



UNIVERSITÀ  
DEL SALENTO



# 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

A cura di:

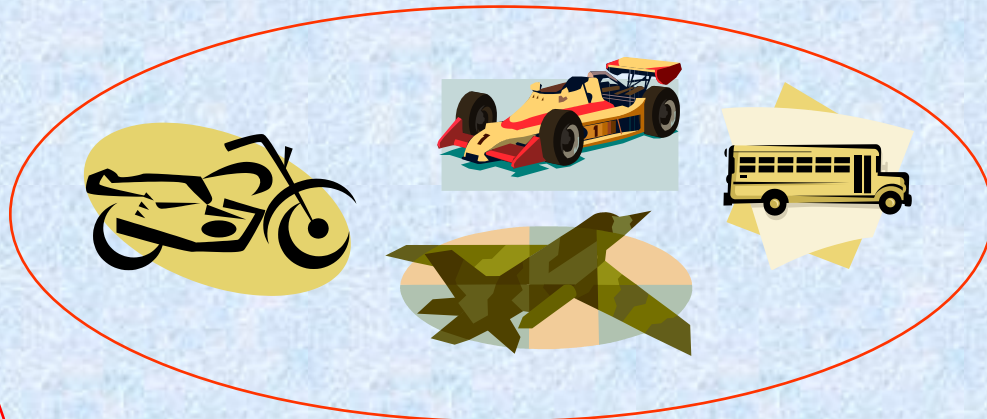
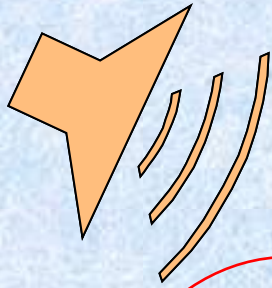
Dr. Manuel Fernández

Dipartimento di Matematica e Fisica “Ennio De Giorgi”

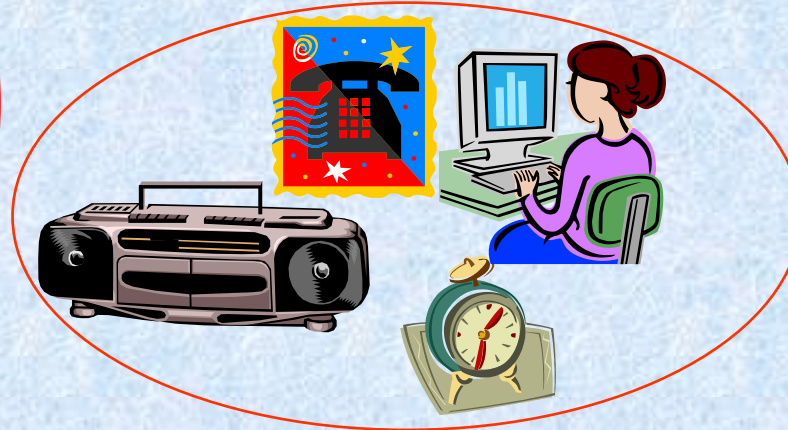
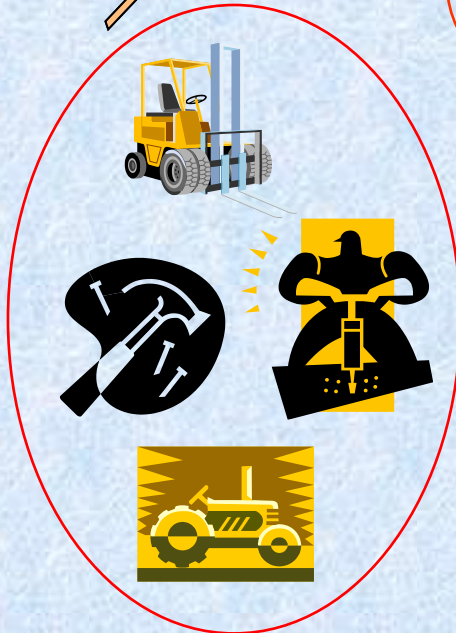
Università del Salento

# Principali sorgenti di rumore

## AMBIENTI ESTERNI



## L A V O R O



## SCUOLA CASA E UFFICIO

# 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.



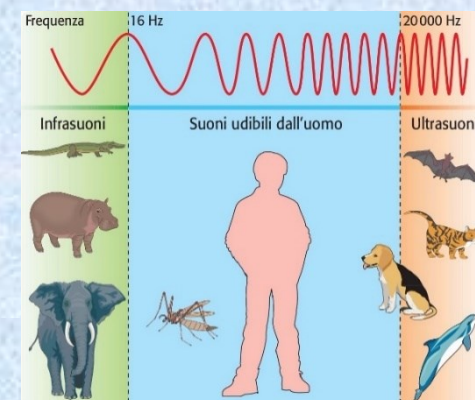
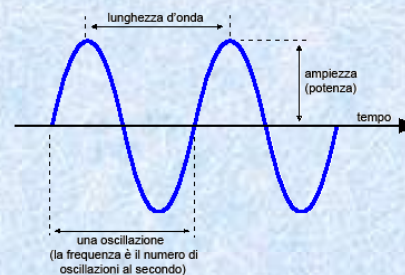
## Grandezze associate:

- **Frequenza ( $f$ ):** Numero di oscillazioni nell'arco di un secondo (Hz)  $\implies$  **Tono** grave/acuto
- **Ampiezza ( $A$ ):** Intensità del volume percepito (Pa)  $\implies$  **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 a 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:**

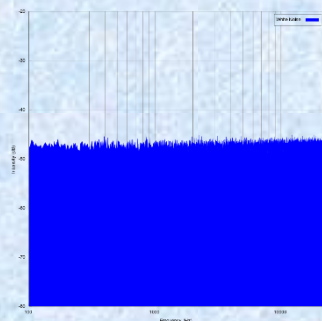
- 1) Più facile da trattare matematicamente
- 2) la **percezione dell'orecchio** riesce a discriminare suoni con differenza di 3 dB a qualunque valore effettivo della pressione sonora

# Classificazione in frequenza di un segnale di rumore

Rumore bianco



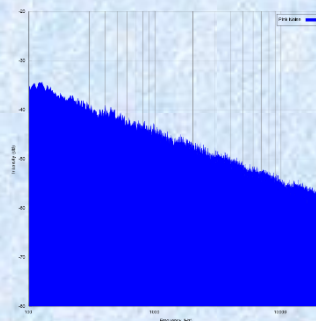
Distribuzione uniforme  
tra 20 Hz e 20 kHz



Rumore rosa



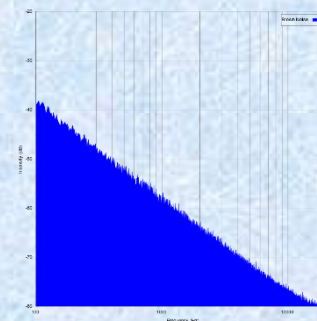
Abbastanza gradevole



Rumore marrone (o Browniano)



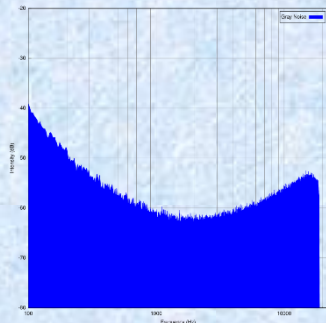
Riduce rumori  
fastidiosi



Rumore grigio



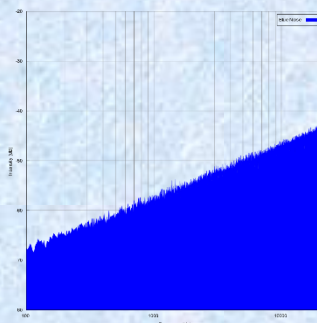
Compensa la sensibilità  
dell'orecchio umano



Rumore blu



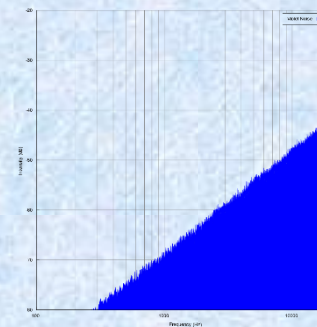
Piuttosto fastidioso



Rumore viola



Stridulante



## Classificazione in base all'intensità

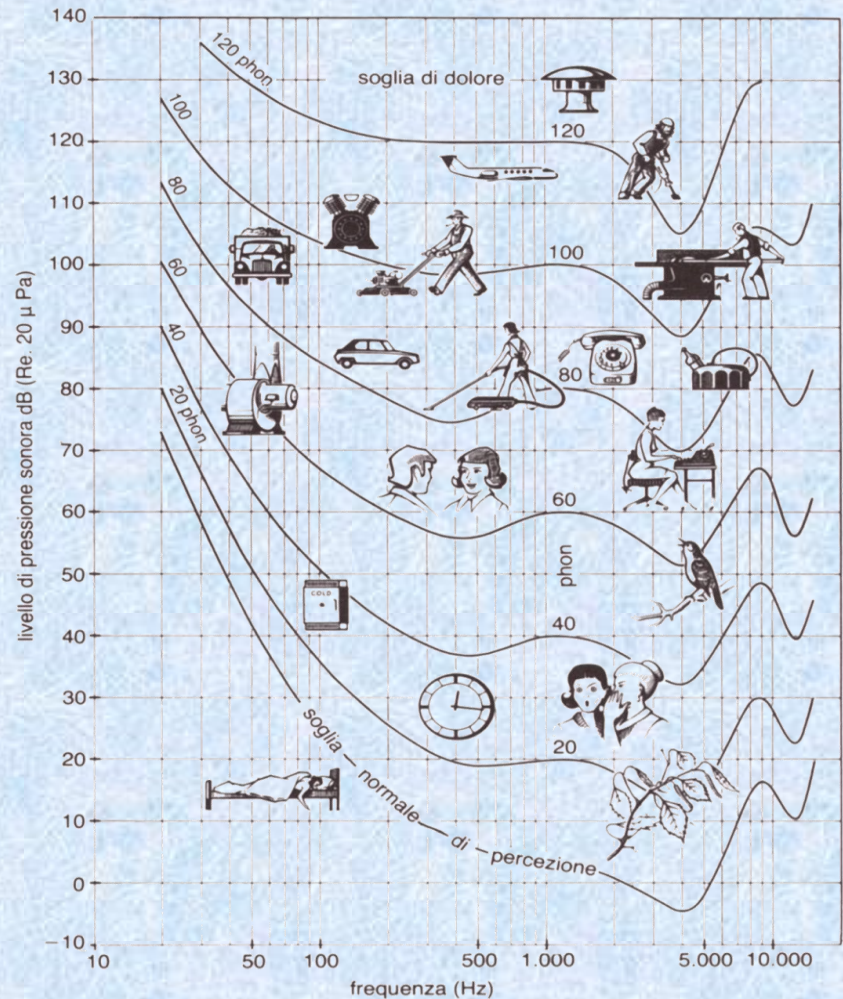
In base all'**intensità** i rumori possono essere:

- **Stabili o stazionari:** Quando le **fluttuazioni di livello** sono **trascurabili** ( $< 2.5$  dB rispetto alla media);
- **Fluttuanti**, in cui le **variazioni** sono **significative**, ma avvengono **in modo continuo**, senza variazioni brusche ( $> 2.5$  dB rispetto alla media);
- **Intermittenti:** Se la durata di ogni evento è **superiore ad 1 secondo** e avviene **in più riprese** durante il periodo di osservazione;
- **Impulsivi:** Se la durata di ogni evento è **inferiore ad 1 secondo** e avviene **bruscamente in più riprese** durante il periodo di osservazione;
- **Aleatori:** Prodotti da **un grande numero di sorgenti** che agiscono con distribuzione casuale, ciascuna con un tempo breve.



# Sorgenti tipiche di rumore – Scala in dB

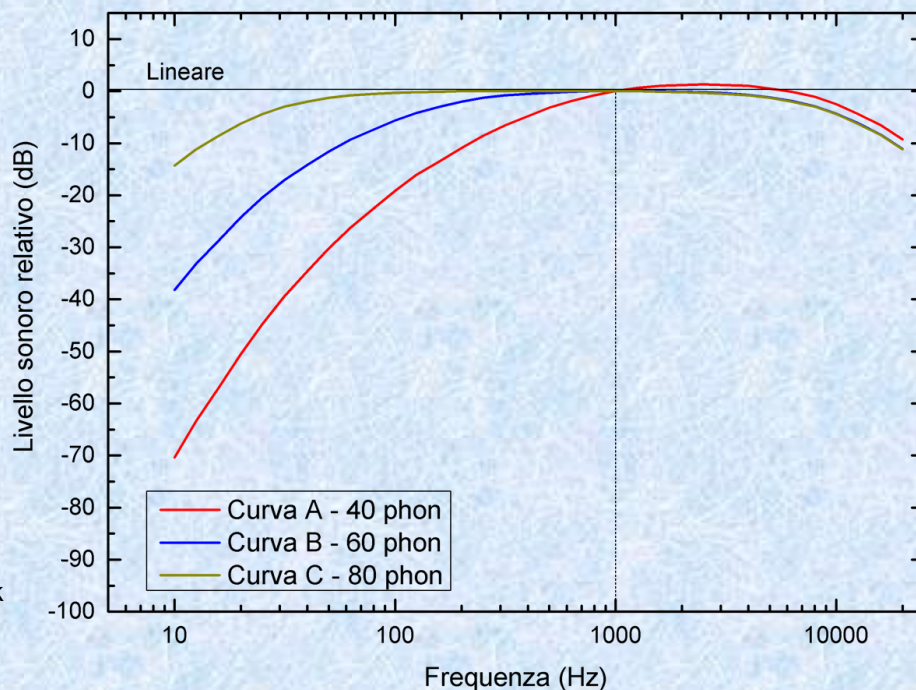
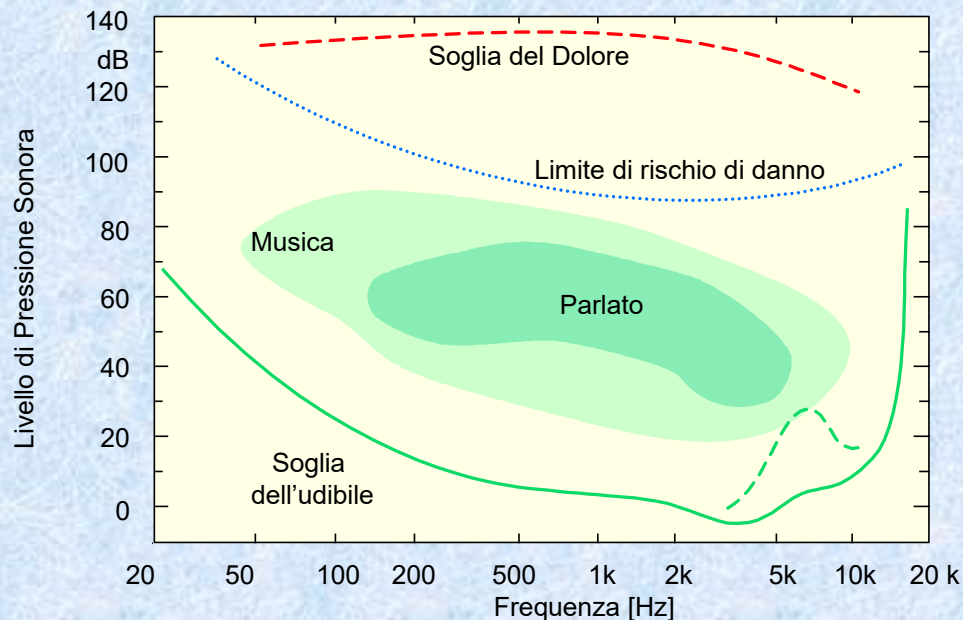
Sorgente	dB
Fruscio di foglie	10 - 20
Conversazione	40
Voce umana a toni elevati	50-60
TV ad alto volume	70
Macchine tessili	90
Sega circolare	100
Martello pneumatico	120
Aereo in decollo	140



# 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**.

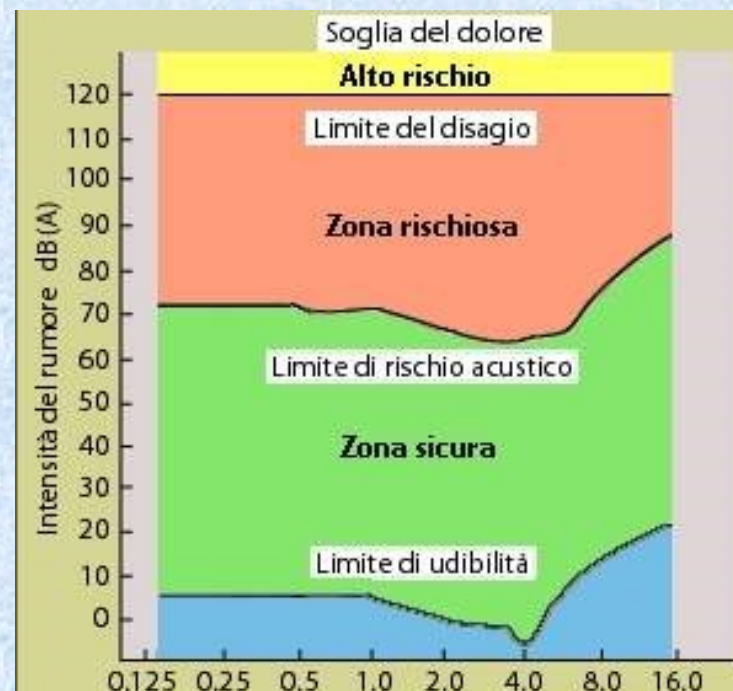


Per questi motivi si utilizzano le **curve di ponderazione** A, B e C tarate alla frequenza di 1 kHz per 40, 60 e 80 dB (phon) rispettivamente. In tali casi l'ampiezza si indica in dB(A), dB(B) e dB(C), per tener in conto questo fattore.



## Effetti del rumore sull'udito

- Per esposizione a rumori eccezionalmente intensi (**> 120 – 130 dB**) si può avere la **lesione del timpano** che porta 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).



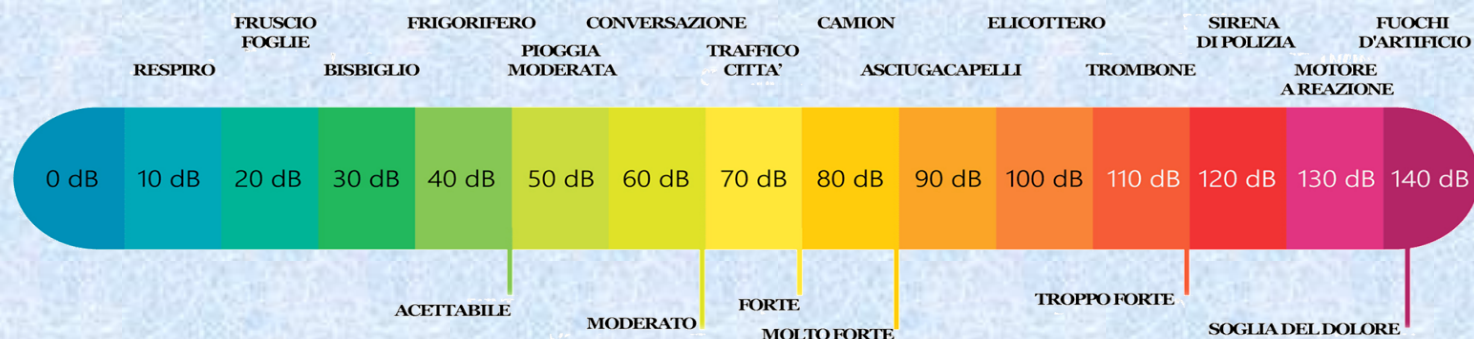
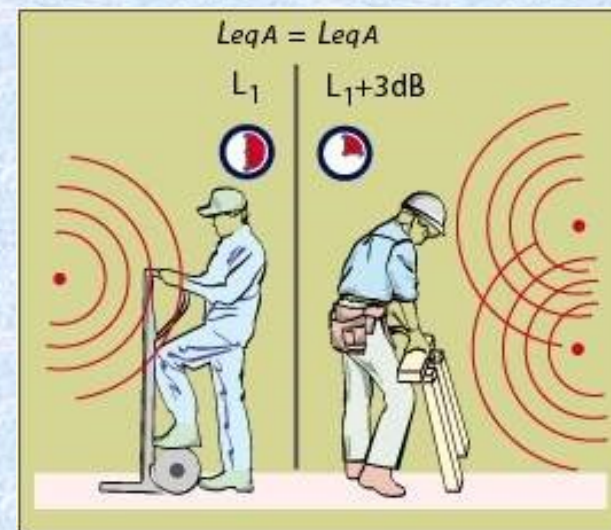
Frequenza (kHz)

# 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



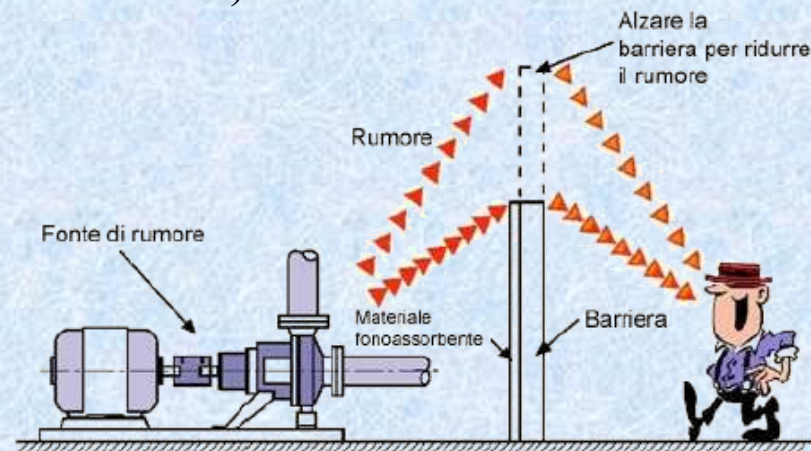


# La difesa acustica

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,
  - **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 (frequenze e ampiezza)

### 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*

*Concordare con i lavoratori*



# 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*.





# 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
<b>VERDE</b>	I	aree particolarmente protette	50	40	45	35	47	37
<b>GIALLO</b>	II	aree ad uso prevalentemente residenziale	55	45	50	40	52	42
<b>ARANCIONE</b>	III	aree di tipo misto	60	50	55	45	57	47
<b>ROSSO</b>	IV	aree di intensa attività umana	65	55	60	50	62	52
<b>VIOLA</b>	V	aree prevalentemente industriali	70	60	65	55	67	57
<b>BLU</b>	VI	aree esclusivamente industriali	70	70	65	65	70	70





UNIVERSITÀ  
DEL SALENTO



# Mappa di zonizzazione acustica

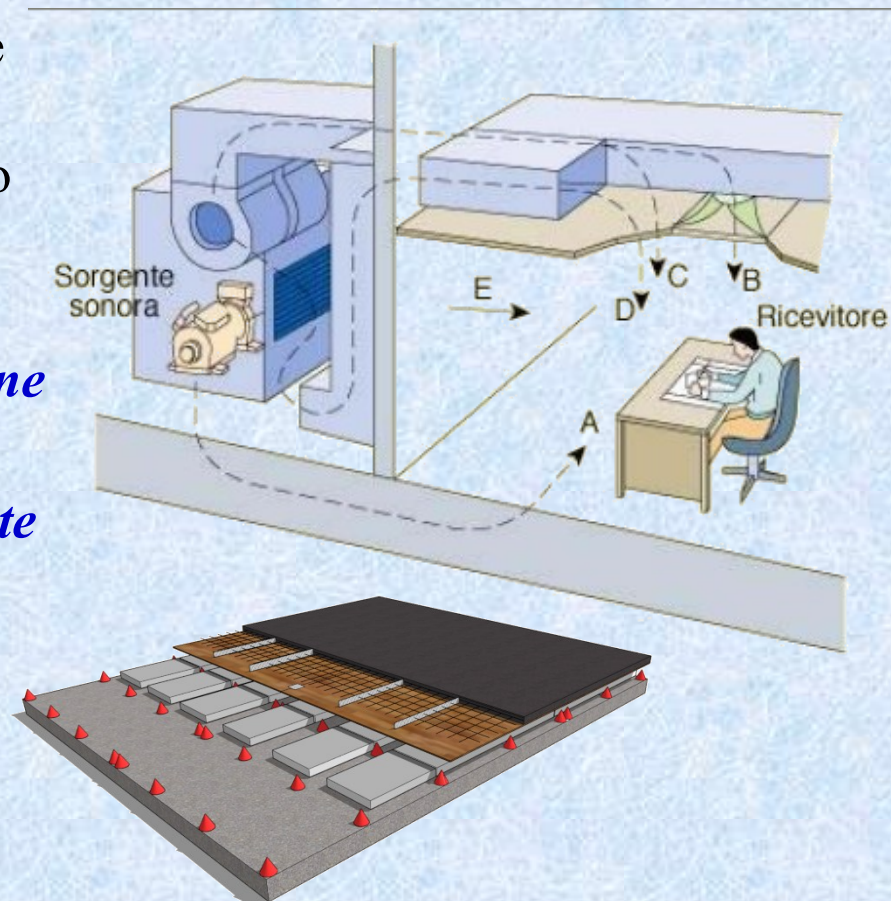


# Rumore strutturale

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:

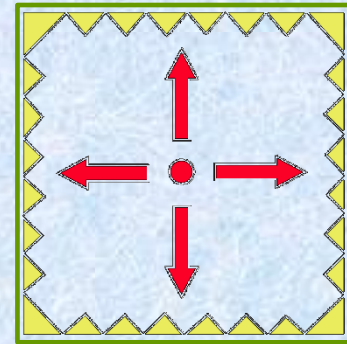
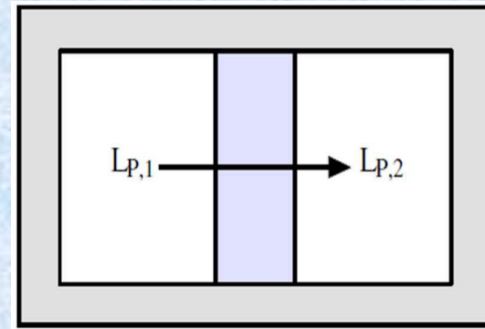
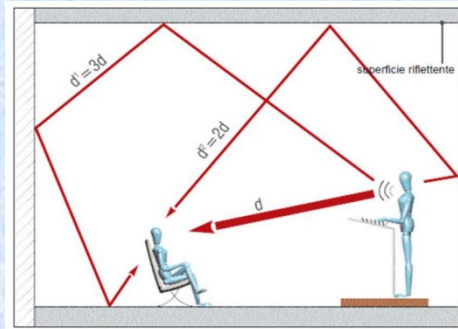
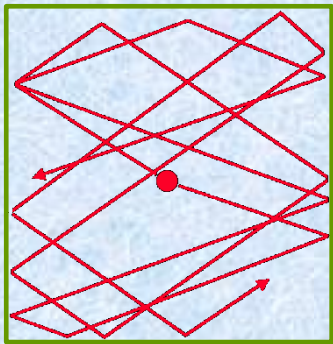
- Un *manufatto* ottenuto per *stampaggio* ad iniezione diretta *di miscele di lattici, silicone e poliuretano*;
- Un *manufatto fonoisolante/ fonoassorbente* ottenuto dal riciclo del PET (polietilene tereftalato);
- Un *massetto isolante termico e acustico* in *conglomerato cementizio* alleggerito con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





# Fonoassorbimento e Fonoisolamento

Il **fonoassorbimento** è la capacità di un materiale (sistema) di **dissipare l'energia sonora convertendola in calore**, riducendo il tempo di riverbero



AMBIENTE RIVERBERANTE  
( $\alpha = 0$ )

AMBIENTE ANECOICO  
( $\alpha = 1$ )

Il **fonoisolamento** è la capacità di un materiale (sistema) di **ridurre la trasmissione sonora** da un ambiente ad un altro

$\alpha$  (coefficiente di assorbimento sonoro) = energia assorbita / energia incidente



# Pannelli acustici

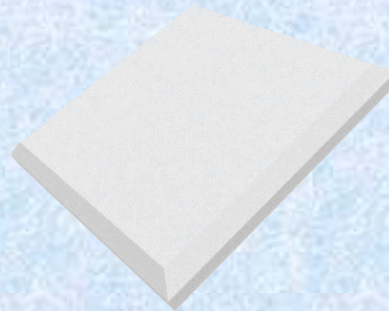
I **pannelli acustici** hanno tre funzionalità:

- **Ridurre il livello assoluto** di rumore nell'ambiente di lavoro al fine di **proteggere i lavoratori**;
- **Ridurre l'effetto eco**, limitando i fenomeni di riverbero, in modo da **migliorare la comprensione degli oratori** - **Fonoassorbimento**;
- **Ridurre la trasmissione del rumore** verso l'esterno, al fine di **isolare il locale** – **Fonoisolamento**.

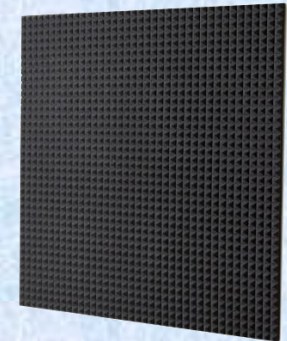
## Pannello con ganci di fissaggio



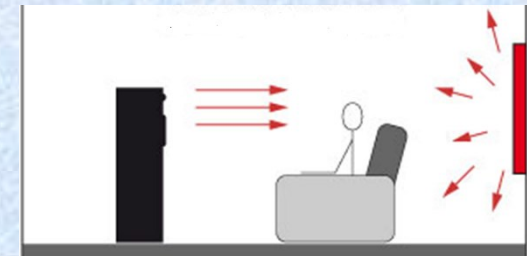
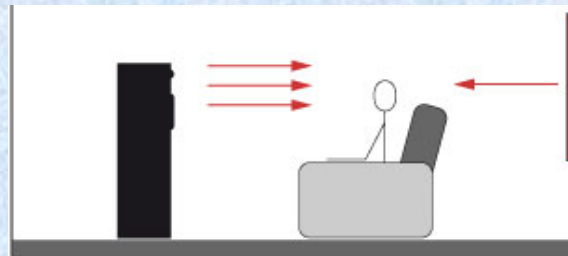
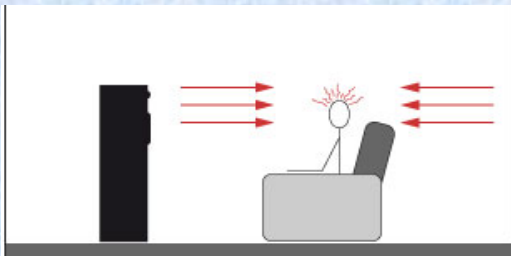
Senza correzione acustica



Assorbente



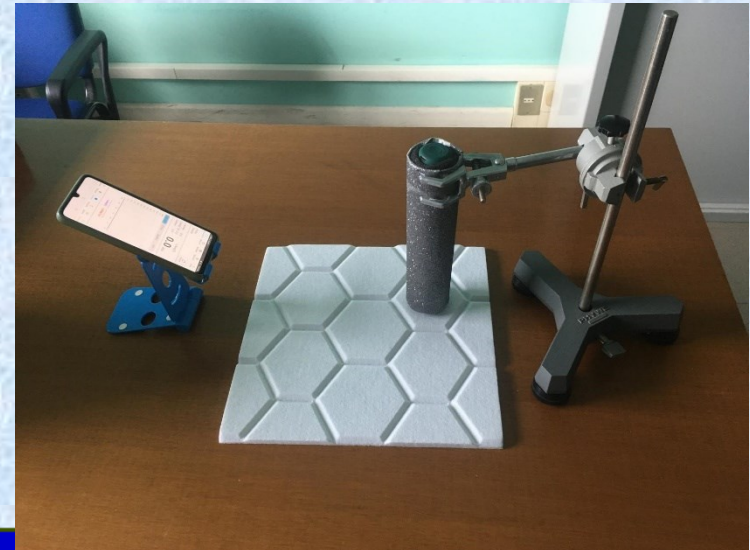
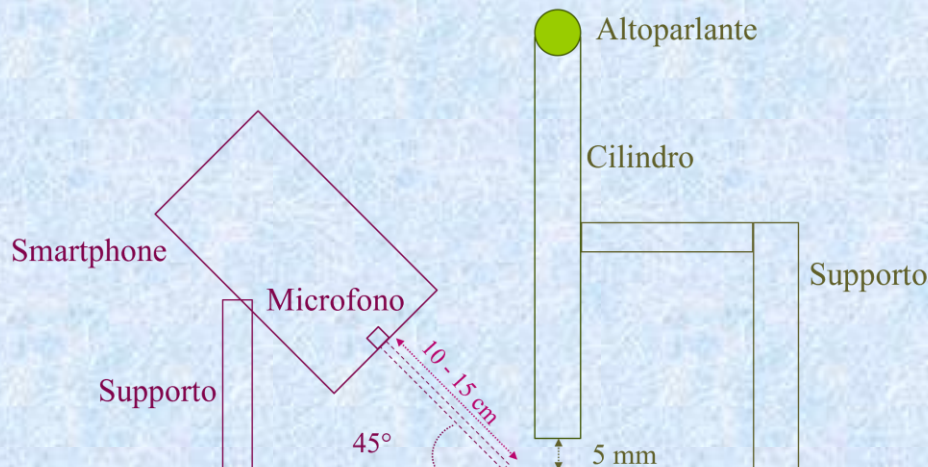
Diffondente



# Esperimento – Attenuazione acustica

Oggetti da utilizzare:

- PC con sorgenti di diversi toni e colori di rumore oppure smartphone con app Noise Generator;
- Altoparlante con cilindro di cartone e supporto;
- Pannello fonoassorbente e lastra di un materiale per confronto;
- Smartphone con supporto e app Openoise.



Pannello fonoassorbente o materiale di confronto



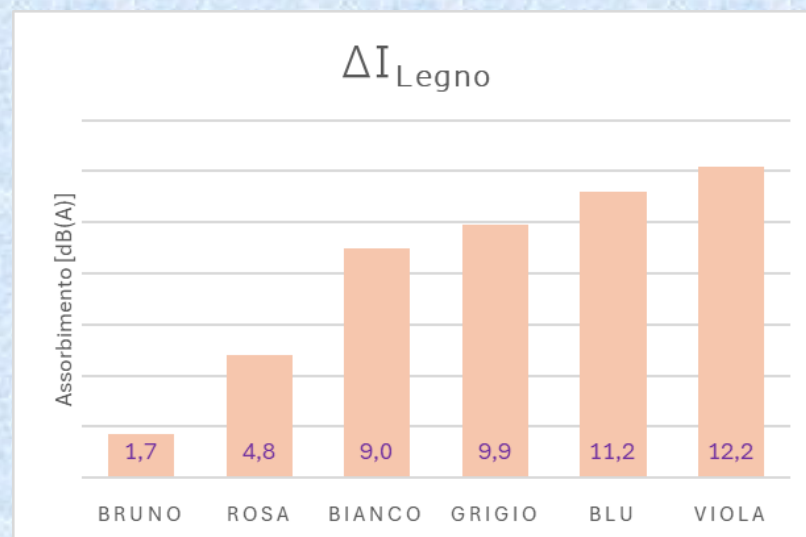
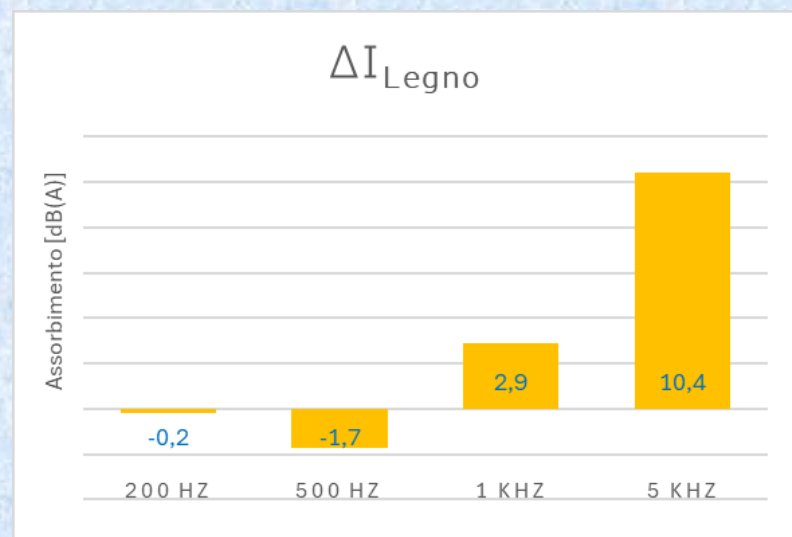
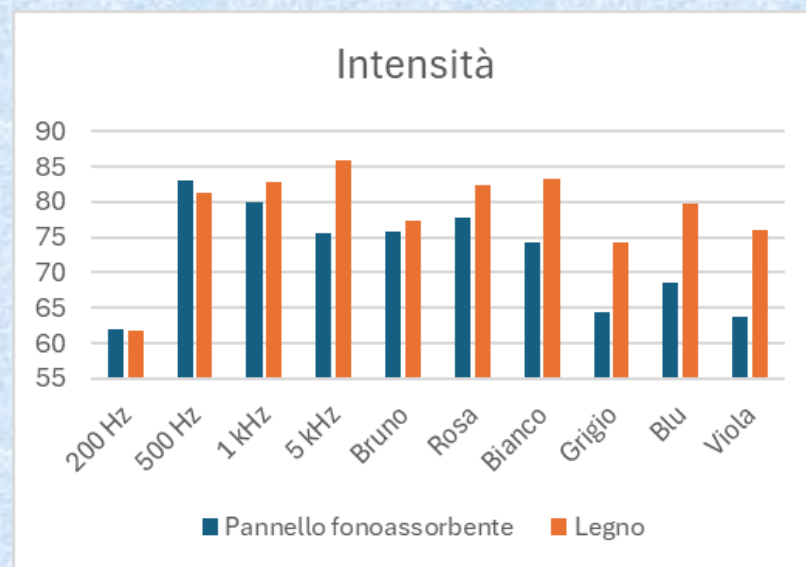
# Procedura della misura

- Preparare il setup sperimentale come indicato nello schema precedente;
- Sistemare il pannello fonoassorbente in posizione;
- Aprire il programma Openoise sullo smartphone e cliccare stop. Azzerare il conteggio. Il microfono dev'essere orientato verso il basso;
- Seguire una delle seguenti due procedure alternative:
  - ✓ Attivare Noise Generator sul secondo smartphone (altoparlante) con un tono o un colore di rumore a piacere oppure
  - ✓ Sintonizzare computer con altoparlante tramite bluetooth. Aprire cartella con file tonali e colore di rumore. Avviare uno di loro;
- Avviare Openoise. Leggere  $L_{Aeq}$  fino a quando si stabilizza – Appuntare questo valore;
- Mettersi su stop e azzerare Openoise;
- Ripetere l'operazione con gli altri file musicali senza spostare i supporti;
- Togliere il pannello e ripetere tutta la procedura;
- Per ogni file musicale sottrarre i valori della misura letta con e senza il pannello;
- Fare un grafico ad istogramma dei valori ottenuti per i diversi toni/colori;
- L'assorbimento è sempre positivo? Provare a trarre delle spiegazioni.
- Vi è un modo di dedurre se il pannello è prevalentemente assorbente oppure diffondente?



# Risultati esemplificativi

Frequenza / Tipo di rumore	Pannello fonoassorbente	Legno	$\Delta I_{\text{Legno}}$
200 Hz	62,0	61,8	-0,2
500 Hz	83,1	81,4	-1,7
1 kHz	79,9	82,8	2,9
5 kHz	75,5	85,9	10,4
Bruno	75,7	77,4	1,7
Rosa	77,7	82,5	4,8
Bianco	74,2	83,2	9,0
Grigio	64,3	74,2	9,9
Blu	68,6	79,8	11,2
Viola	63,8	76,0	12,2





UNIVERSITÀ  
DEL SALENTO



*Grazie per l'attenzione!*

