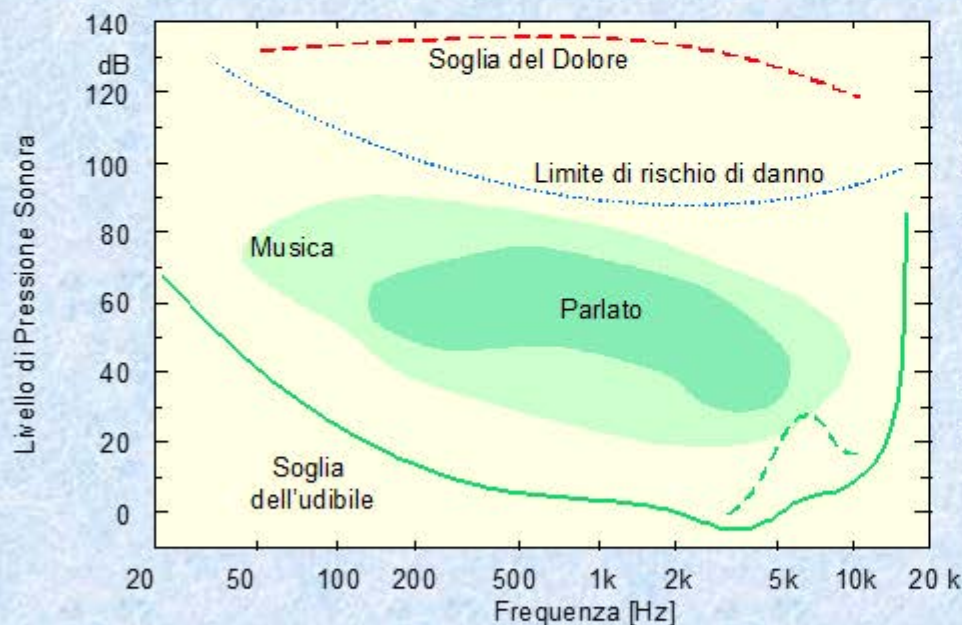
Sorgente	dB
Fruscio di foglie	10 - 20
Conversazione	40
Voce umana a toni elevati	50-60
TV ad alto volume	70
Macchine tessili	90
Sega circolare	100
Martello pneumatico	120
Aereo in decollo	140



Percezione del suono e curve di ponderazione

La percezione dipende da molti fattori complessi, tra i quali il fatto che l'**orecchio non ha la stessa sensibilità a tutte le frequenze**; esso è più sensibile a quelle comprese tra 1 e 5 kHz.

Questa differenza di sensibilità è **più significativa a bassi livelli sonori**.



Per questi motivi si utilizzano le **curve di ponderazione** A, B e C tarate alla frequenza di 1 kHz per 40, 60 e 80 dB (phon) rispettivamente. In tali casi l'ampiezza si indica in dB(A), dB(B) e dB(C), per tener in conto questo fattore.

Effetti del rumore sull'udito

- Per esposizione a rumori eccezionalmente intensi (**> 120 – 130 dB**) si può avere la **lesione del timpano** che portano alla sordità immediata;
- Per esposizioni **superiori a 80 dB** si ha una **perdita della sensibilità**. Essa è:
 - **Temporanea**, se l'esposizione è **occasionale** e di **breve durata e intensità**. In queste condizioni l'orecchio ha la capacità di recupero funzionale completo.
 - **Permanente**, con un **innalzamento della soglia di percezione** se l'esposizione è **cumulativa** nel tempo, di **durata e intensità significativa**. L'effetto è maggiore sui toni acuti (alte frequenze).



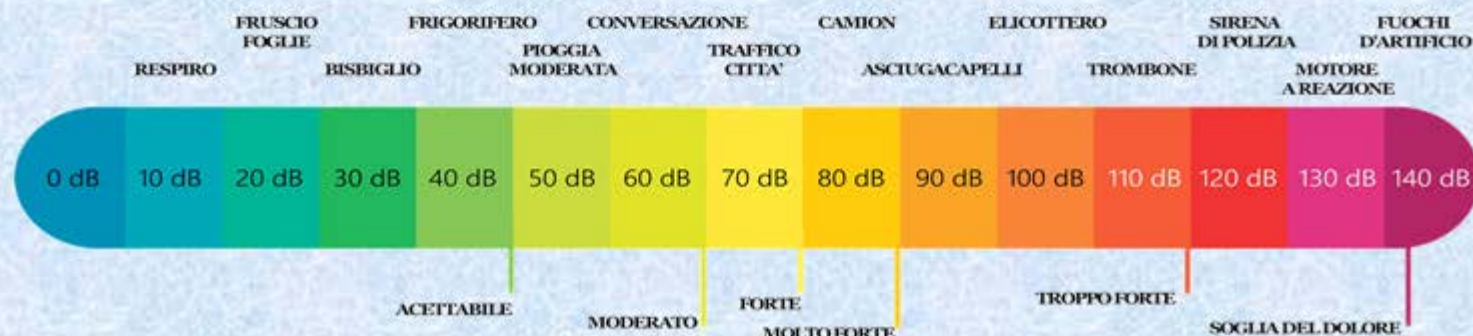
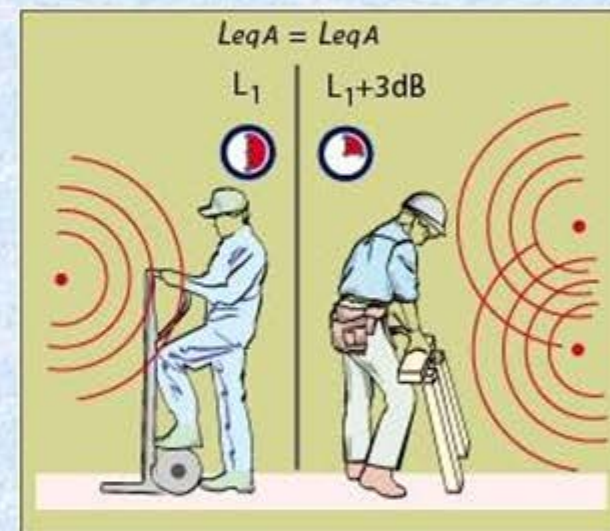
Frequenza (kHz)

Esposizione professionale

Per valutare l'esposizione professionale di un lavoratore al rumore si introduce il concetto di **livello equivalente** (L_{eqA}) nell'arco di una giornata di 8 ore. *Esso rappresenta il valor medio, espresso in dB(A), della pressione sonora in tale periodo di tempo.*

Tuttavia, poiché *il dB è una scala logaritmica*, un'esposizione di breve durata (15 min.) a livelli elevati (ad es. 90 dB(A)) contribuisce già da sola ad innalzare il valore del livello equivalente ($L_{eqA} \geq 75$ dB(A)).

È questo il motivo per cui risulta indispensabile indossare **sempre** i DPI (cuffie o inserti) in modo adeguato negli ambienti rumorosi.



Riferimenti normativi nei luoghi di lavoro



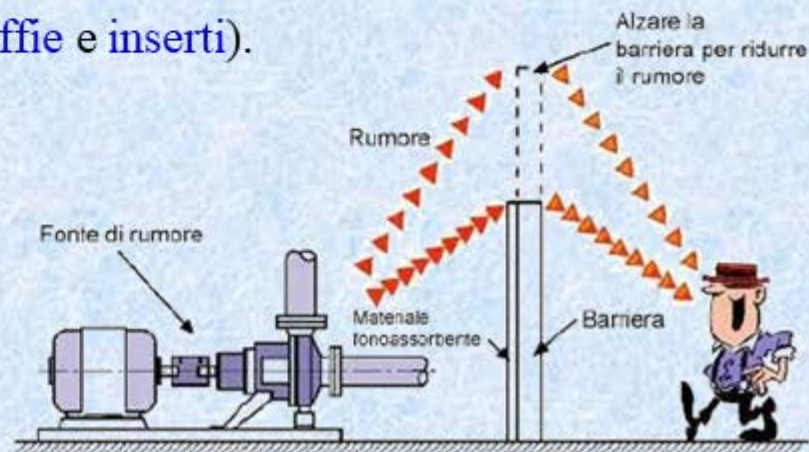


La difesa acustica

Per difendere l'udito di un lavoratore occorre porre qualche ostacolo al rumore prima che esso giunga all'orecchio. Ciò può essere fatto:

- Alla **sorgente**, rivedendo le **guarnizioni** delle apparecchiature rumorose o effettuando un adeguata **manutenzione**;
- Lungo il **percorso**:
 - Ponendo degli **ostacoli** tra sorgente e ricevitore,
 - **Isolando** acusticamente le **pareti** dell'ambiente, al fine di ridurre i fenomeni di riverbero,
 - **Confinando** le apparecchiature rumorose in appositi locali fonoisolati;
- Alla **ricezione**, utilizzando i DPI acustici (**cuffie** e **inserti**).

Va preferito l'intervento alla fonte.



Dispositivi di protezione individuali (D.P.I.)

I principali DPI sono gli inserti e le cuffie:

- Gli inserti si inseriscono direttamente nel canale acustico esterno e sono suddivisi a loro volta in:
 - Inserti sagomati, in materiale plastico morbido poco deformabile;
 - Inserti deformabili, costituiti da materiali con elevate capacità plastiche (schiume, siliconi, etc.)
 - Semi-inserti, che non entrano completamente nel canale uditivo e presentano un archetto di sostegno.
- Le cuffie si applicano esternamente a protezione dell'orecchio. I modelli più efficienti sono quelli dotati di auricolari in PVC pieni di liquido fonoassorbente.

Si osservi comunque che anche quando il dispositivo è indossato dall'utente, il rumore può comunque raggiungere l'orecchio da 4 percorsi differenti: Fessure d'aria, vibrazioni del dispositivo, trasmissione attraverso il dispositivo, trasmissione attraverso il corpo.





SCELTA DEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE DELL'UDITO

CARATTERISTICHE DEL RUMORE

Tipo e livello

FATTORI AMBIENTALI

Temperatura e umidità

Segnali di avvertimento

Presenza di polvere

FATTORI ORGANIZZATIVI

Lavoro fisico

Durata di utilizzo

FATTORI INDIVIDUALI

Giudizio su comfort

Praticità, taglia adeguata

Patologie dell'orecchio

Individuazione dei protettori per l'udito idonei

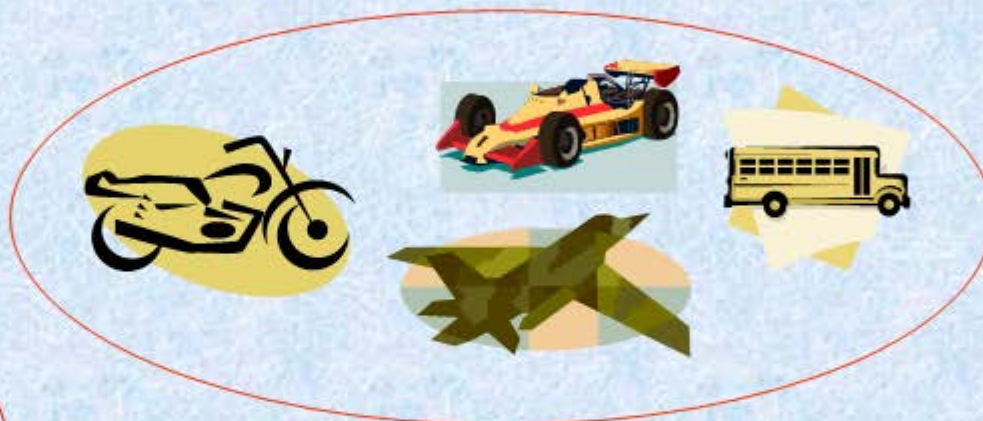
Segnaletica per Rumore



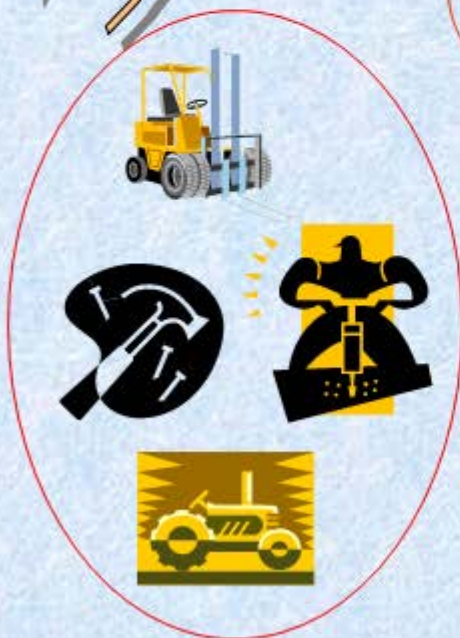


Principali sorgenti di rumore

AMBIENTI ESTERNI



L
A
V
O
R
O



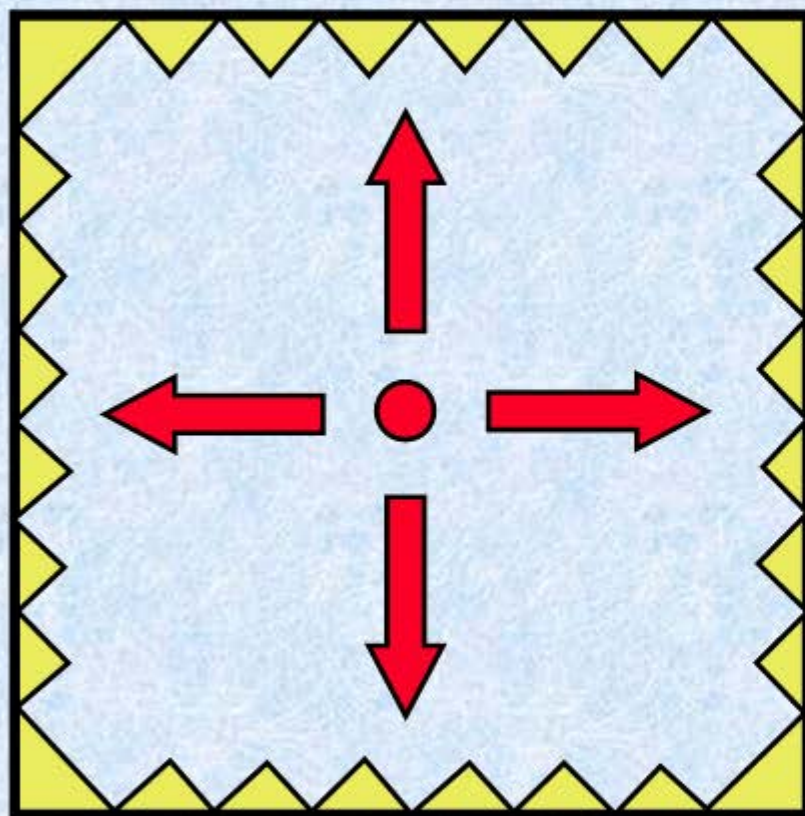
SCUOLA
CASA E
UFFICIO

Scuola, casa e ufficio

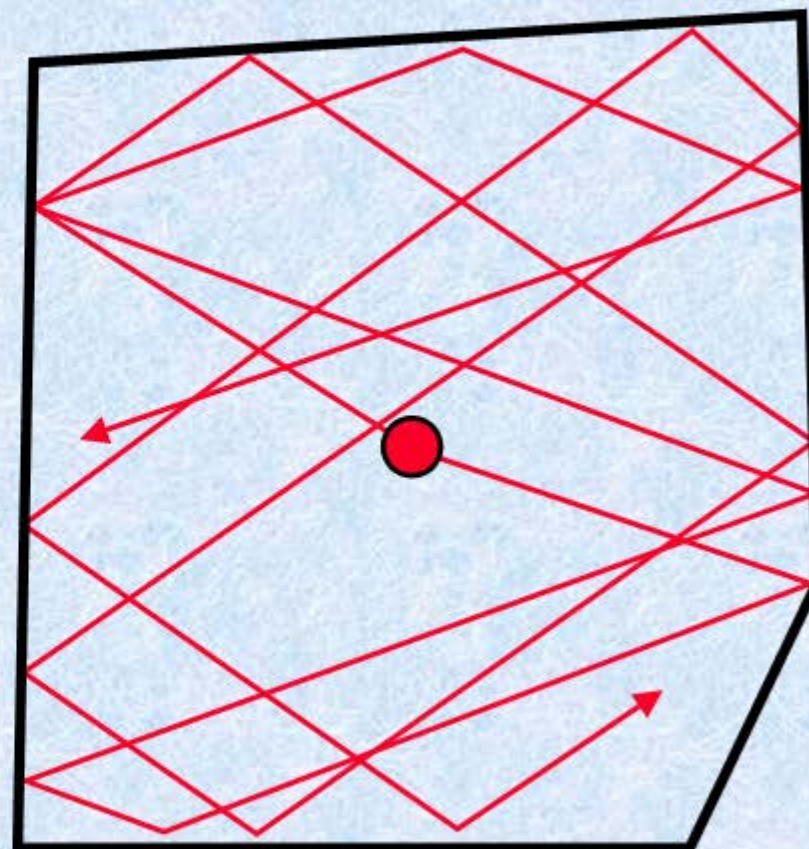
Negli ambienti quali scuole, case e uffici il problema principale non è legato direttamente ai **danni sanitari**, ma piuttosto a *scarsa comprensione verbale* e *mancaanza di concentrazione*.



Propagazione sonora negli ambienti confinati



AMBIENTE ANECOICO
($\alpha = 1$)



AMBIENTE RIVERBERANTE
($\alpha = 0$)

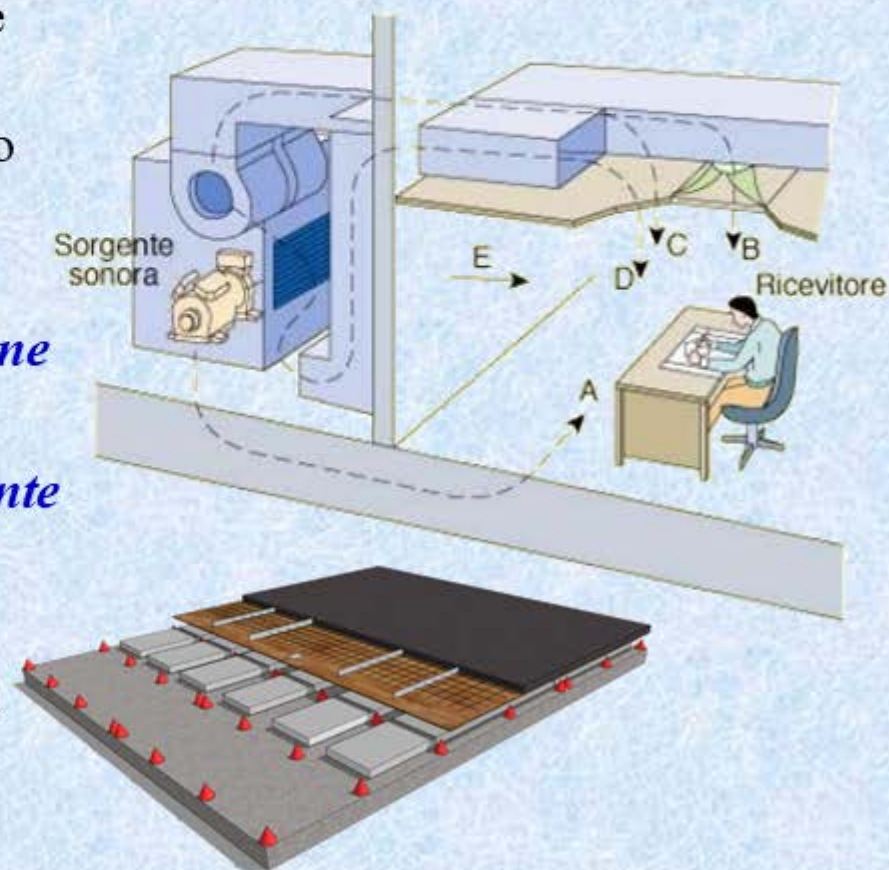
α (coefficiente di assorbimento sonoro) = energia assorbita / energia incidente

Rumore strutturale

Esso è legato alla **trasmissione delle onde acustiche tramite vibrazioni**. Ciò accade ad esempio attraverso le **strutture e impianti degli edifici** (ad es. quelli di climatizzazione).

Una possibile soluzione è quella di poggiare le sorgenti di rumore su **sistemi anti-calpestio** ottenuti dall'unione di vari componenti tra loro in sinergia:

- Un **manufatto** ottenuto per **stampaggio** ad iniezione diretta **di miscele di lattici, silicone e poliuretano**;
- Un **manufatto fono-isolante/fonoassorbente** ottenuto dal riciclo del PET (polietilene tereftalato);
- Un **massetto isolante termico e acustico** in **conglomerato cementizio** alleggerito con **granulato di polimeri**.





Ambienti esterni – Principali sorgenti di rumore

Decibel	Sorgente di rumore
15/20	<i>Fruscio di foglie, bisbiglio</i>
30/40	<i>Notte silenziosa</i>
50	<i>Strada tranquilla</i>
60	<i>Voce alta</i>
70	<i>Ristorante, strada rumorosa</i>
80	<i>Autostrada</i>

Decibel	Sorgente di rumore
90	<i>Camion nelle vicinanze, fabbrica rumorosa</i>
100	<i>Discoteca, cantiere edile</i>
110	<i>Concerto rock, martello pneumatico</i>
120	<i>Sirena, clacson</i>
130	<i>Decollo di un aereo jet</i>



Piano di zonizzazione acustica comunale

Classificazione acustica del territorio			Limiti di					
Classi di destinazione d'uso del territorio			immissione		emissione		qualità	
	Classe	Tipologia	Diurno	Notturmo	Diurno	Notturmo	Diurno	Notturmo
VERDE	I	aree particolarmente protette	50	40	45	35	47	37
GIALLO	II	aree ad uso prevalentemente residenziale	55	45	50	40	52	42
ARANCIONE	III	aree di tipo misto	60	50	55	45	57	47
ROSSO	IV	aree di intensa attività umana	65	55	60	50	62	52
VIOLA	V	aree prevalentemente industriali	70	60	65	55	67	57
BLU	VI	aree esclusivamente industriali	70	70	65	65	70	70



Mappa di zonizzazione acustica





Ultrasuoni



Gli **ultrasuoni**:

- Sono più **confinati vicino alle sorgenti**;
 - Rispetto ai suoni sono molto più **direzionabili**;
 - Si possono facilmente creare **zone d'ombra** dovute ad **ostacoli**.
-
- ❖ Gli **effetti** si manifestano principalmente per **contatto** e quindi vanno usati i **guanti quali DPI** oltre ai protettori auricolari.
 - ❖ I **soggetti sensibili** sono i **minori**; le **donne in stato di gravidanza** e coloro che indossano alcuni **dispositivi** (**protesi acustiche**, **pacemaker**,...) o **lenti a contatto**.



Dissuasore



Sonicator con pannelli
fonoassorbenti



Gambero pistola



Pulitrice a ultrasuoni

Strumentazione di misura: Il fonometro

Il **fonometro** è un **dispositivo elettroacustico** per la misura del **livello di pressione sonora**.

La sua funzione principale è quella di **convertire un segnale acustico variabile nel tempo** in un valore numerico che esprime il **livello di pressione**.

Esso **reagisce al suono** in maniera **simile** a quella dell'**orecchio umano**.



Il fonometro può rilevare e misurare l'esposizione all'inquinamento acustico, sia in **ambienti interni** che **esterni**:

- nel **primo caso** è particolarmente utilizzato in **ambito lavorativo**, per registrare i livelli di rumore nelle diverse fasi operative e verificare il rispetto dei valori soglia;
- nel **secondo caso** è il mezzo ideale per registrare il **livello** di rumore **raggiunto da una determinata zona**.

Attraverso l'analisi delle curve di ponderazione esso permette di esprimere direttamente il valore in dB(A) oppure dB(C).



Tipologia di fonometri

I **fonometri** più **semplici** danno la **misura del livello istantaneo** del rumore.

Ci sono strumenti più complessi che elaborano questa misura per dare:

- **livello equivalente (L_{eq})**, ovvero l'integrale del rumore nel tempo – praticamente il valore energetico medio (fonometri integratori);
- **analisi del rumore alle varie frequenze** (analizzatori in bande di ottava ed 1/3 ottava);
- **analisi statistica**;
- **analisi di evento**;
- **analisi di isolamento acustico** (tempo di riverbero RT 60, coefficienti di facciata, perdita di trasmissione attraverso parete, ecc.)



Classi di fonometri e taratura

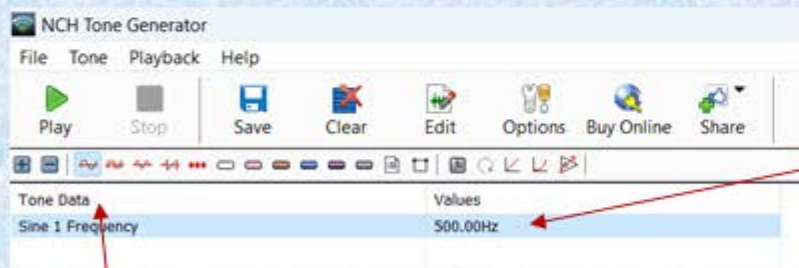
Fonometri		
Classe	Tipologia	Precisione
0	Laboratorio di taratura (ACCREDIA)	($\pm 0,2$ dB)
1	Omologati per misure formali	($\pm 0,7$ dB)
2	Informali (ad es. smartphone)	(± 1 dB)

Quelli di Classe 1 devono essere tarati almeno ogni due anni presso un laboratorio accreditato. Prima e dopo ogni misura il fonometro dev'essere calibrato con una sorgente sonora nota e stabile.



Attività da svolgere

- Scaricare le App 'OpeNoise' su smartphone e il software 'Tone Generator' su PC (<https://www.nch.com.au/tonegen/index.html>);
- Attivare entrambe le applicazioni;
- Utilizzando Tone Generator selezionare una determinata **tipologia** di **tono puro** o **colore** di rumore;



Tono puro sinusoidale

Frequenza = 200 Hz, 1 kHz oppure 5 kHz



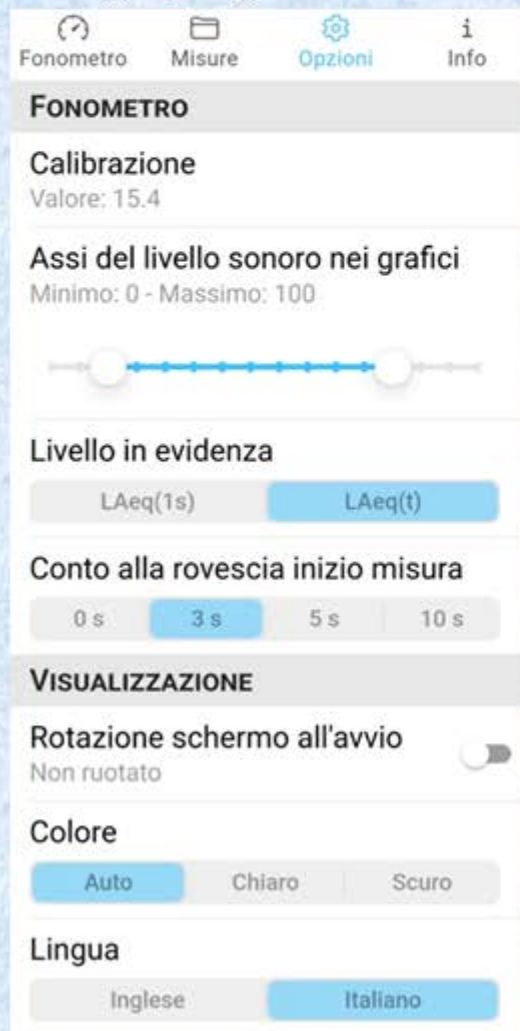
Scelta colore

- Andare su OpeNoise;
- Effettuare la **calibrazione**, se si dispone di un fonometro.



Attività da svolgere

- Impostare le opzioni giuste su OpeNoise ($LA_{eq}(t)$, estensione del file **.csv**, separatore campi ; separatore decimali .) attivare la vista di 1/3 di ottava e i tasti salva e azzera:





Attività da svolgere

- Premere il pulsante play su Tone Generator;
- Avviare il salvataggio dei dati con OpeNoise per circa 15 secondi (inizia, ferma);
- Ritornare a Tone Generator e premere stop;
- Ripetere le operazioni su Tone Generator cambiando le frequenze dei toni puri (200 Hz, 1 kHz e 5 kHz) e/o dei colori;
- Tornare a OpeNoise e salvare i dati per 15 secondi per ognuno dei toni puri / colori;
- Scaricare i dati (linguetta 'Misure' di OpeNoise) dello Smartphone a PC e aprire il file CSV con Excel o altro foglio di calcolo.



Attività da svolgere

- Per ogni misura la tabella avrà il seguente formato:

1	Date	Time	LAeq(t)	LAeq(1s)	Marker	LZeq(t)	LZeq(1s)	LZeq_16	LZeq_20	LZeq_25	LZeq_31.5	LZeq_40	LZeq_50	LZeq_63	LZeq_80	LZeq_100	LZeq_125	LZeq_160	LZeq_200	LZeq_250	LZeq_315	LZeq_400
2	30/01/2024	18:22:34	88.1	88.5	START	88.1	88.5	21.0	23.8	35.4	40.0	39.5	22.0	23.8	19.4	31.3	19.9	16.1	23.3	25.2	33.4	18.0
3	30/01/2024	18:22:35	88.3	88.8		88.3	88.8	17.9	21.1	36.3	39.7	38.6	21.4	20.8	18.1	31.2	18.8	20.0	24.6	24.7	33.0	16.2
4	30/01/2024	18:22:36	88.5	88.9		88.5	88.9	20.8	21.0	34.0	38.9	38.1	24.3	23.4	19.9	31.9	21.1	19.4	23.9	24.8	33.0	16.9
5	30/01/2024	18:22:37	88.6	89.1		88.6	89.1	19.7	22.6	33.4	38.5	39.0	21.8	23.3	18.7	31.3	20.2	18.9	24.1	24.4	31.8	16.4
6	30/01/2024	18:22:38	88.7	89.2		88.7	89.2	20.3	19.0	34.3	39.1	37.4	18.4	24.8	20.0	31.6	18.4	18.5	23.5	25.0	32.4	16.1
7	30/01/2024	18:22:39	88.8	89.3		88.8	89.3	17.9	21.5	34.4	38.9	38.4	20.7	24.8	20.6	31.3	20.0	19.0	24.5	25.8	31.7	18.3
8	30/01/2024	18:22:40	88.9	89.5		88.9	89.5	17.0	22.3	35.3	40.1	39.6	18.0	23.4	21.4	31.7	20.3	19.3	25.4	24.8	31.1	18.1
9	30/01/2024	18:22:41	89.0	89.6		89.0	89.6	20.3	21.8	34.7	39.4	38.6	23.7	24.2	19.4	32.0	21.7	20.9	24.4	25.4	31.2	17.9
10	30/01/2024	18:22:42	89.1	89.7		89.1	89.7	22.8	26.4	35.2	38.6	37.4	22.3	25.7	21.4	31.7	22.0	22.1	26.7	27.3	32.5	31.0
11	30/01/2024	18:22:43	89.2	89.7		89.2	89.7	18.5	22.1	33.6	38.2	38.4	19.1	23.1	18.1	31.0	18.6	19.6	24.5	24.7	33.3	20.4
12	30/01/2024	18:22:44	89.2	89.4		89.2	89.4	26.6	24.1	35.8	40.2	38.9	23.5	29.7	23.1	32.2	26.2	24.4	26.6	26.1	33.0	20.7
13	30/01/2024	18:22:45	89.2	89.8		89.2	89.8	21.6	19.9	34.9	39.7	39.3	21.4	23.7	20.6	31.2	19.3	19.6	25.1	24.7	32.3	18.7
14	30/01/2024	18:22:46			STOP																	
15																						
16																						

- Selezionate le celle di una riga a caso (non cliccando il numero di riga a sinistra!) e copiate (CTRL + C)



Attività da svolgere

- Aprite il file 'modello senza dati' e incollate (CTRL + V) nella riga corrispondente alla vostra misura, partendo dalla seconda colonna.

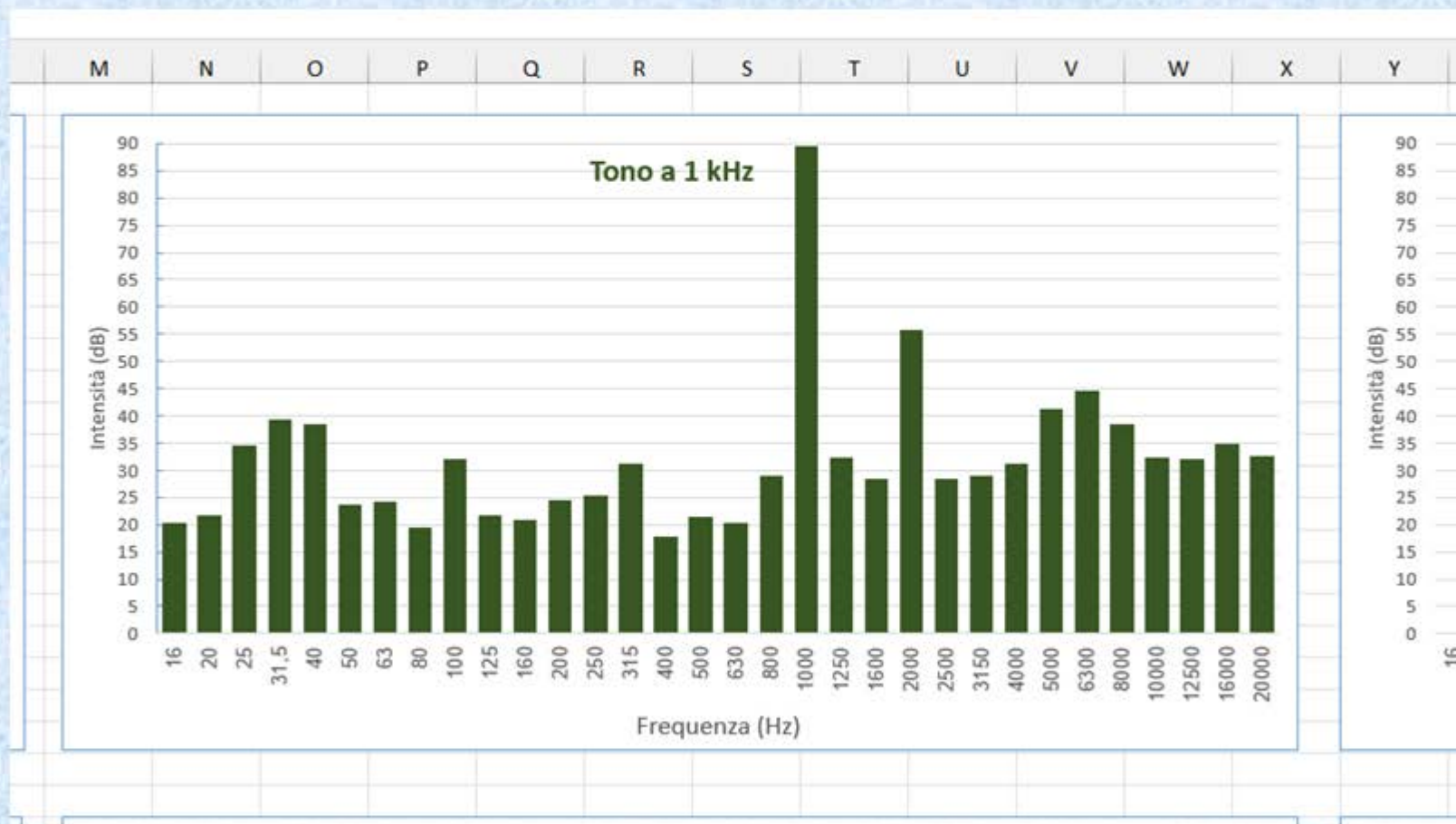
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Tipologia	Date	Time	LAeq(t)	LAeq(1s)	Marker	LZeq(t)	LZeq(1s)	16	20	25	31,5	40	50	63
2															
3	Tono a 200 Hz														
4	Tono a 1 kHz	30/01/2024	15:51:14	23.7	23.7		34.7	34.1	4.2	5.3	20.9	24.9	30.0	25.3	12.6
5	Tono a 5 kHz														
6	Spettro marrone														
7	Spettro rosa														
8	Spettro bianco														
9	Spettro blu														
10	Spettro viola														
11															
12															
13															
14															

- Salvare il file con altro nome.



Attività da svolgere

- Se andate sulla seconda linguetta (Grafici), vedrete lo spettro acustico.



- Provate a dare qualche interpretazione.



Riferimenti normativi

D. Lgs. 81/2008

Versione aggiornata su <http://www.8108amatodifiore.it>

