UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

AGENTI FISICI

GENERALITÀ

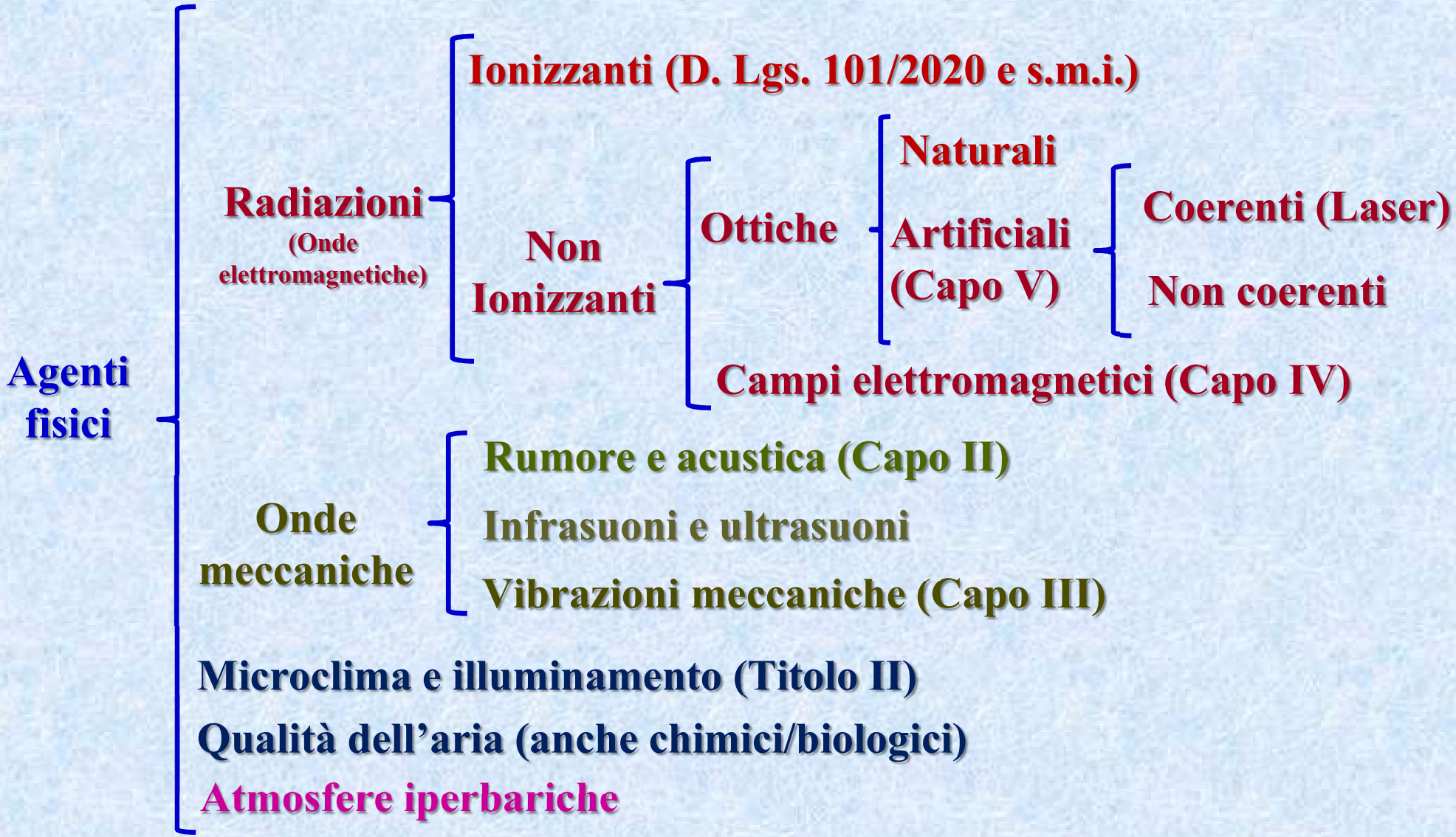
A cura di:

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

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Quali sono gli agenti fisici?



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

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

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Che cos'è il suono?

Il suono è ogni variazione di pressione che l'orecchio umano può udire. Si manifesta attraverso onde meccaniche che si propagano nell'aria.

Si trasferisce con vibrazioni elastiche attraverso un mezzo, che può essere l'aria, ma anche un solido o un liquido.

Non si trasmette nel vuoto.

In pratica, il suono si propaga nell'aria mediante compressioni e decompressioni delle particelle: si tratta di onde longitudinali.

Nel momento in cui vi è una sorgente di vibrazioni i suoi movimenti spostano le particelle d'aria comprimendole prima e facendole allontanare successivamente.

Le particelle d'aria, spostandosi, a loro volta esercitano una compressione sulle particelle vicine e trasferiscono a queste l'energia.

In tal modo il suono si propaga senza che ci sia spostamento di materia.

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

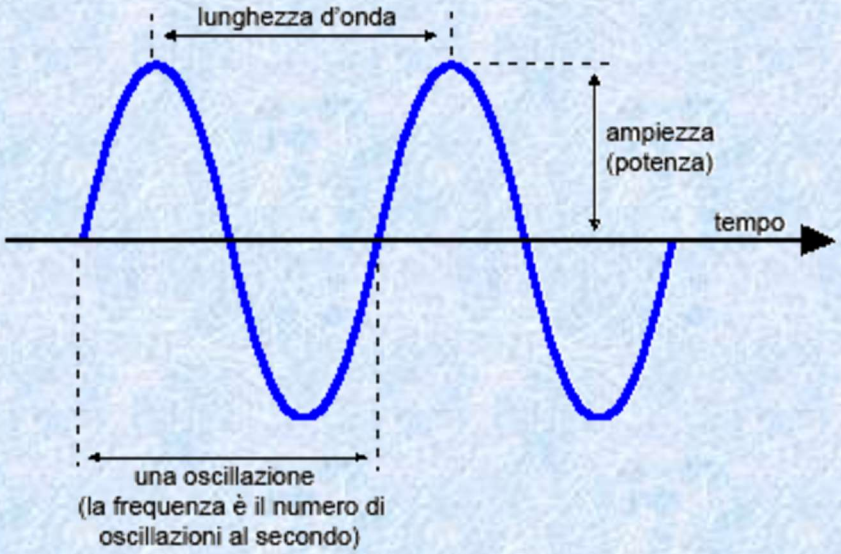
Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

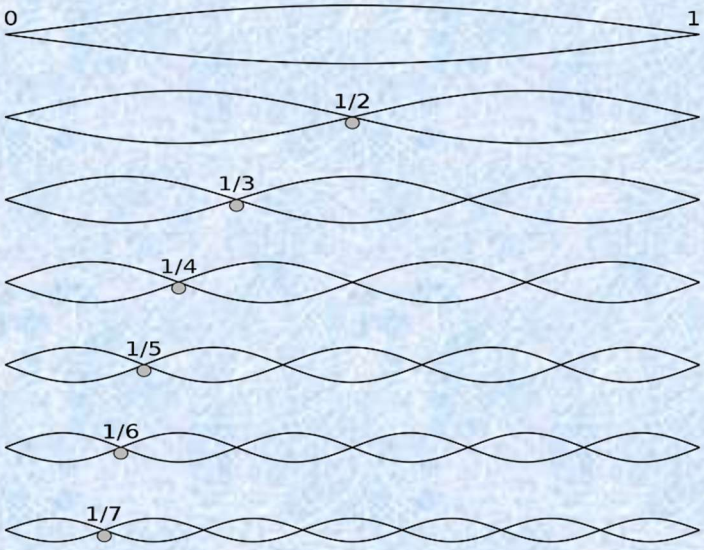
Frequenza di un suono

Il **numero di oscillazioni di pressione per secondo** che avvengono è chiamata la ***frequenza*** del suono ed è misurata in Hertz (Hz). La frequenza del suono di una sorgente acustica stabilisce il suo tono distintivo.

I suoni che l'orecchio umano può percepire sono compresi tra le frequenze di 20 Hz e di 20 kHz.

Se il tono ha una frequenza alta è detto acuto, mentre se è bassa il tono è grave.





I suoni al di sotto di 20 Hz sono detti infrasuoni, mentre quelli superiori a 20 kHz sono gli ultrasuoni.

Un suono che ha solo una frequenza è detto tono puro.

Un suono armonico come ad esempio quello di uno strumento musicale è costituito dalla sovrapposizione di toni puri.

Ampiezza di un suono: il decibel

Un'altra grandezza fisica che caratterizza il suono è l'***ampiezza*** (o intensità) delle fluttuazioni di pressione. Il suono più debole che può percepire l'orecchio umano (soglia di percezione) è di circa $p_0 = 20\ \mu Pa = 0.00002$ Pa, mentre la soglia del dolore dell'orecchio umano è di 200 Pa.

Si comprende che su una scala cosi ampia (8 ordini di grandezza) sia molto difficile fare dei ragionamenti. Per tale motivo si preferisce utilizzare una nuova scala: **il decibel (dB)**.

Il decibel in realtà non è un unità assoluta di misura, ma confronta il livello misurato con un altro valore di riferimento. La scala del dB è una scala logaritmica e usa come valore di riferimento la **soglia di percezione**. A tale suono corrisponde un valore di **0 dB**. Ad ogni fattore 10 di crescita della pressione sonora p corrisponde una somma di 20 dB alla scala dei dB. In questo modo:

- a 20 μPa corrispondono 0 dB
- a 200 μPa corrispondono 20 dB
- a 2000 μPa corrispondono 40 dB, e cosi via.

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

La **soglia del dolore** corrisponde a **140 dB**.

L'uso della **scala logaritmica** per la determinazione dell'ampiezza sonora è **giustificato** dal fatto che la **percezione dell'orecchio** riesce a discriminare suoni con differenza di 3 dB a qualunque valore effettivo della pressione sonora.

Se la frequenza del suono è riferita a 1 kHz la scala è quella del phon: **1 phon = 1 dB** a **1 kHz**

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

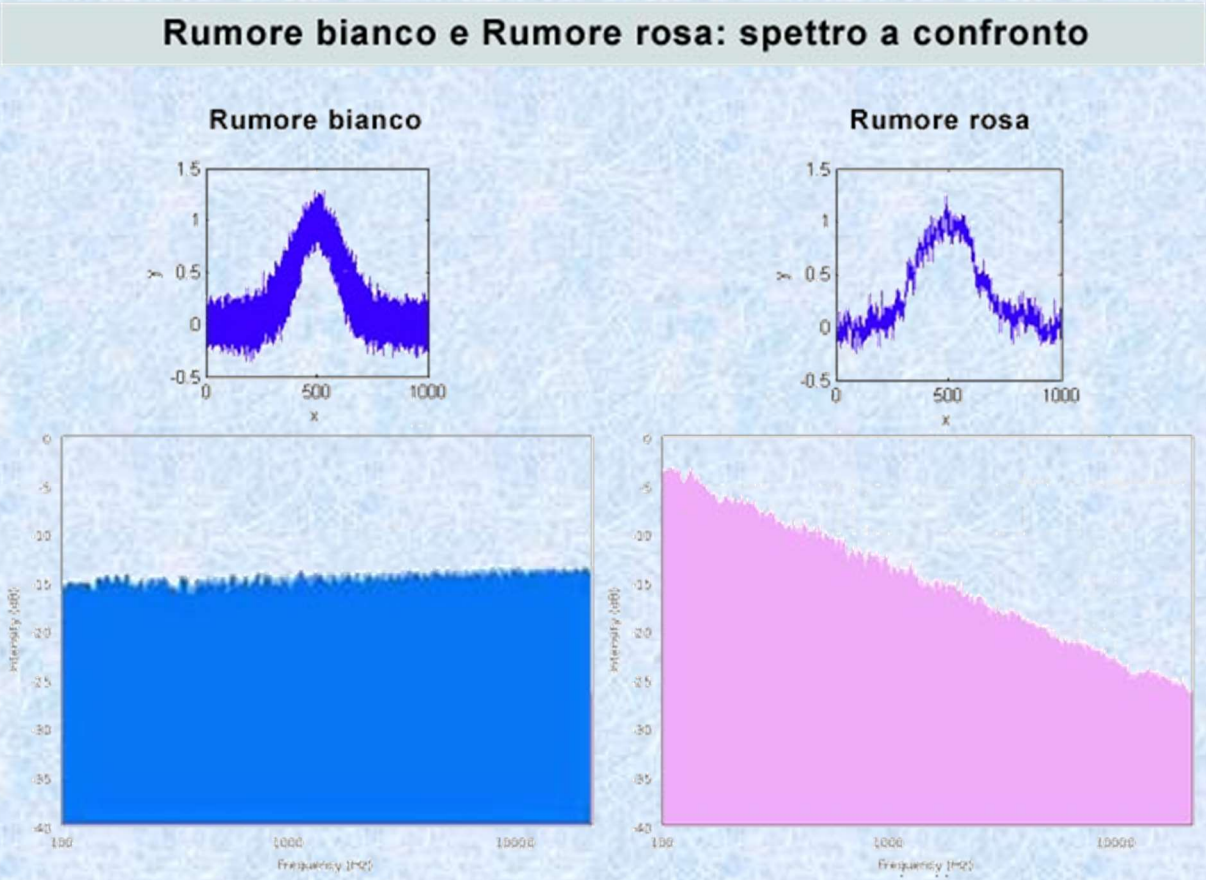
Rumore

Tuttavia, la maggior parte dei suoni che incontriamo in natura sono costituiti da una ***miscela ampia di frequenze*** rapidamente variabili nel ***tempo***; tali suoni costituiscono una **banda di rumore**.

La differenza tra rumore e suono sta nella periodicità e regolarità delle onde sonore, essendo quelle del rumore assolutamente irregolari e non sinusoidali.

Il rumore è detto bianco se si distribuisce uniformemente su tutte le frequenze comprese tra 20 Hz e 20 kHz.

Viceversa, il rumore è detto rosa se tiene conto della sensibilità dell'udito.



Classificazione dei tipi di rumore

Sotto il **profilo dell'intensità** i rumori possono essere classificati in:

- **Continui** a banda larga o a banda stretta, se le oscillazioni non superano i 5 dB in più o in meno rispetto a quello medio;
- **Semicontinui**, se le oscillazioni sono comprese tra 5 e 20 dB rispetto a quello medio. Sono prodotti da martelli e scalpelli pneumatici, piccole presse a trance, macchine a pestelli;
- **Impulsivi**. In cui sono presenti oscillazioni maggiorative dell'intensità sonora di oltre 20 dB rispetto al valore medio; i valori di picco che si possono riscontrare vanno - a distanza di 50 cm dalla sorgente - da 100 a 140 dB, con punte di 145-150 dB per le chiodatrici pneumatiche;
- **Esplosivi**: Quando si hanno variazioni di livello sonoro più di 40 dB in 500 msec.

Classificazione dei tipi di rumore

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.

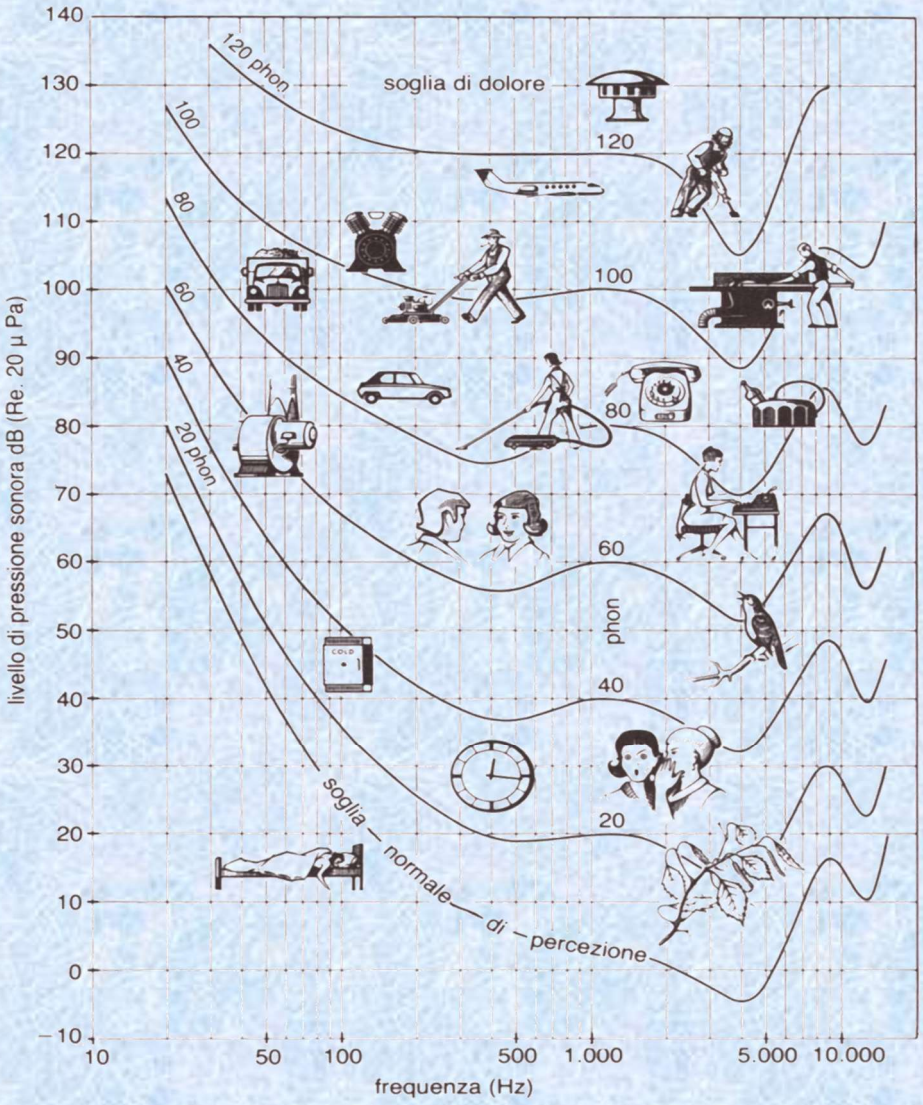
Classificazione dei tipi di rumore

Secondo il **comportamento temporale** i rumori possono essere:

- **Stazionari:** Quando le fluttuazioni di livello sono trascurabili (< 2.5 dB rispetto alla media).
- **Fluttuanti**, in cui le variazioni sono elevate e avvengono in modo continuo, cioè senza brusche cadute al livello del rumore di fondo ambientale (> 2.5 dB rispetto alla media).
- **Intermittenti:** Diminuiscono ed aumentano bruscamente rispetto al valore di fondo per uno o più secondi.
- **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

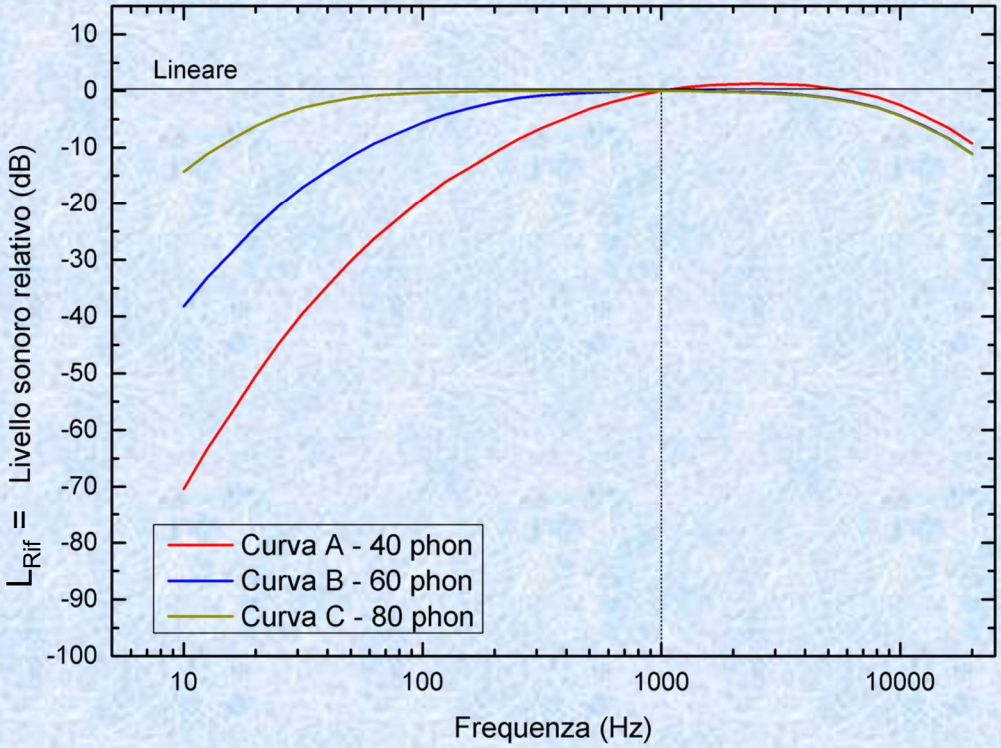


Percezione del suono e curve di ponderazione

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 2 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.



La scala A è utilizzata per rumori continui e/o semicontinui. La scala C per quelli impulsivi / esplosivi.

L'ampiezza si indica in dB(A), dB(B) e dB(C), per tener in conto del fattore L_{Rif}:

$$L\,[dB(A)] = L\,[dB] - L_{Rif,\,A} \qquad L\,[dB(C)] = L\,[dB] - L_{Rif,\,C}$$

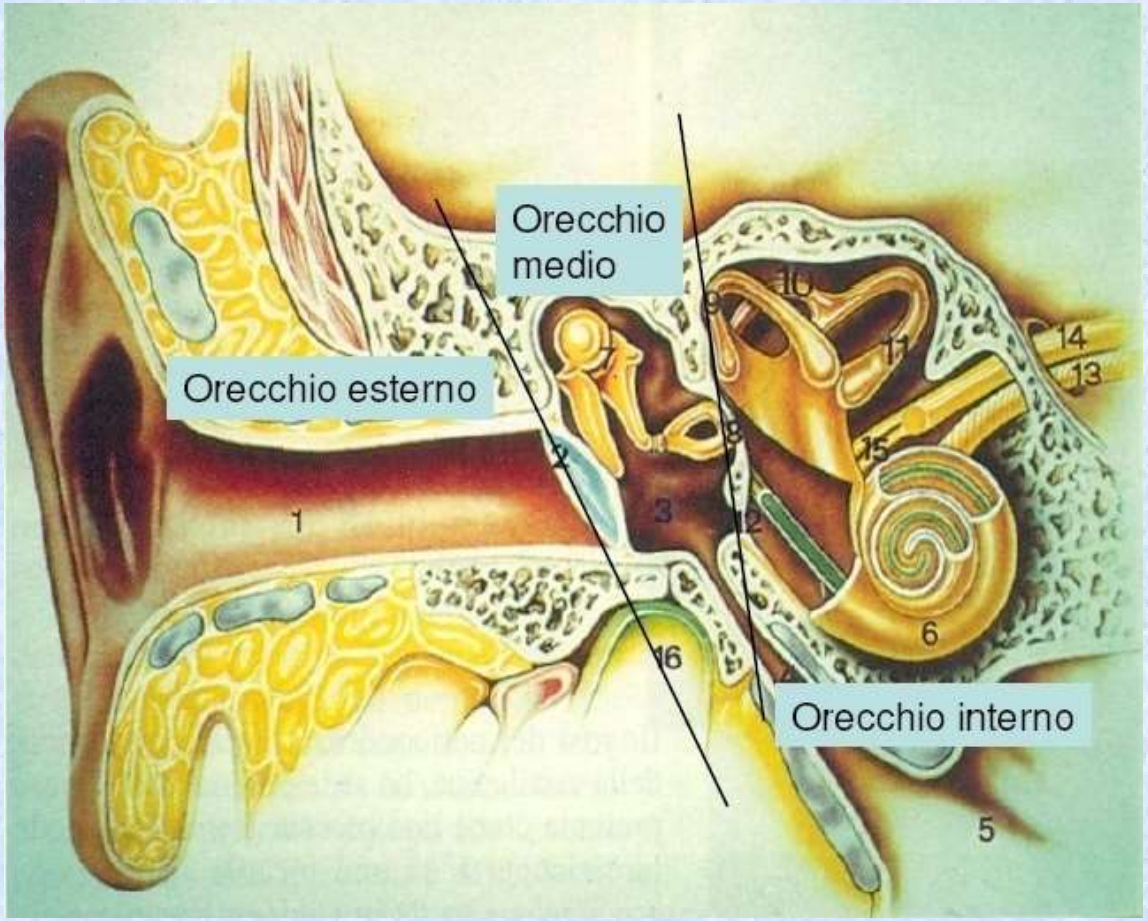
UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"

Fisiologia dell'orecchio

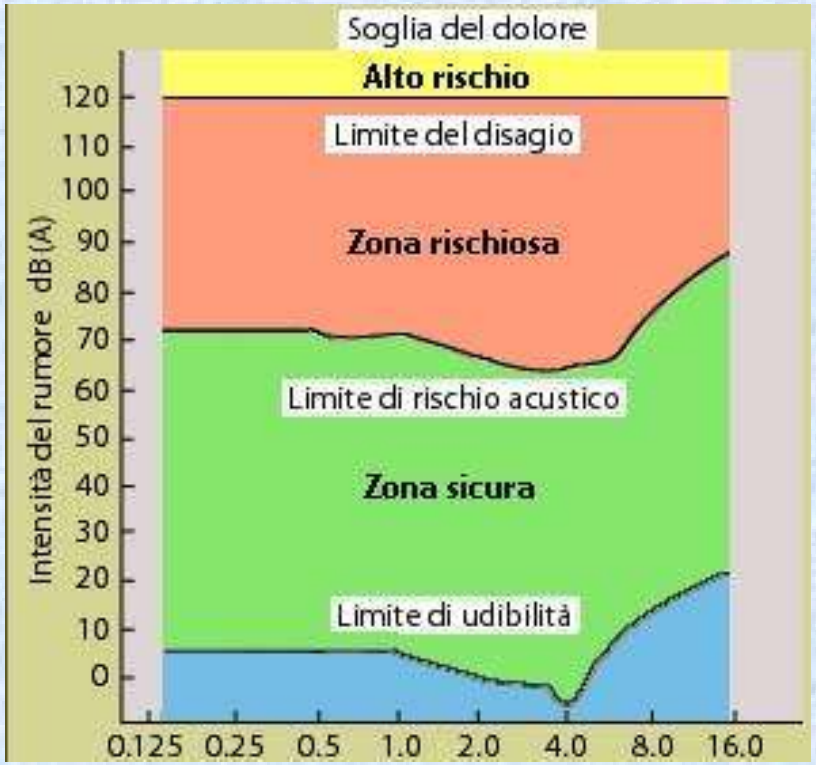
Schema anatomico dell'udito:

1. Condotto uditivo esterno;
2. Membrana del timpano;
3. Cavo del timpano;
4. Tuba di Eustachio;
5. Rinofaringe;
6. Coclea;
7. Catena ossiculare;
8. Finestra ovale con la staffa;
9. Canale semicircolare laterale;
10. Canale semicircolare posteriore;
11. Canale semicircolare anteriore;
12. Finestra rotonda;
13. Nervo cocleare;
14. Nervo faciale;
15. Nervo vestibolare;
16. Sifone carotideo.



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 notevole. L'effetto è maggiore sui toni acuti (alte frequenze).

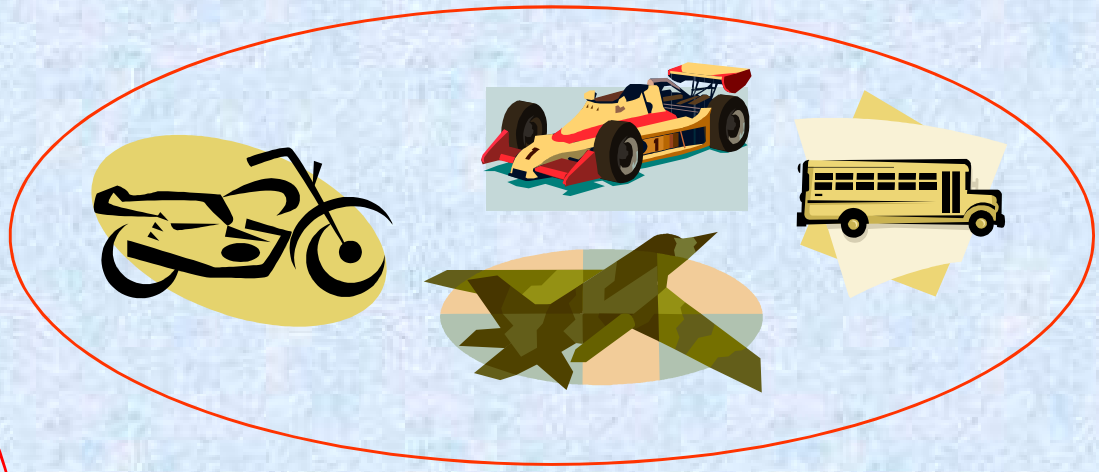


UNIVERSITÀ DEL SALENTO

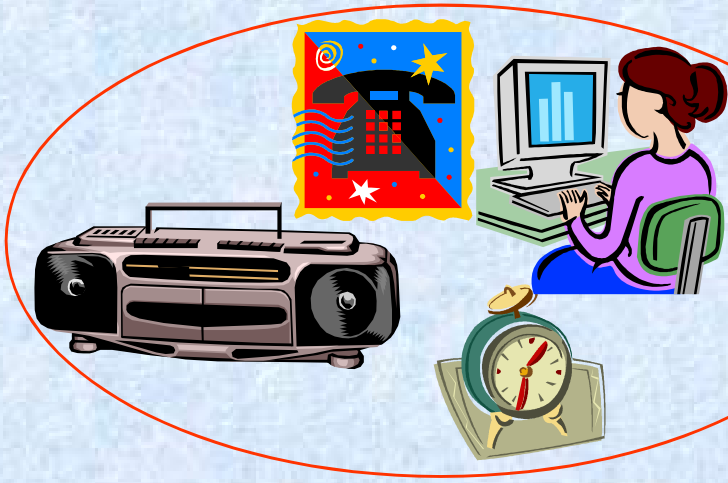
Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Principali sorgenti di rumore

AMBIENTI ESTERNI



L A V O R O



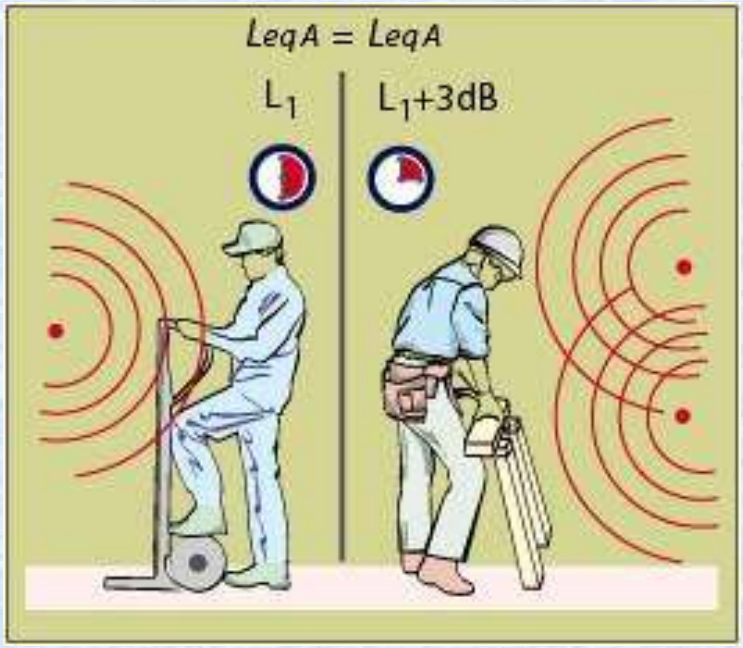
SCUOLA CASA E UFFICIO

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"

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.

Si osserva che:

- Un dimezzamento nel tempo di esposizione porta ad un abbassamento di soli 3 dB nel livello equivalente;
- L'esposizione a due sorgenti acustiche, a parità di altre condizioni (ampiezza, distanza, orientamento, ecc.), porta ad un innalzamento di 3 dB del livello equivalente, rispetto alla singola sorgente.

Definizioni ai sensi del D. Lgs. 81/2008

Il D. Lgs. 81/2008 definisce le seguenti grandezze fisiche:

- *pressione acustica di picco (p_{peak})*: valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza "C" – è il valore impulsivo che non deve essere mai superato durante le lavorazioni;
- *livello di esposizione giornaliera al rumore (**LEX,8h**)*: [dB(A) riferito a 20 µPa] - valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, definito dalla Norma Internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6. Si riferisce a tutti i rumori sul lavoro, incluso il rumore impulsivo;
- *livello di esposizione settimanale al rumore (**LEX,w**)*: valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore, definito dalla Norma Internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6, nota 2.

Grandezze di riferimento

Il Titolo VIII introduce delle **grandezze di riferimento** per i vari agenti fisici:

- I **Valori Limite di Esposizione (VLE) non devono essere oltrepassati** deliberatamente in nessun caso e richiedono, in caso di un **potenziale superamento**:
  - l'adozione di **misure immediate** per **riportare l'esposizione al di sotto dei VLE**,
  - l'**individuazione** delle **cause** del superamento dei VLE;
  - l'**adeguamento** delle **misure** di **protezione** e **prevenzione** per evitare un nuovo superamento;
- I **Valori di Azione (VA)**, il cui **superamento** può essere **tollerato** in determinati casi, a condizione di **adottare/programmare azioni nell'immediato**. Talvolta si distingue tra **valori di azione inferiori** e **valori di azione superiore**.

Livelli di azione e livelli di esposizione

Il D. Lgs. 81/2008 prevede i seguenti **limiti di rumore** per il **livello equivalente** e per il **livello acustico di picco**:

- **Valore inferiore d'azione**: **Leq = 80 dB(A), p_{peak} = 112 Pa [135 dB(C)** riferiti a 20 μPa**];**
- **Valore superiore d'azione: Leq = 85 dB(A), p_{peak} = 140 Pa [137 dB(C)** riferiti a 20 μPa];
- **Valore limite di esposizione: Leq = 87 dB(A), p_{peak} = 200 Pa [140 dB(C)** riferiti a 20 μPa].

Qualora l'**esposizione** sia molto **variabile** nell'arco della settimana da un giorno all'altro, è possibile sostituire il **livello** di **esposizione giornaliera** con quello **settimanale** a condizione che:

- il livello di esposizione settimanale al rumore, come dimostrato da un controllo idoneo, **non ecceda** il **valore limite di esposizione di 87 dB(A)**;
- siano **adottate** le adeguate **misure per ridurre al minimo i rischi** associati a tali attività.

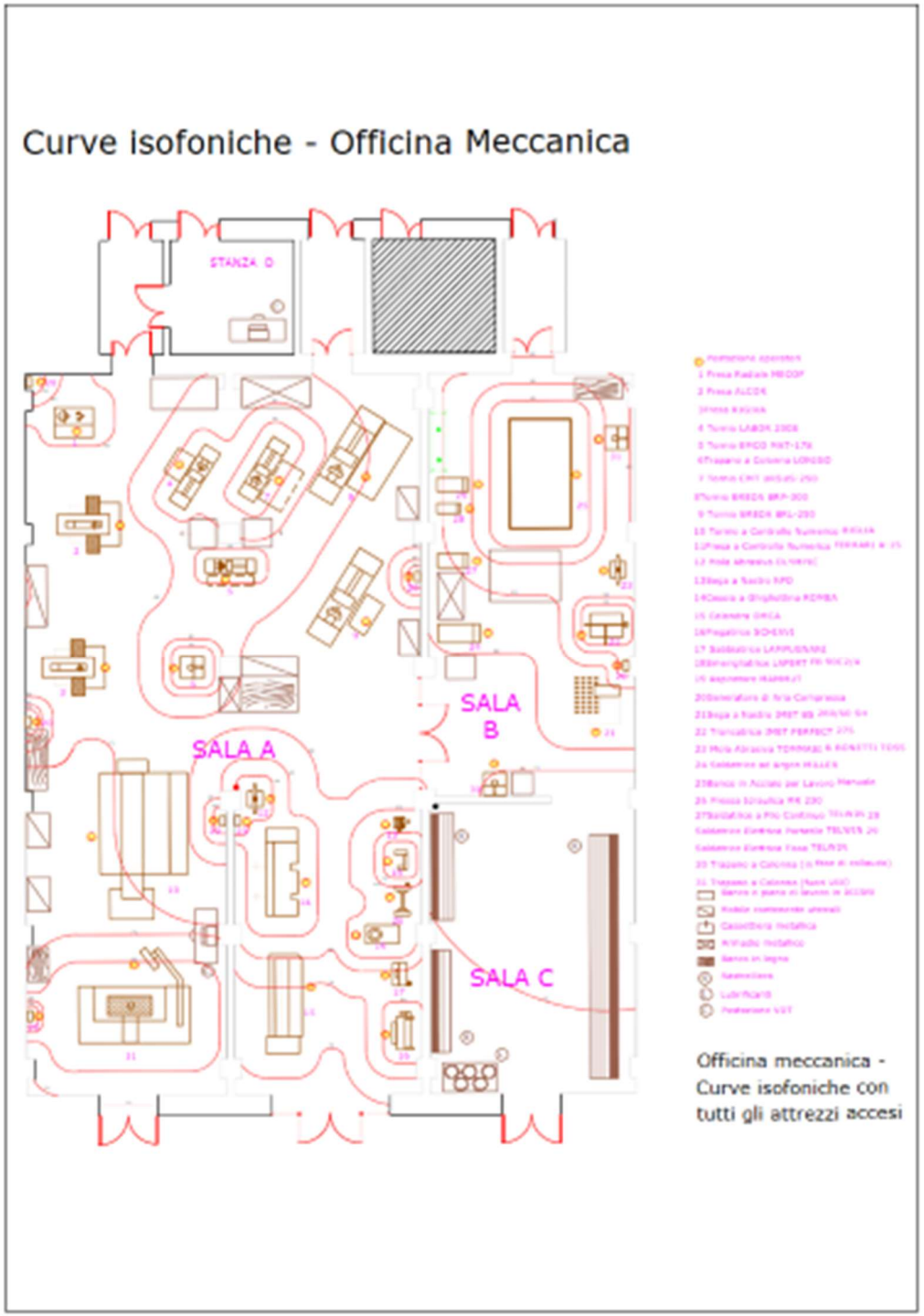
Se **nel corso delle settimane** vi è una significativa **variabilità**, va considerato il **livello settimanale massimo ricorrente**.

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Curve isofoniche

In ambienti con diverse sorgenti di rumore conviene fare una mappatura con l'indicazione delle curve isofoniche che delimitano le zone in cui vi è il superamento del limite d'esposizione, del valore superiore d'azione e il valore inferiore d'azione.



Metodi di riduzione dei rischi. Principi

L'art. 15 del D. Lgs. 81/2008 prevede l'esecuzione di scelte basate su un percorso logico che segua le seguenti **priorità**:

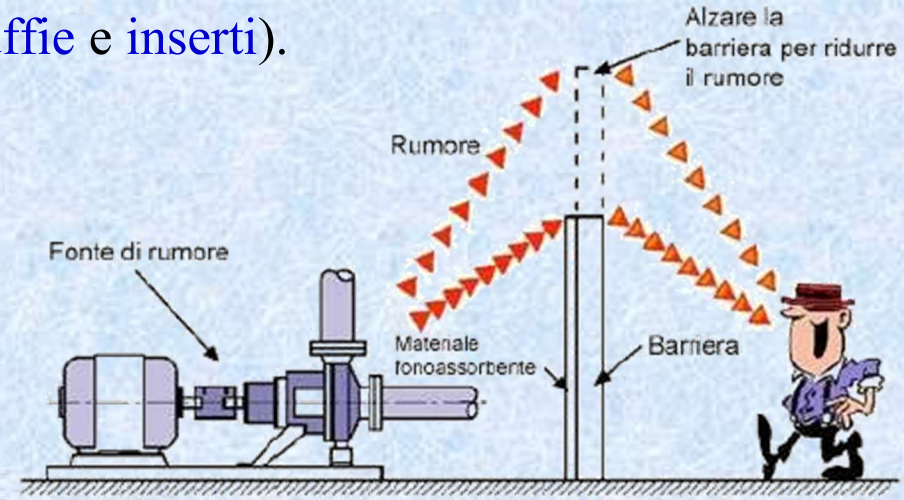
1. **possibilità di prevenire o eliminare i rischi alla radice**. Ciò può ad esempio essere fatto valutando:
   - se l'attività o il lavoro sono indispensabili;
   - la possibilità di eliminare il pericolo;
   - la possibilità di utilizzare sostanze o processi di lavoro alternativi.
2. se non è possibile evitare o prevenire i rischi, **stabilire se sia possibile ridurli ad un livello idoneo a non compromettere la salute e la sicurezza delle persone esposte**. Nella determinazione delle strategie occorre adottare i seguenti ulteriori principi generali di prevenzione:
   - Combattere i rischi alla fonte;
   - Adeguare il lavoro ai singoli individui, soprattutto per quanto riguarda il posto di lavoro, le attrezzature, i metodi di lavoro e di produzione, rivolgendo particolare attenzione per attenuare il lavoro monotono e ripetitivo;
   - Tener conto del grado di evoluzione della tecnica;
   - Sostituire ciò che è pericoloso con ciò che non lo è oppure che lo è di meno;
   - Programmare la prevenzione, mirando a un complesso coerente che integri tecnica, organizzazione del lavoro, condizioni di lavoro, relazioni sociali e fattori ambientali;
   - Dare priorità alle misure di protezione collettiva rispetto a quelle individuali.

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.

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Scelta del D.P.I.

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"

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

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Segnaletica per Rumore

Uso dei D.P.I.: Trasferimento del rischio

Un principio generale da tenere in conto riguarda il **trasferimento del rischio**, ovvero evitare che **quando si risolve un problema se ne crei un altro**. In un ambiente particolarmente rumoroso se si forniscono agli operatori delle cuffie per l'attenuazione del rumore occorre accertarsi che, oltre ad un eventuale sistema acustico di allarme antincendio, si attivino anche delle lampade specifiche di emergenza.

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Attenzione ai D.P.I.: Segnale acustico

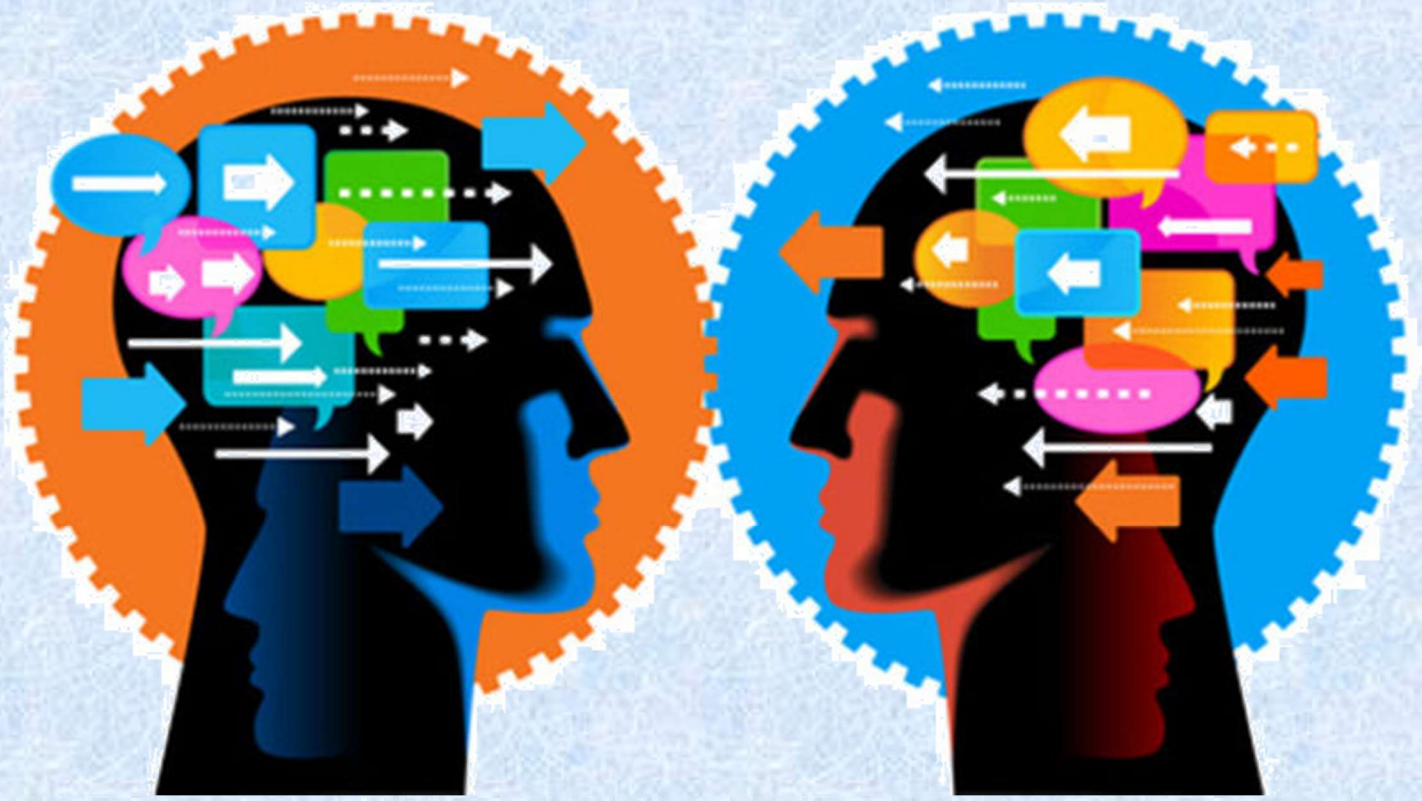
Segnale acustico di allarme: un segnale sonoro in codice emesso e diffuso da un apposito dispositivo, senza impiego di voce umana o di sintesi vocale.

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

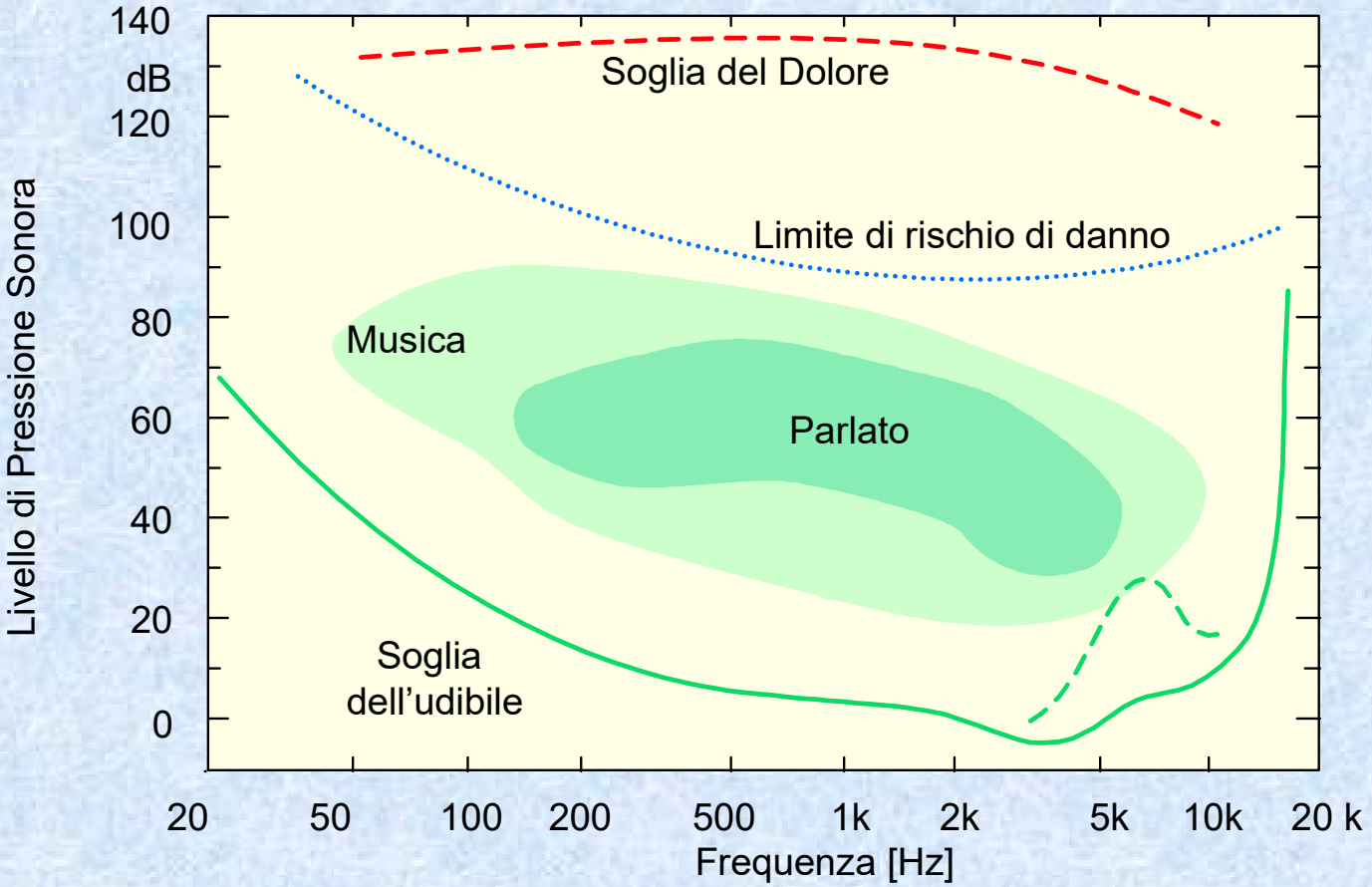
Attenzione ai D.P.I.: Comunicazione verbale

Garantire la comunicazione verbale in caso di allarme: un messaggio verbale predeterminato, con impiego di voce umana o di sintesi vocale.



Scelta dei D.P.I.: Comunicazione verbale

Il linguaggio parlato è compreso in genere tra 100 Hz e 5 kHz. Di conseguenza se un dato macchinario genera rumore fuori da questa banda è possibile utilizzare D.P.I. che permettono la regolare conversazione.

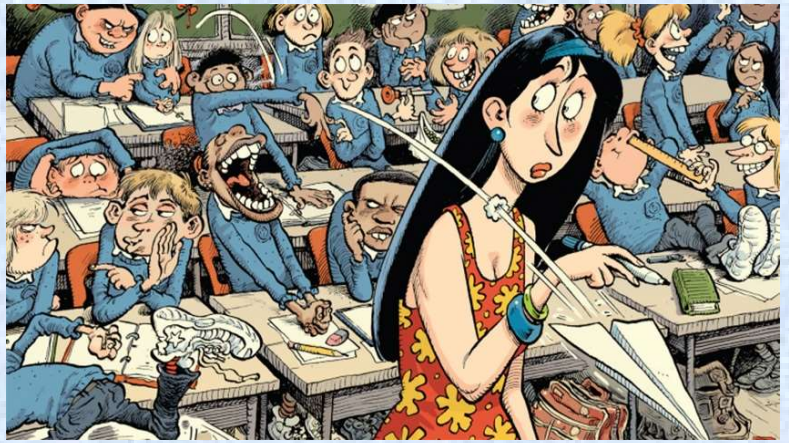


UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Scuola, casa e ufficio

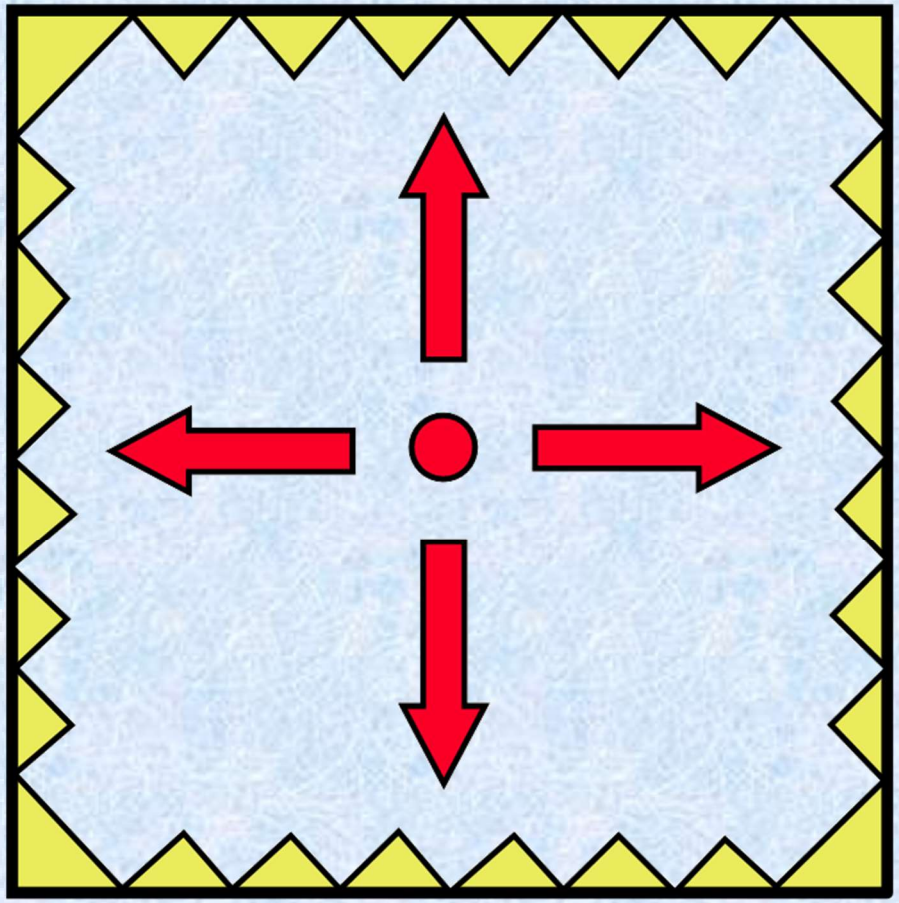
Negli ambienti quali scuole, case e uffici il problema principale non è legato direttamente ai danni sanitari, ma piuttosto a ***scarsa comprensione verbale*** e ***mancanza di concentrazione***.



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

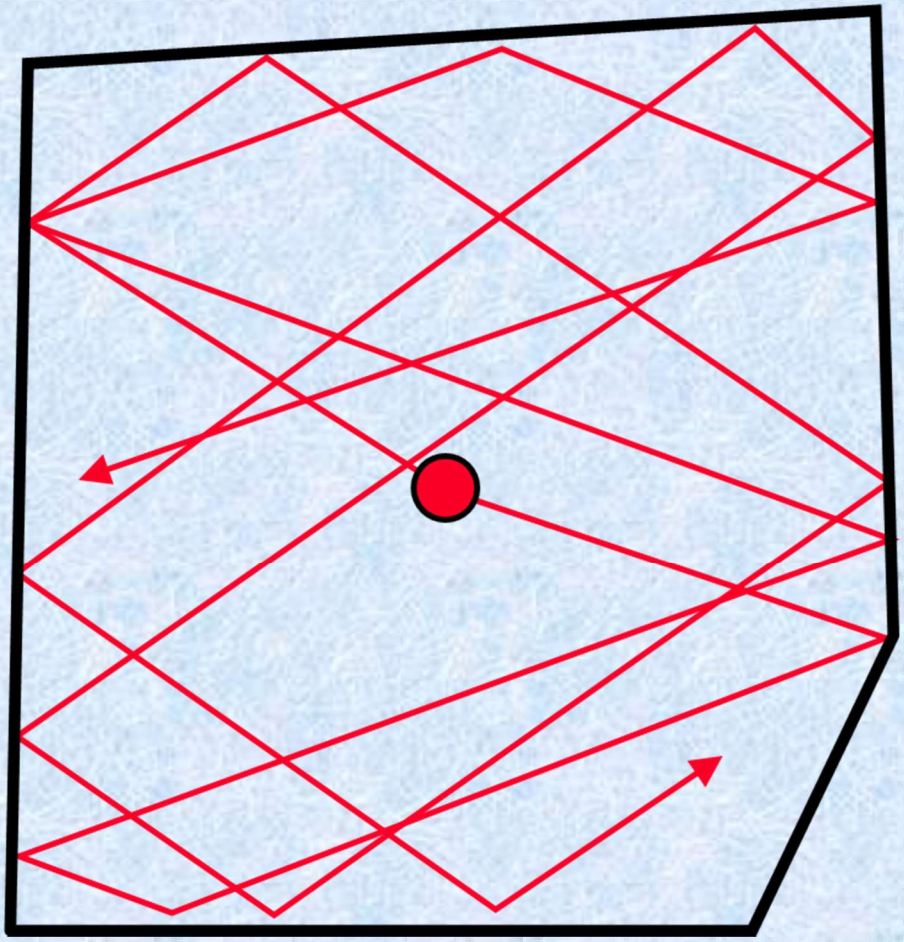
Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

La legge di propagazione sonora negli ambienti confinati



AMBIENTE ANECOICO

($\alpha = 1$)



AMBIENTE RIVERBERANTE

($\alpha = 0$)

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

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

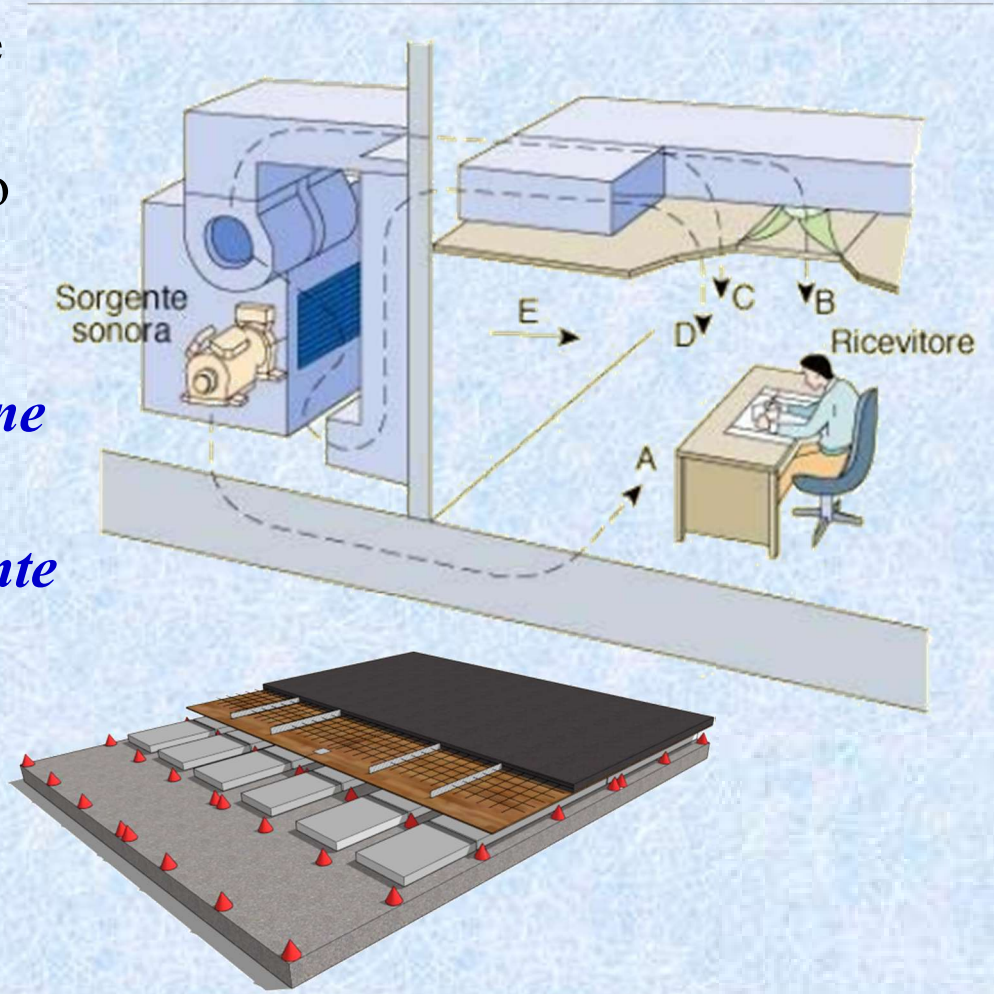
Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

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;
- Un ***massetto isolante termico e acustico*** in ***conglomerato cementizio*** alleggerito con ***granulato di polimeri***.



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"

Ambienti esterni – Principali sorgenti di rumore

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

Decibel	Sorgente di rumore
90	*Camion nelle vicinanza, fabbrica rumorosa*
100	*Discoteca, cantiere edile*
110	*Concerto rock, martello pneumatico*
120	*Sirena, clacson*
130	*Decollo di un aereo jet*

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Piano di zonizzazione acustica comunale

Classificazione acustica del territorio			Limiti di					
Classi di destinazione d'uso del territorio			immissione		emissione		qualità	
	Classe	Tipologia	Diurno	Notturno	Diurno	Notturno	Diurno	Notturno
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

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

Mappa di zonizzazione acustica

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

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

In funzione della precisione, le Norme Internazionali hanno fissato le seguenti classi:

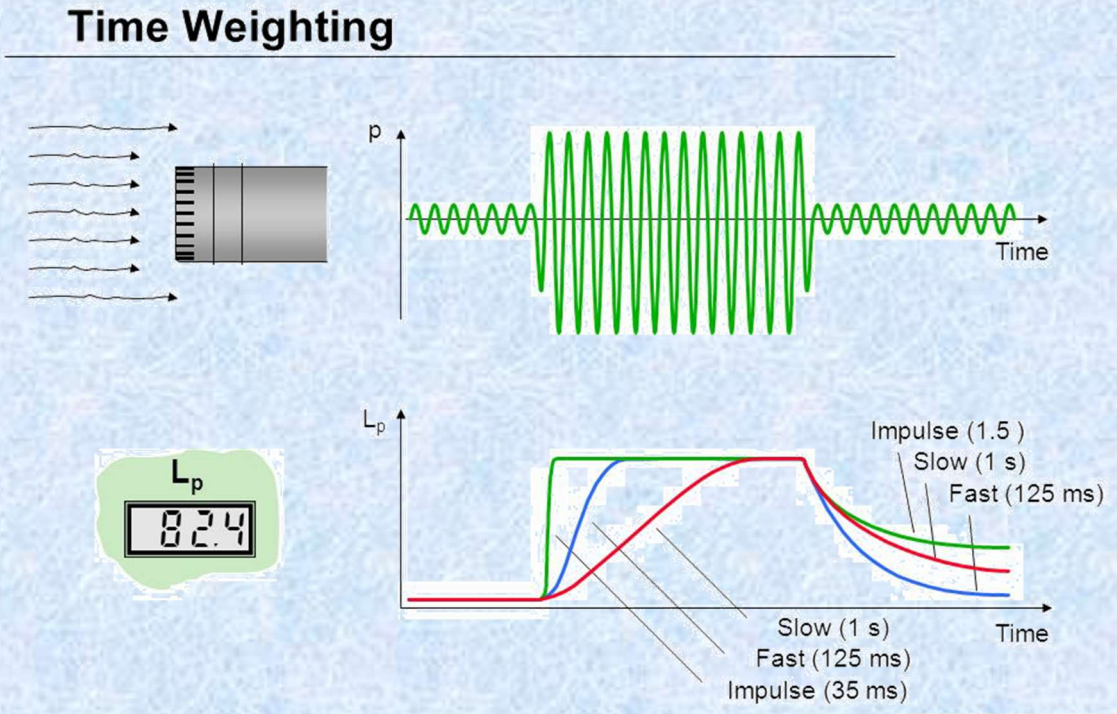
- Classe 0: Laboratorio di taratura (± 0,2 dB);
- Classe 1: precisione (± 0,7 dB);
- Classe 2: generale (± 1 dB);
- Classe 3: sorveglianza (± 1,5 dB).

Tra parentesi è indicato il livello di precisione che deve avere un fonometro per le letture di rumore. Solo quelli di Classe 1 sono omologati per fare misure formali e devono essere tarati almeno ogni due anni presso un laboratorio accreditato (ACCREDIA).

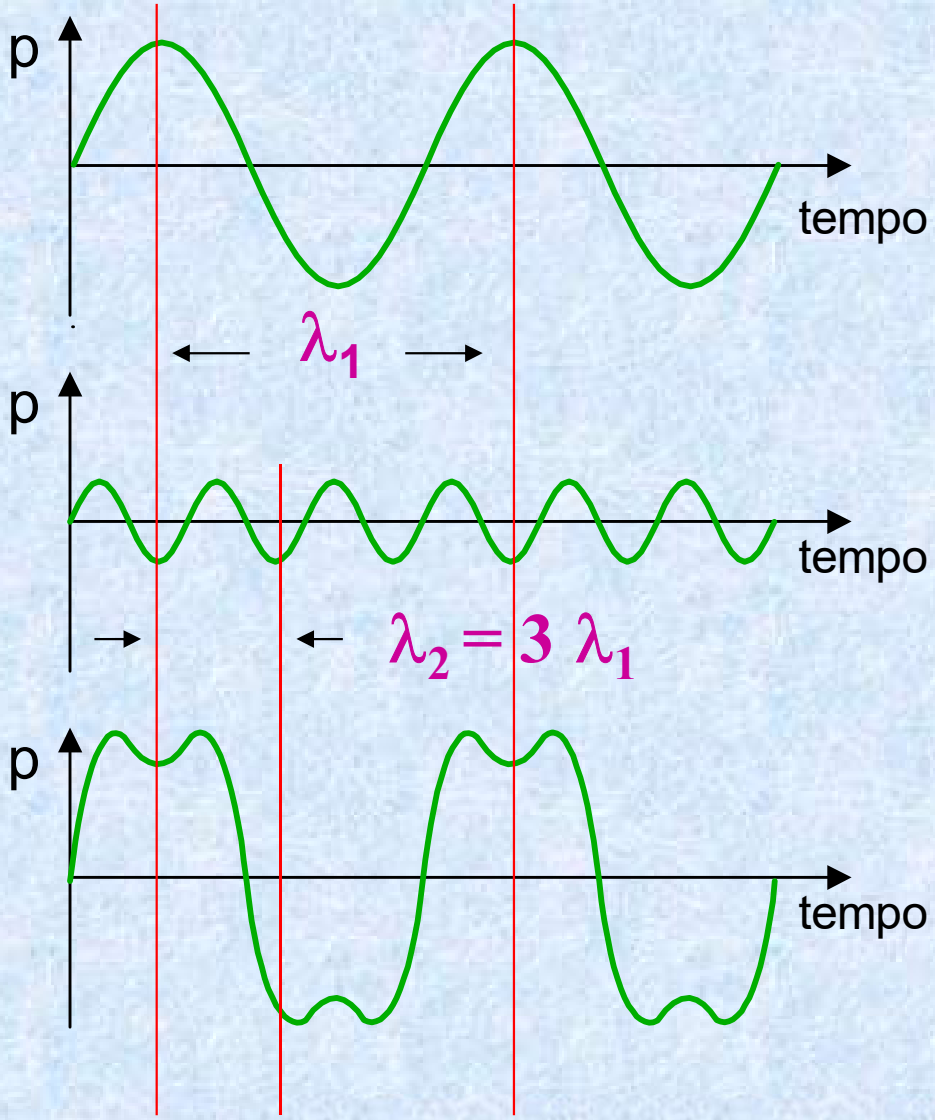
Prima e dopo ogni misura il fonometro dev'essere calibrato con una sorgente sonora nota e stabile.

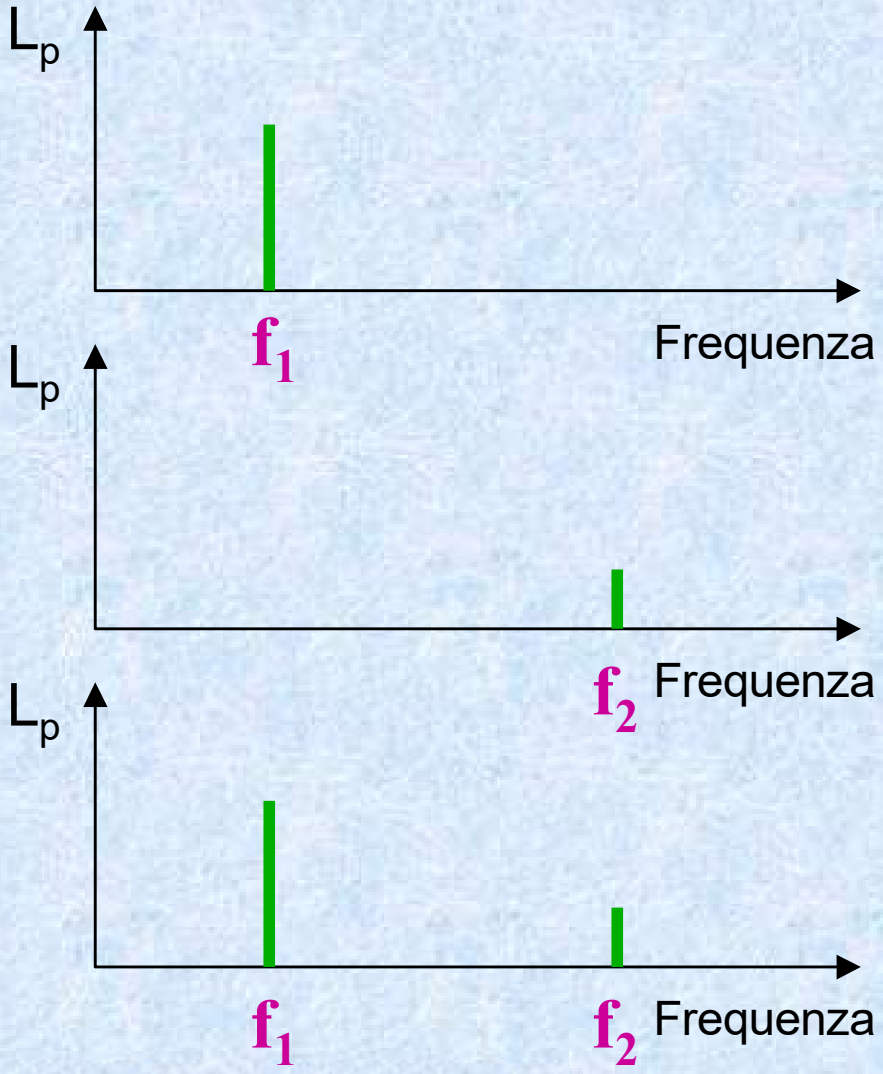
Tempi di risposta del fonometro

Il fonometro fornisce il livello della pressione sonora efficace mediato *"esponenzialmente"* nel tempo, con una legge caratterizzata da una ben definita costante di tempo, e indicata con nomi convenzionali:
SLOW (1 s),
FAST (125 ms),
IMPULSE (35 ms in salita, 1.5 s in discesa),
PEAK (< 50 μs, non energetica).
Si deve porre quindi attenzione alla scelta di tale costante di tempo, soprattutto quando si deve determinare il livello istantaneo massimo di un evento sonoro.
Il fonometro è inoltre in grado di misurare e memorizzare il valore istantaneo massimo della forma d'onda del segnale di pressione sonora, detto Livello di picco massimo (L_{max}, PEAK).



Correlazione tempo - frequenza



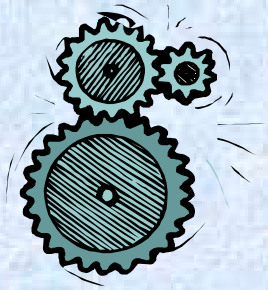


Sovrapposizione di singoli toni puri

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

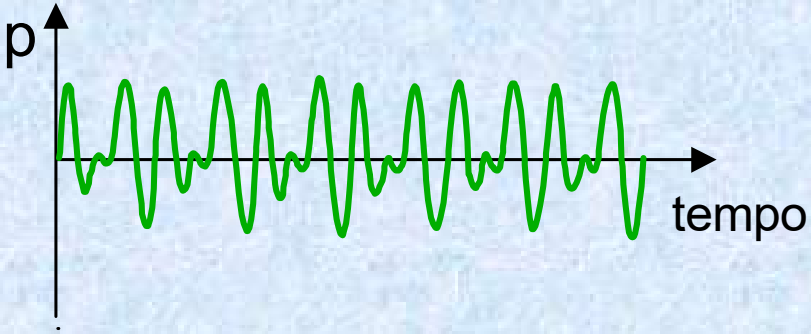
Correlazione tempo - frequenza

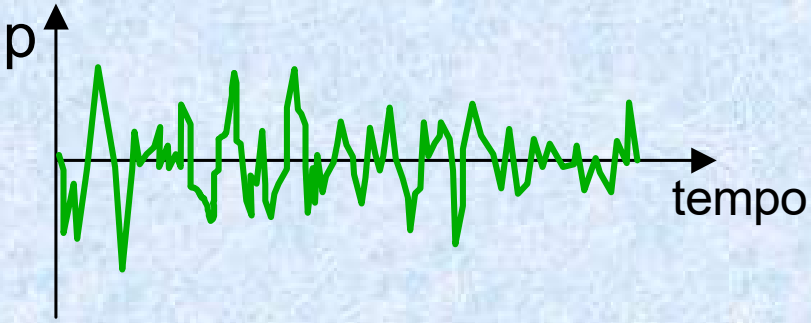


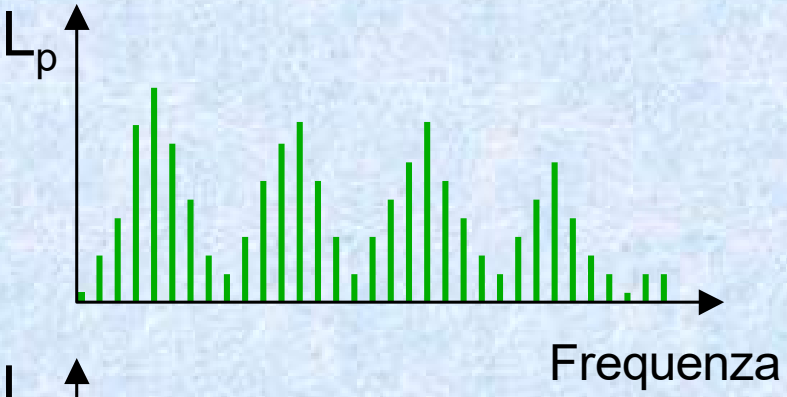
Periodico

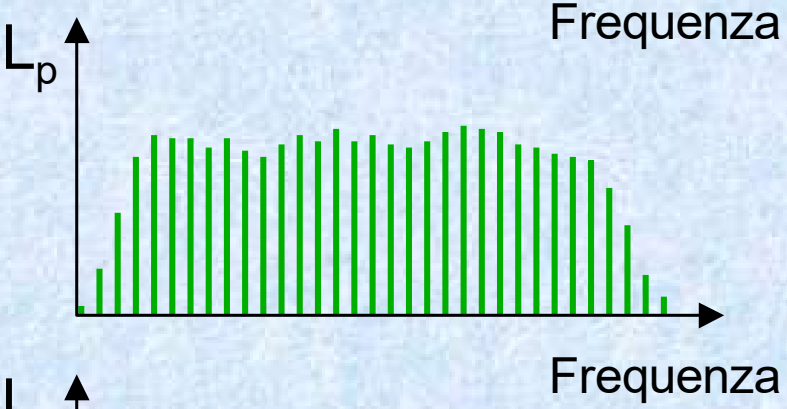
Casuale

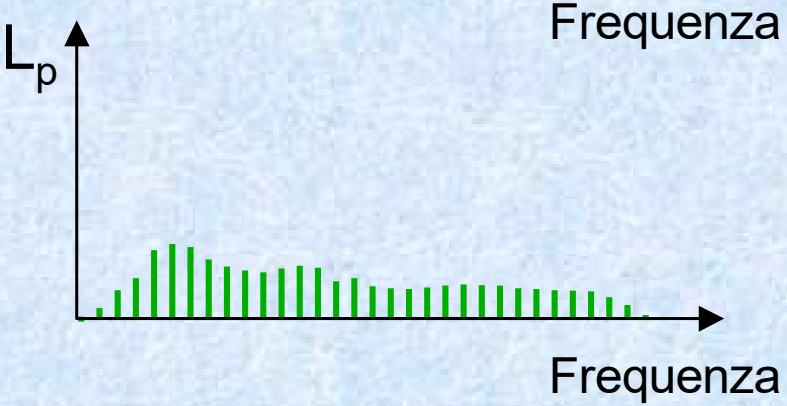
Impulsivo





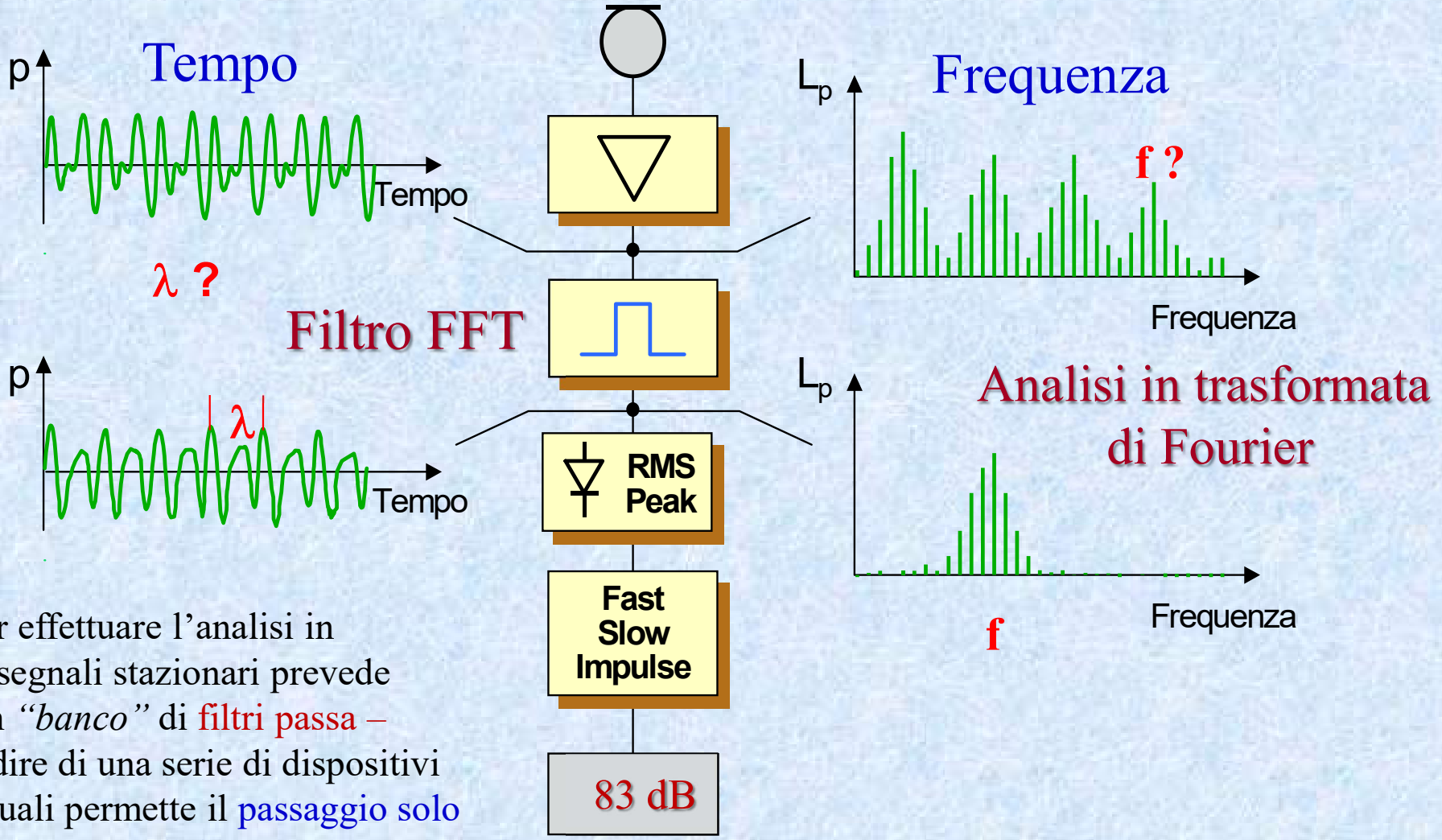






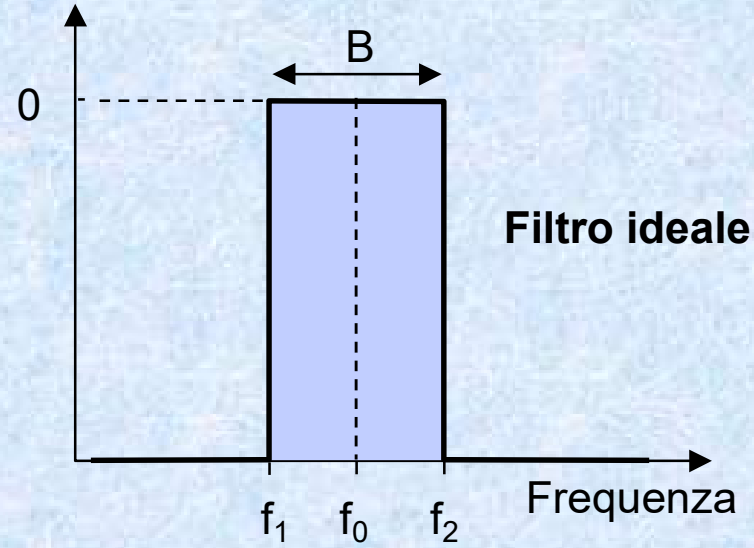
tempo ⟹ frequenza ?

I filtri in frequenza



Un metodo per effettuare l'analisi in frequenza dei segnali stazionari prevede l'utilizzo di un *"banco"* di filtri passa – banda, vale a dire di una serie di dispositivi ciascuno dei quali permette il passaggio solo di un determinato range di frequenze, escludendo le componenti del suono a frequenze maggiori e minori. Con uno strumento di misura all'uscita d'ogni filtro, è possibile misurare il livello che compete al particolare intervallo di frequenze.

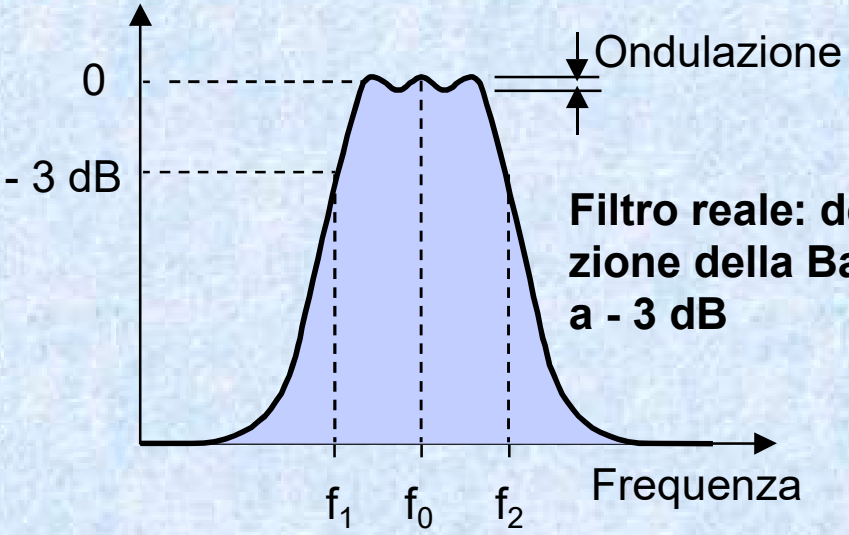
Filtri ideali e filtri reali



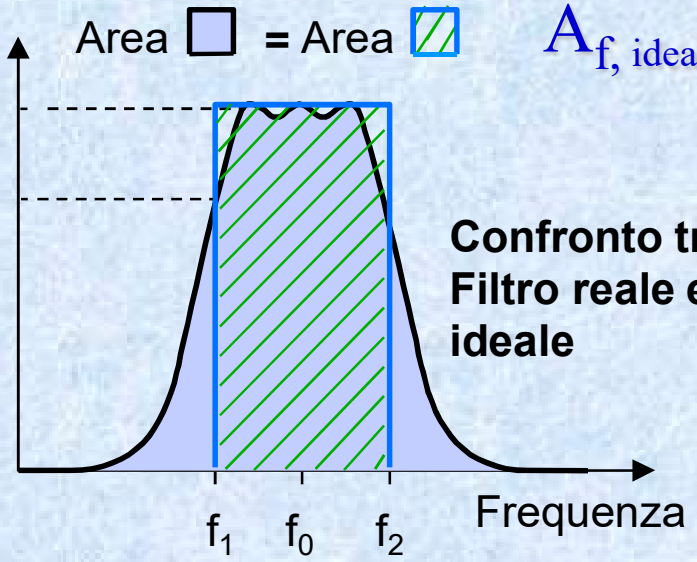
Filtro ideale

Banda = $f_2 - f_1$

Centro Frequenza = f_0

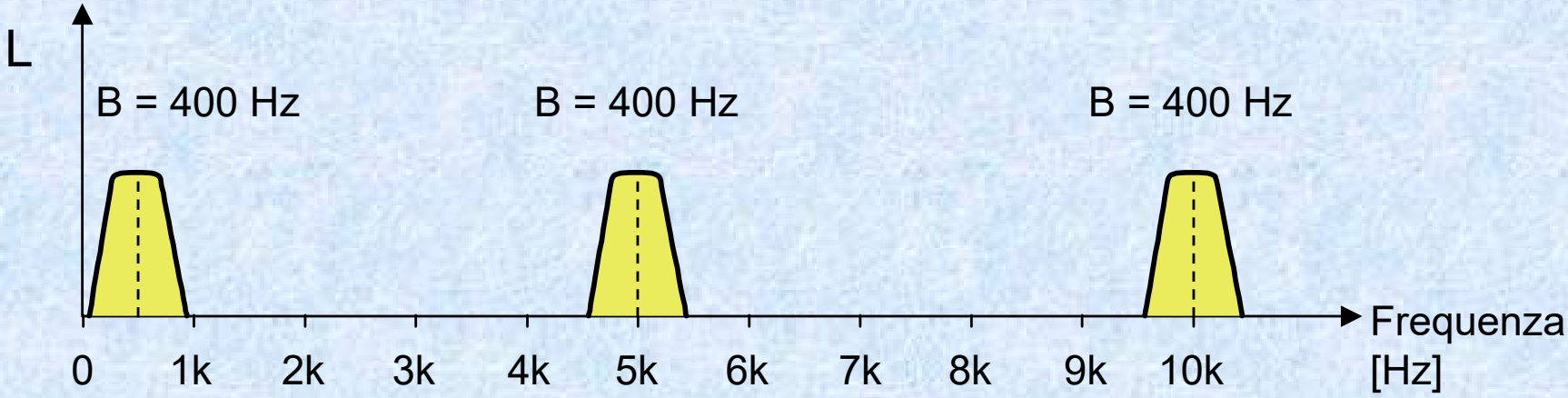


Filtro reale: definizione della Banda a - 3 dB

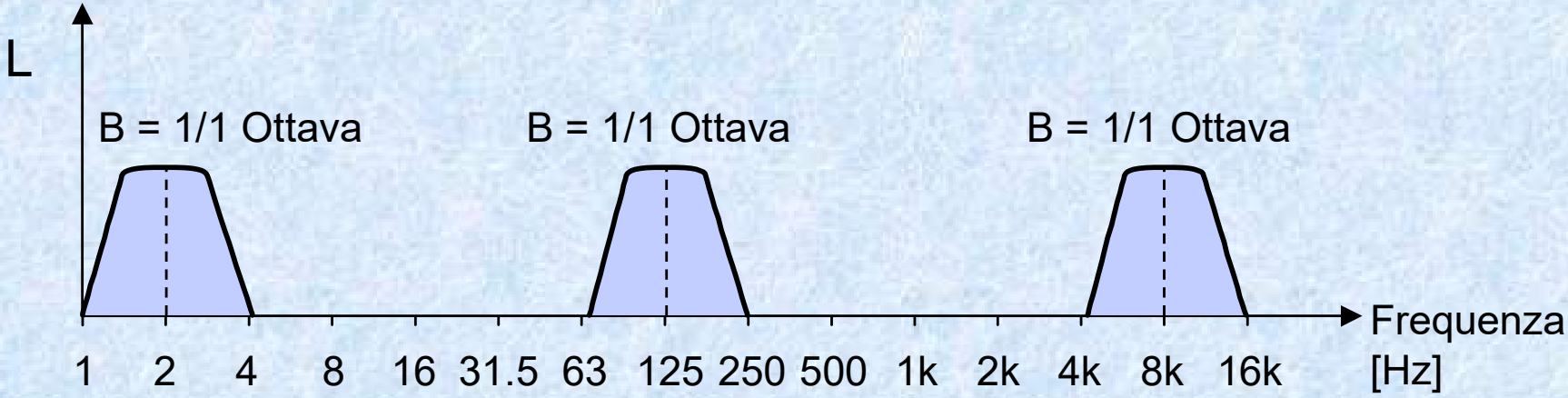


Confronto tra Filtro reale e Filtro ideale

Filtri: Scala lineare e scala logaritmica

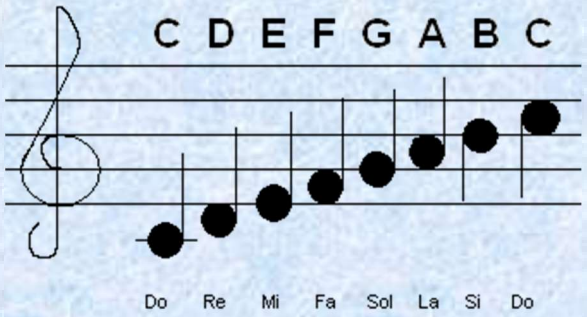


Asse della frequenza LINEARE
(generalmente usato nell'analisi delle vibrazioni)

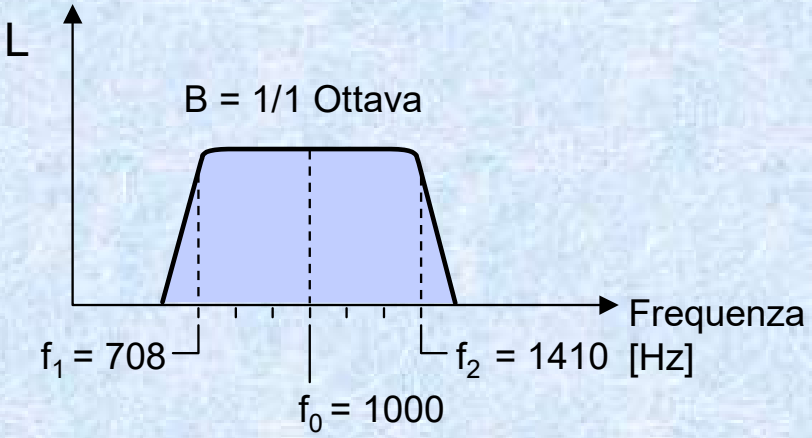


Asse della frequenza LOGARITMICO
(generalmente usato nell'analisi acustica)

Filtri a banda d'ottava e di terza d'ottava



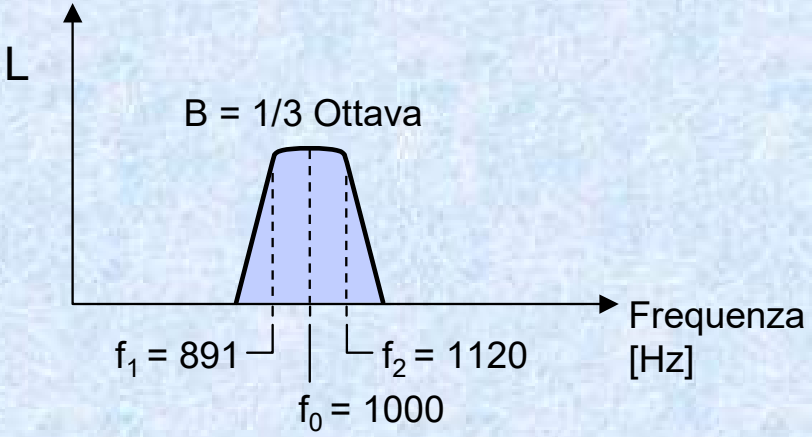
Scala musicale = Filtro d'ottava



1/1 Ottava

$f_2 = 2 \times f_1$

$B = 0.7 \times f_0 \approx 70\%$



1/3 Ottava

$f_2 = \sqrt[3]{2} \times f_1 = 1.25 \times f_1$

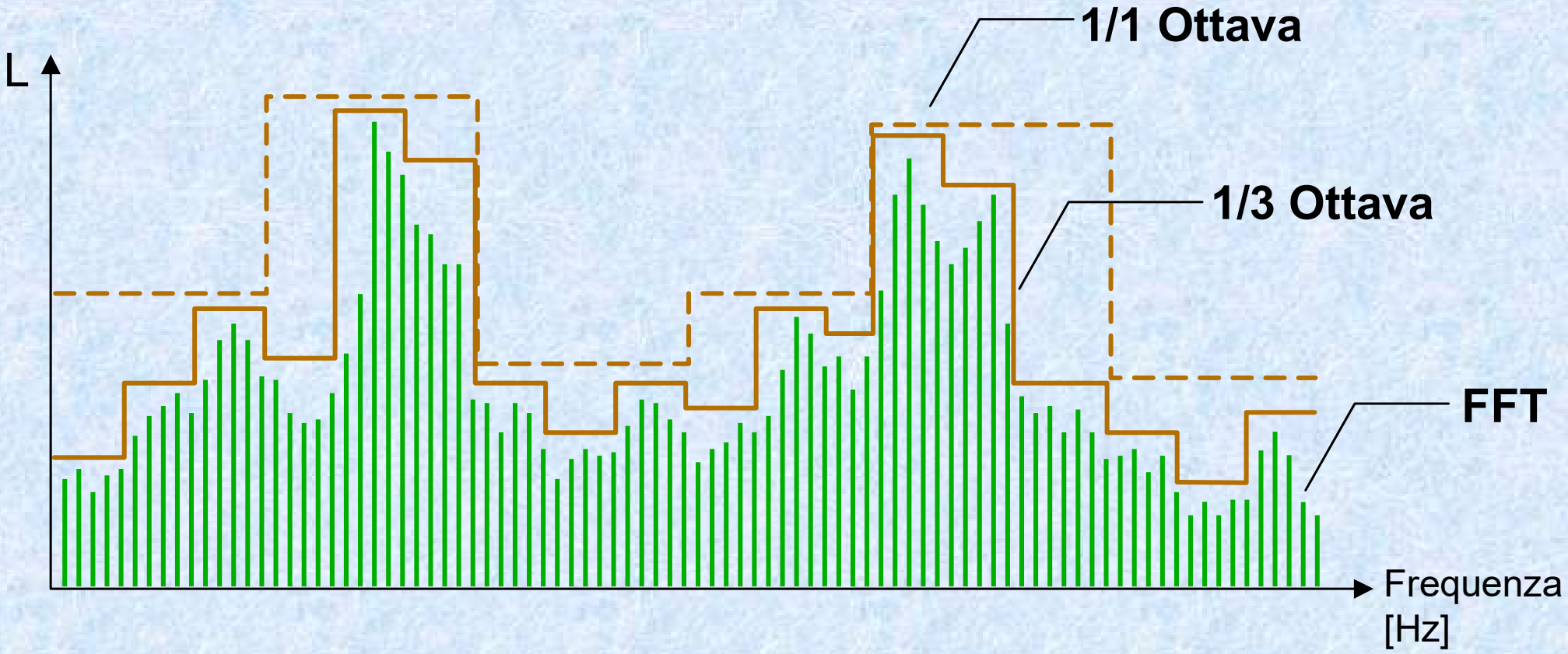
$B = 0.23 \times f_0 \approx 23\%$

Il filtro a banda di terza d'ottava permette di discriminare meglio nello spettro acustico

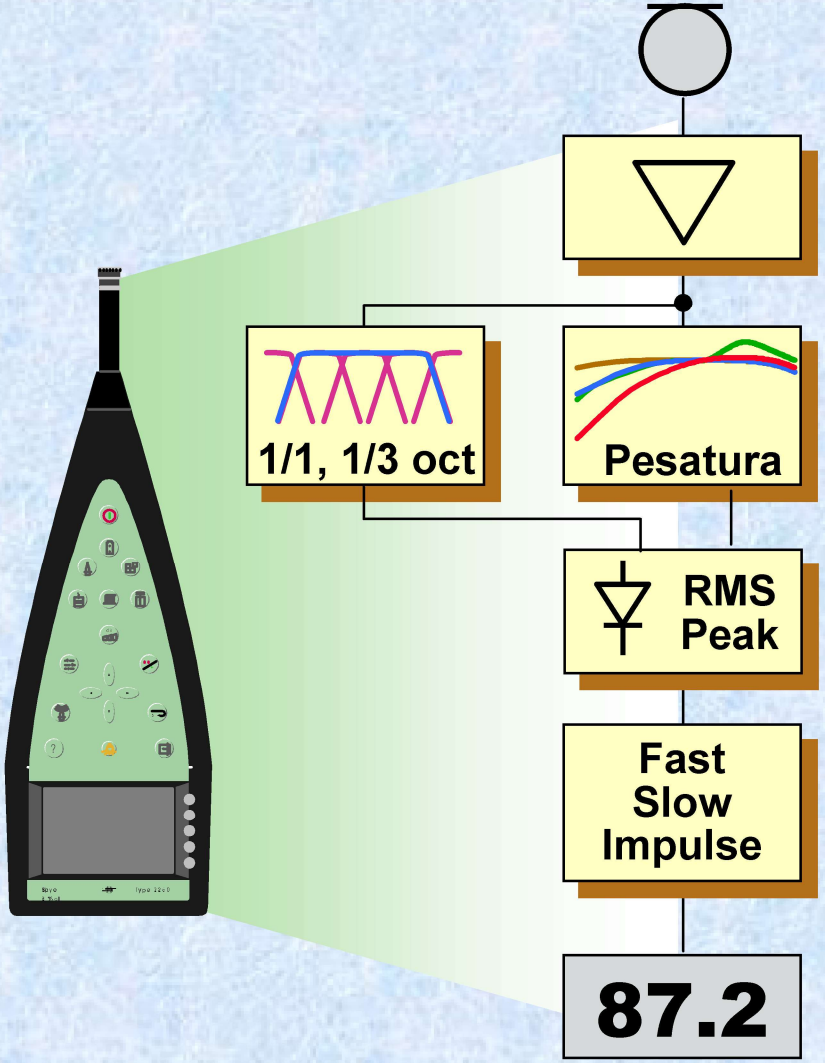
Valori delle frequenze dei filtri

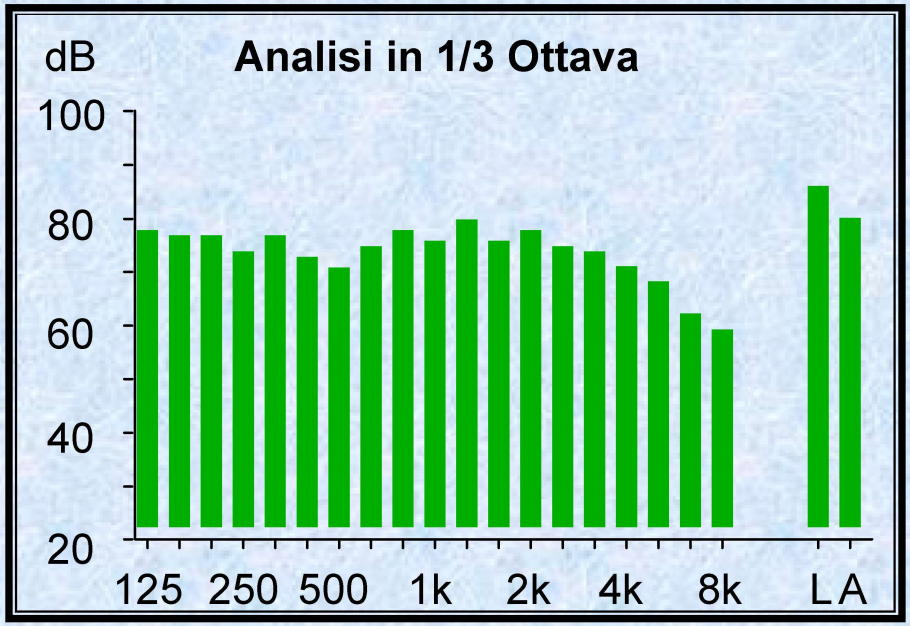
Banda No.	Centro frequenza Nominale Hz	Banda Filtro 1/3 ottava Hz	Banda Filtro 1/1 ottava Hz
1	1.25	1.12 – 1.41	
2	1.6	1.41 – 1.78	
3	2	1.78 – 2.24	1.41 – 2.82
4	2.5	2.24 – 2.82	
5	3.15	2.82 – 3.55	
6	4	3.55 – 4.47	2.82 – 5.62
27	500	447 – 562	355 – 708
28	630	562 – 708	
29	800	708 – 891	
30	1000	891 – 1120	780 – 1410
31	1250	1120 – 1410	
32	1600	1410 – 1780	
40	10 K	8910 – 11200	
41	1.25 K	11.2 – 14.1	
42	16 K	14.1 – 17.8 K	11.2 – 22.4 K
43	20 K	17.8 – 22.4 K	

Spettro basato sui filtri



Analisi fonometrica in tempo reale





UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"

Attività da svolgere

- Scaricare l'App OpeNoise su Smartphone;
- Acquisire dati da una o più sorgenti di rumore per un periodo di qualche minuto;
- Annotare i valori mostrati riferiti a L_{Amin}, $L_{Aeq}(t)$ e L_{Amax}.
- Scaricare i dati (cartella Openoise, formato txt) dello Smartphone a PC e aprire il file con Excel o altro foglio di calcolo;
- La tabella avrà il seguente formato:

1	Data Time	dB(A)	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
2	28/01/2018 20:37	31.4	13.0	13.0	14.9	14.9	19.4	19.4	19.2	19.2	19.9	19.4	22.2	25.4	26.8	20.7	18.5
3	28/01/2018 20:37	31.6	14.2	14.2	16.8	16.8	23.3	23.3	22.7	22.7	20.1	19.7	22.6	21.9	27.3	20.7	17.5
4	28/01/2018 20:37	31.3	16.7	16.7	17.2	17.2	20.7	20.7	21.6	21.6	21.6	19.7	23.5	24.9	26.0	22.0	21.9
5	28/01/2018 20:38	30.9	12.7	12.7	15.0	15.0	20.8	20.8	21.2	21.2	21.7	20.0	24.2	19.4	25.1	19.6	18.6
6	28/01/2018 20:38	32.3	14.7	14.7	15.7	15.7	21.2	21.2	21.4	21.4	20.9	19.5	20.1	19.4	25.7	22.5	18.3
7	28/01/2018 20:38	32.4	16.5	16.5	20.0	20.0	21.7	21.7	21.4	21.4	22.4	19.4	20.1	18.0	27.9	20.6	18.0
8	28/01/2018 20:38	33.0	14.0	14.0	20.6	20.6	23.8	23.8	21.6	21.6	22.6	20.1	23.1	24.4	30.1	19.1	19.9
9	28/01/2018 20:38	31.4	14.2	14.2	18.3	18.3	22.4	22.4	20.9	20.9	21.6	20.8	21.2	19.6	22.9	19.0	18.7
10	28/01/2018 20:38	31.6	12.0	12.0	16.5	16.5	20.8	20.8	20.4	20.4	21.6	20.0	21.0	23.4	24.1	21.3	19.2
11	28/01/2018 20:38	31.1	10.3	10.3	15.8	15.8	19.1	19.1	19.6	19.6	20.9	19.0	22.4	20.9	24.4	19.8	18.9
12	28/01/2018 20:38	30.8	14.1	14.1	18.6	18.6	19.3	19.3	22.5	22.5	22.9	19.6	22.5	22.6	22.8	19.4	17.8
13	28/01/2018 20:38	30.7	12.9	12.9	17.1	17.1	21.7	21.7	20.7	20.7	21.5	19.1	21.1	21.5	22.0	19.3	18.7
14	28/01/2018 20:38	31.5	13.1	13.1	16.2	16.2	19.9	19.9	19.6	19.6	21.7	20.3	21.4	20.3	26.3	19.5	18.8
15	28/01/2018 20:38	32.1	14.2	14.2	17.3	17.3	26.3	26.3	25.0	25.0	25.4	25.2	21.8	21.0	25.6	22.3	19.7
16	28/01/2018 20:38	34.6	10.0	10.0	19.4	19.4	29.3	29.3	29.0	29.0	23.8	22.7	24.9	23.7	27.6	25.0	23.6
17	28/01/2018 20:38	31.0	12.7	12.7	14.4	14.4	20.4	20.4	21.2	21.2	22.2	19.9	22.3	20.0	25.1	19.3	17.3
18	28/01/2018 20:38	30.7	11.7	11.7	17.0	17.0	20.4	20.4	20.5	20.5	22.2	20.4	23.5	21.7	21.7	19.2	18.4
19	28/01/2018 20:38	30.8	11.6	11.6	15.1	15.1	20.3	20.3	21.1	21.1	21.8	20.6	23.8	20.3	24.5	19.7	17.1
20	28/01/2018 20:38	31.3	13.4	13.4	17.7	17.7	22.1	22.1	22.0	22.0	21.3	18.6	23.2	20.5	26.6	19.2	19.5
21	28/01/2018 20:38	30.6	14.1	14.1	16.2	16.2	20.0	20.0	19.8	19.8	19.4	18.5	20.9	18.4	21.9	19.4	17.5
22	28/01/2018 20:38	30.3	13.4	13.4	16.5	16.5	19.9	19.9	19.1	19.1	20.4	19.3	21.4	18.9	21.2	18.6	18.4
23																	

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"

Attività da svolgere

- I dati riportati saranno rispettivamente ***data/ora***, ***livello di rumore in dB(A)*** e ***componenti in frequenza*** riferite alle ***bande di un terzo di ottava***;
- Considerando la colonna del livello di ***rumore in dB(A)*** fare un ***grafico in funzione del tempo***;
- Provare a ***classificare il tipo di rumore*** in base al ***comportamento temporale e di intensità***;
- Effettuare il ***grafico dello spettro di frequenze***, sulla base di un terzo di ottava (istogramma), ***ad un dato istante a scelta***;
- Tenuto in conto il ***valore di livello equivalente*** $L_{Aeq}(t)$ nel periodo considerato, ***annotato in precedenza***:
  - ✓ assumendo che esso corrisponda a quello di un lavoratore esposto per 4 ore lavorative (e che per le altre 4 ore giornaliere sia esposto ad un livello trascurabile) ***determinare il livello equivalente complessivo della giornata***;
  - ✓ ***valutare*** se vi è un ***superamento dei limiti di esposizione*** o ***dei valori d'azione in ambito professionale***;
  - ✓ ***valutare*** per quale ***zona di un comune*** il valore di ***livello equivalente*** $L_{Aeq}(t)$ è ***accettabile***, rispettivamente per l'***immissione*** ed ***emissione*** di rumore.

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"

NAPO IN:

STOP AL RUMORE

(https://youtu.be/Q5Ct6zMJe5k)

Grazie dell'attenzione