ACUSTICA ARCHITETTONICA

dell'intelligibilità e di altre questioni

alberto asquini
acoustic engineering

MONZA / 10 maggio 2018

SILENZIO, SUONI E RUMORI

Cos'è un suono?

Il silenzio è assenza di suono?

In cosa differiscono i suoni ed i rumori?

E i diversi suoni tra loro?

E lo stesso suono prodotto da due strumenti diversi?

‘Definitur sonus percussio aeris indissoluta usque ad auditum ’

Boezio - De institutione musica

‘La sensazione del suono musicale è data dai movimenti rapidi e periodici, quella del rumore da movimenti non periodici.’

Hermann von Helmholtz

SUONI e RUMORI

La stessa manifestazione fisica provoca sensazioni diverse in relazione allo stato psico-fisico-emozionale del recettore.

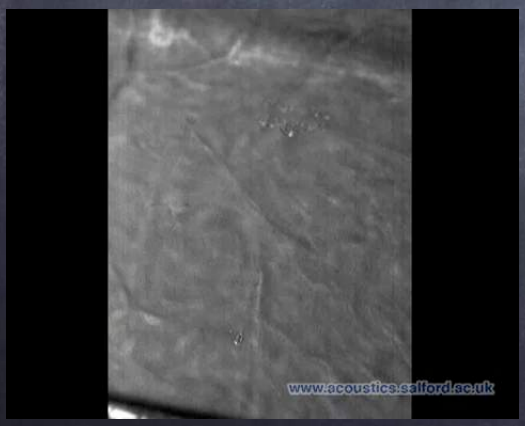
In base alla risposta SOGGETTIVA del recettore sarà pertanto descritta come:

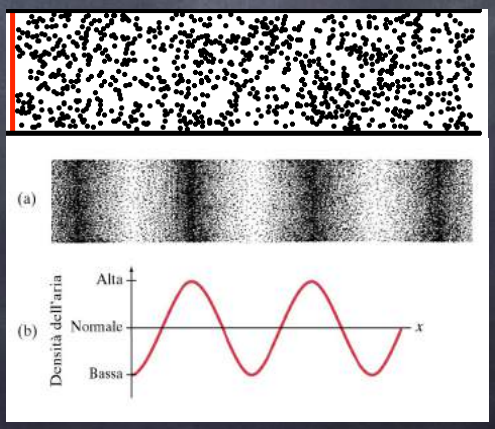
SUONO

RUMORE

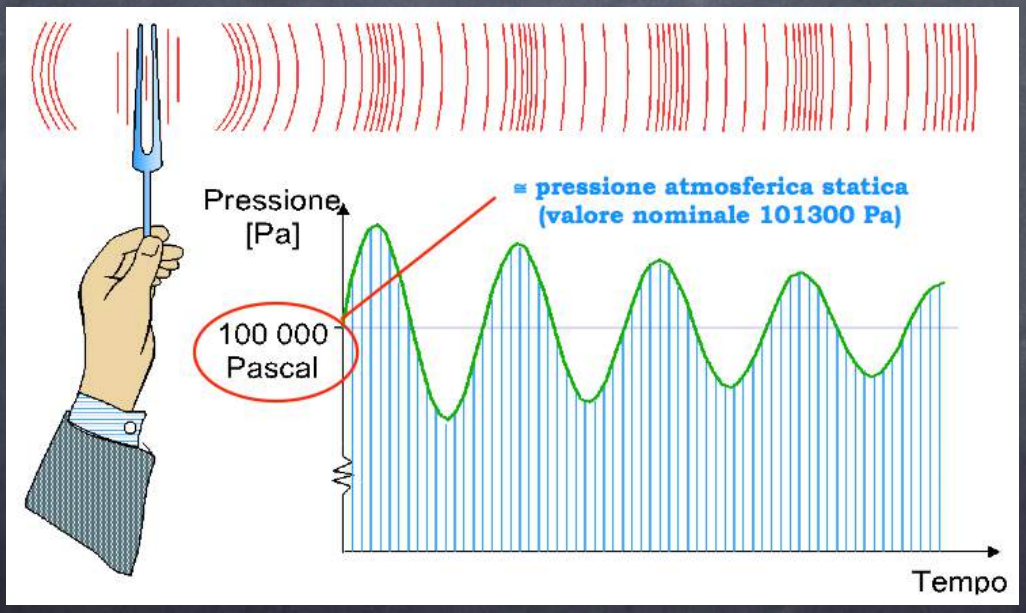
NATURA DEI SUONI

Condizioni essenziali per la generazione, propagazione ed udibilità del suono:
1- presenza di un agente perturbante
2- presenza di un mezzo elastico
3- variazione di pressione nel mezzo intorno ad un valore di equilibrio
4- frequenza delle variazioni di pressione compresa nel campo udibile
5- contenuto energetico superiore ad una soglia minima di udibilità



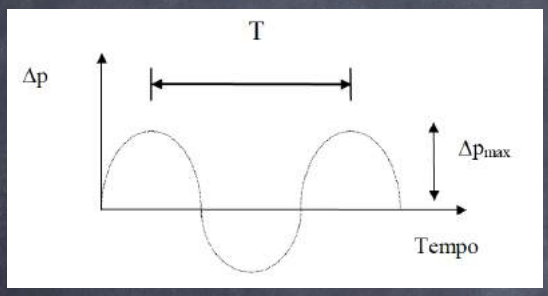


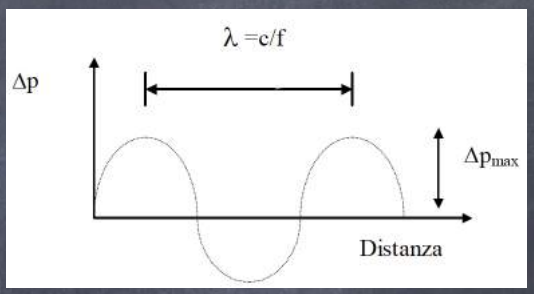
NATURA DEI SUONI

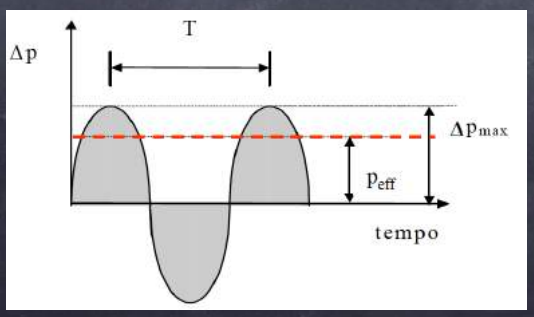


NATURA DEI SUONI

Il suono corrispondente ad una variazione perfettamente sinusoidale della pressione con un'unica frequenza è detto **tono puro**



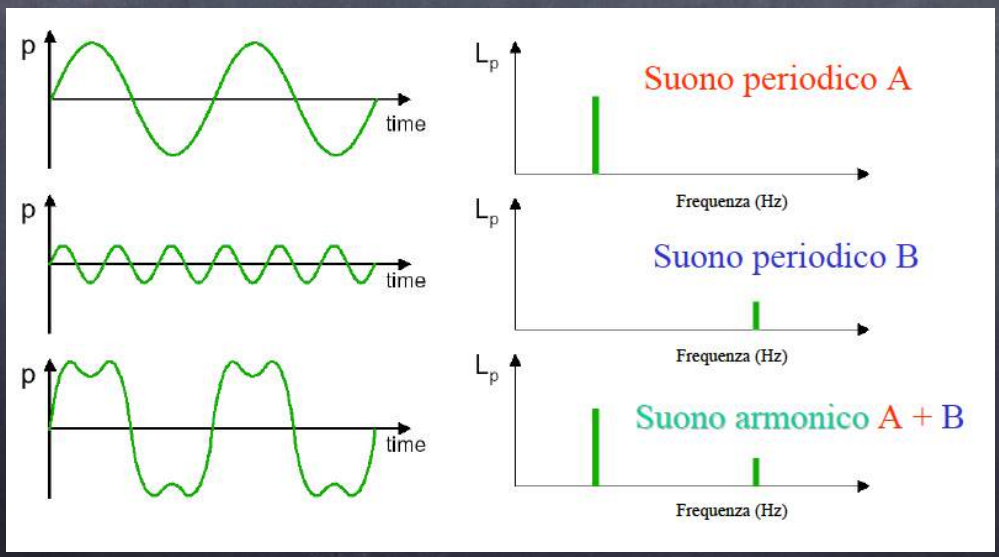




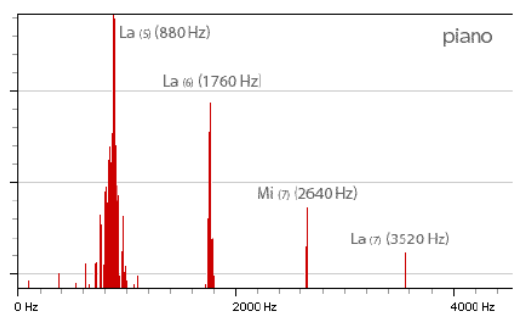
$$p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T p^2(t)\,dt}$$

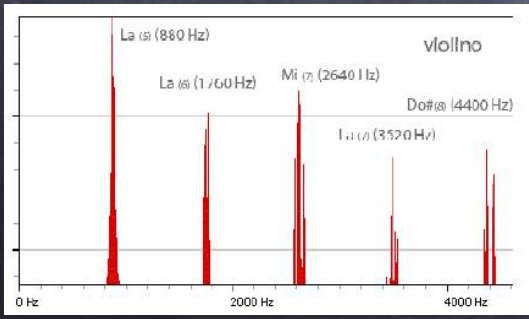
NATURA DEI SUONI

Suoni complessi composti da una frequenza fondamentale e da un numero finito od infinito di frequenze che stanno in rapporti semplici con la fondamentale sono detti **armonici**



NATURA DEI SUONI



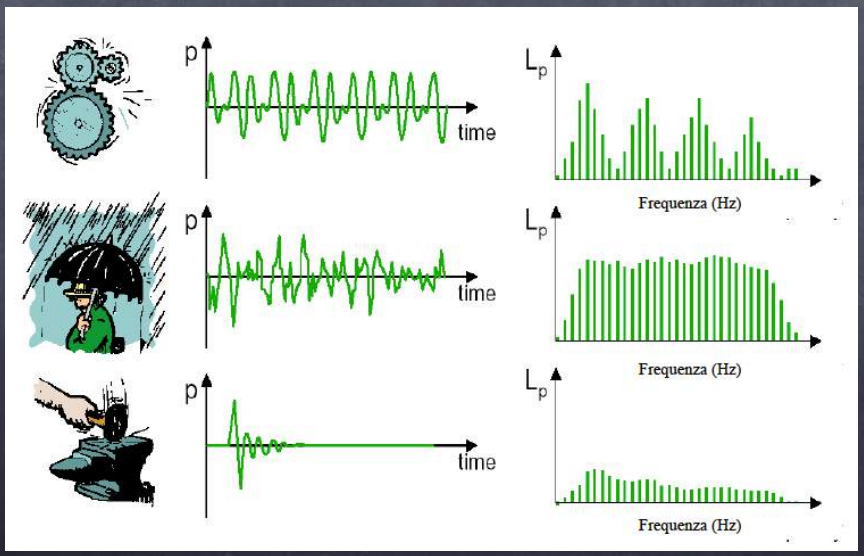


Spettri in frequenza di una stessa nota (LA5) per un pianoforte ed un violino.

La frequenza fondamentale è la stessa (880 Hz), ma il contenuto di armoniche è molto differente. il violino ha un contenuto di armoniche superiori molto maggiore, mentre quelle del pianoforte sono poche e decrescono rapidamente.
Da notare anche la differente ampiezza dei singoli picchi.

NATURA DEI SUONI

Suoni complessi non riconducibili ad una serie di suoni perfettamente sinusoidali sono detti **aperiodici** (irregolari sia nel dominio del tempo che della frequenza)



LIVELLI SONORI

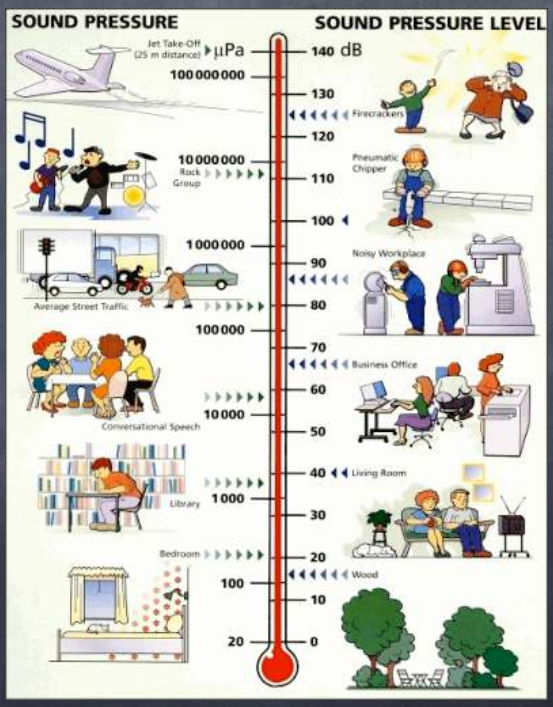
L'apparato uditivo di un uomo è in grado di percepire variazioni di pressione che variano tra 20 μPa (soglia di udibilità) e circa 200 Pa (soglia del dolore)

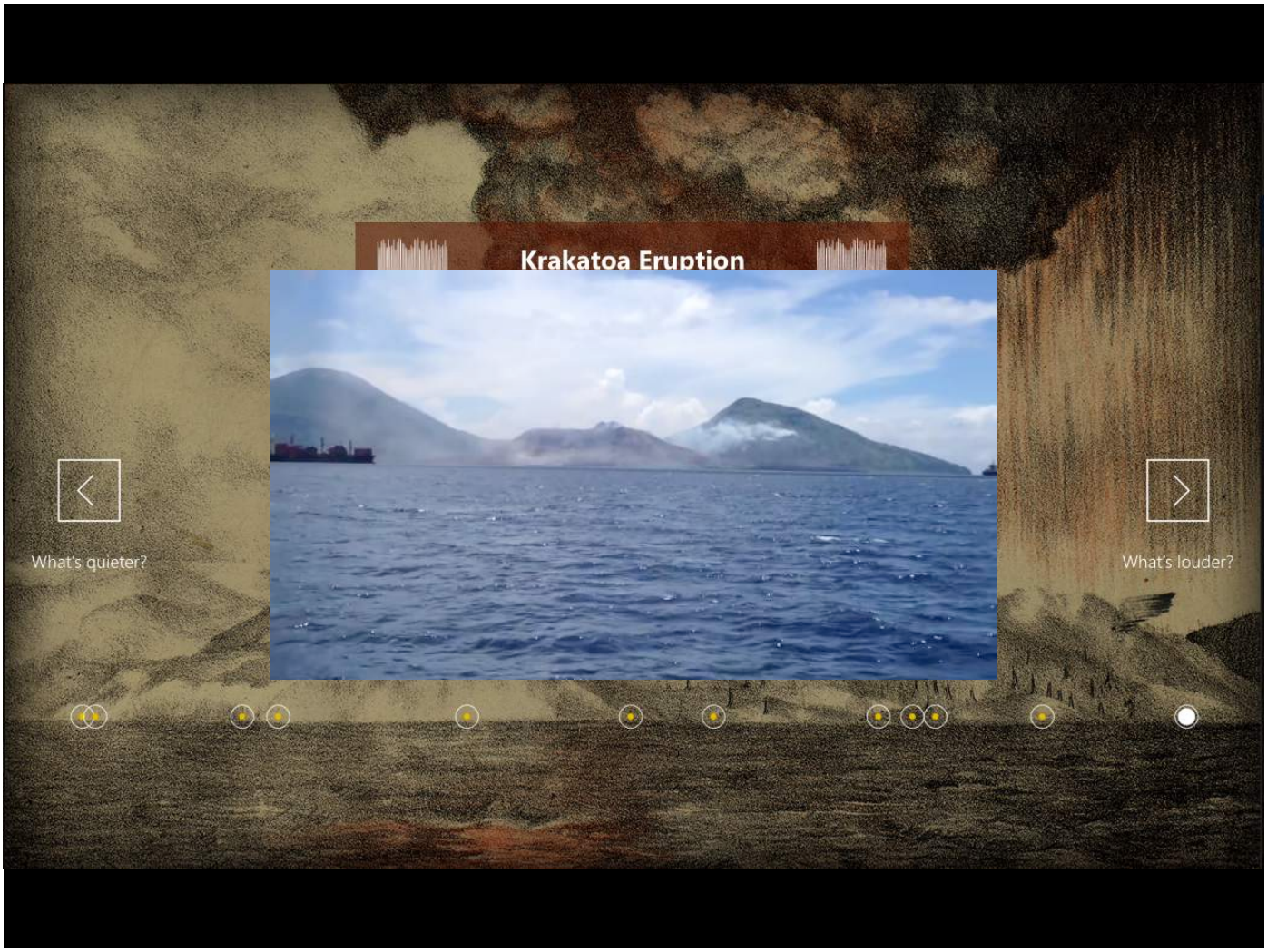
La dinamica da coprire risulta molto ampia:

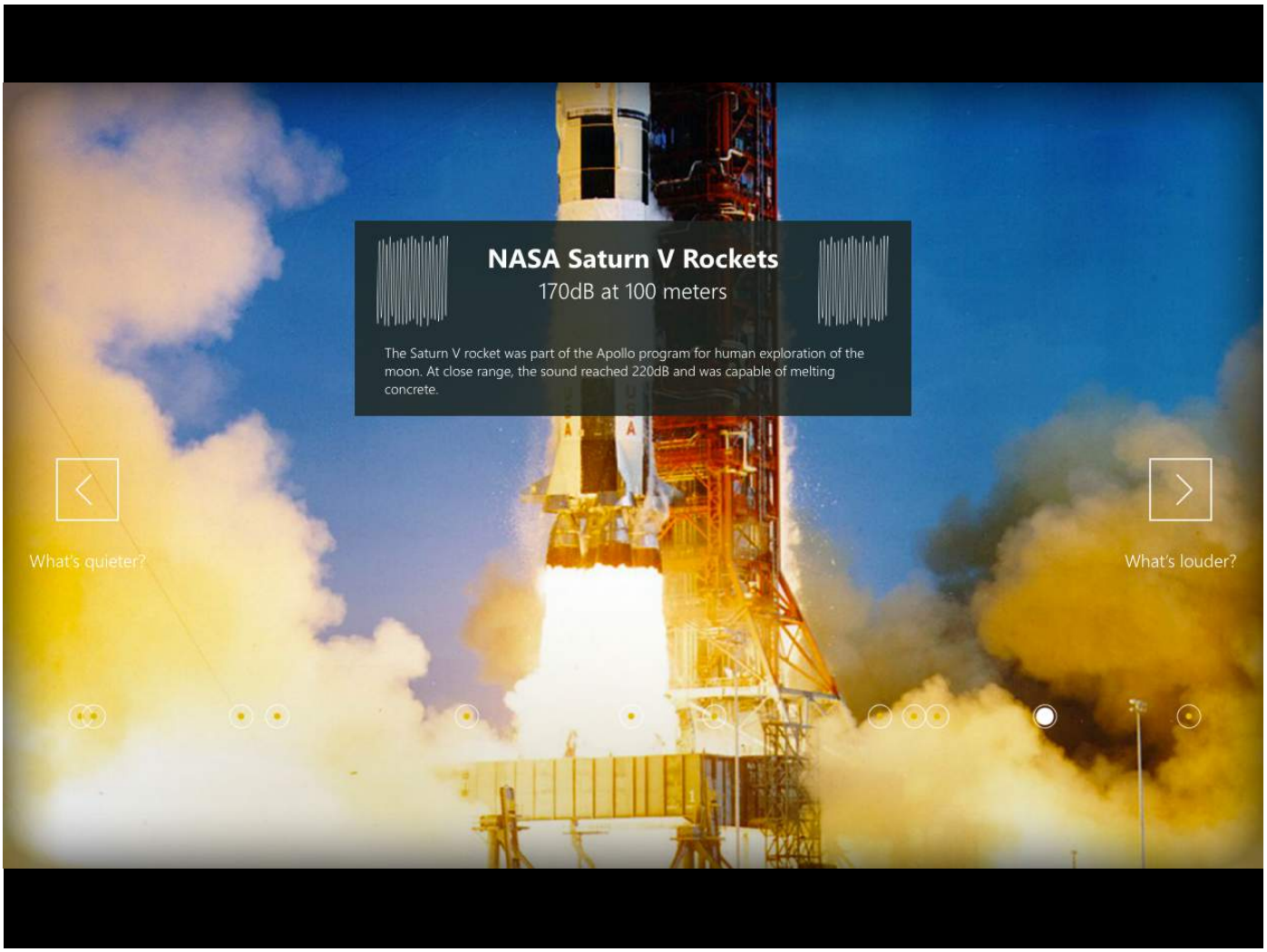
$$\frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{200}{20 \cdot 10^{-6}} = 10^7 = 10.000.000$$

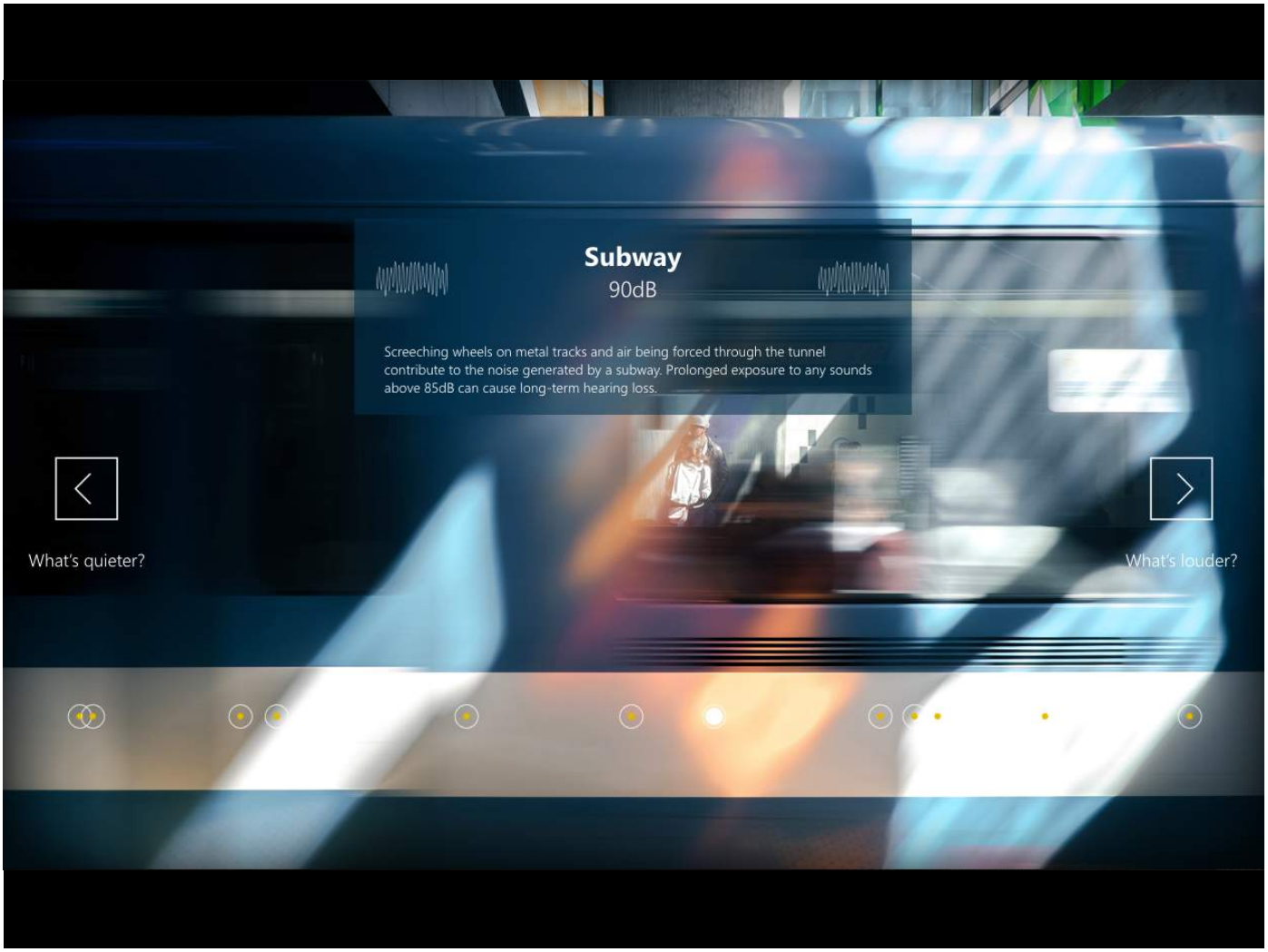
La risposta all'intensità dello stimolo uditivo dell'orecchio umano non è lineare!

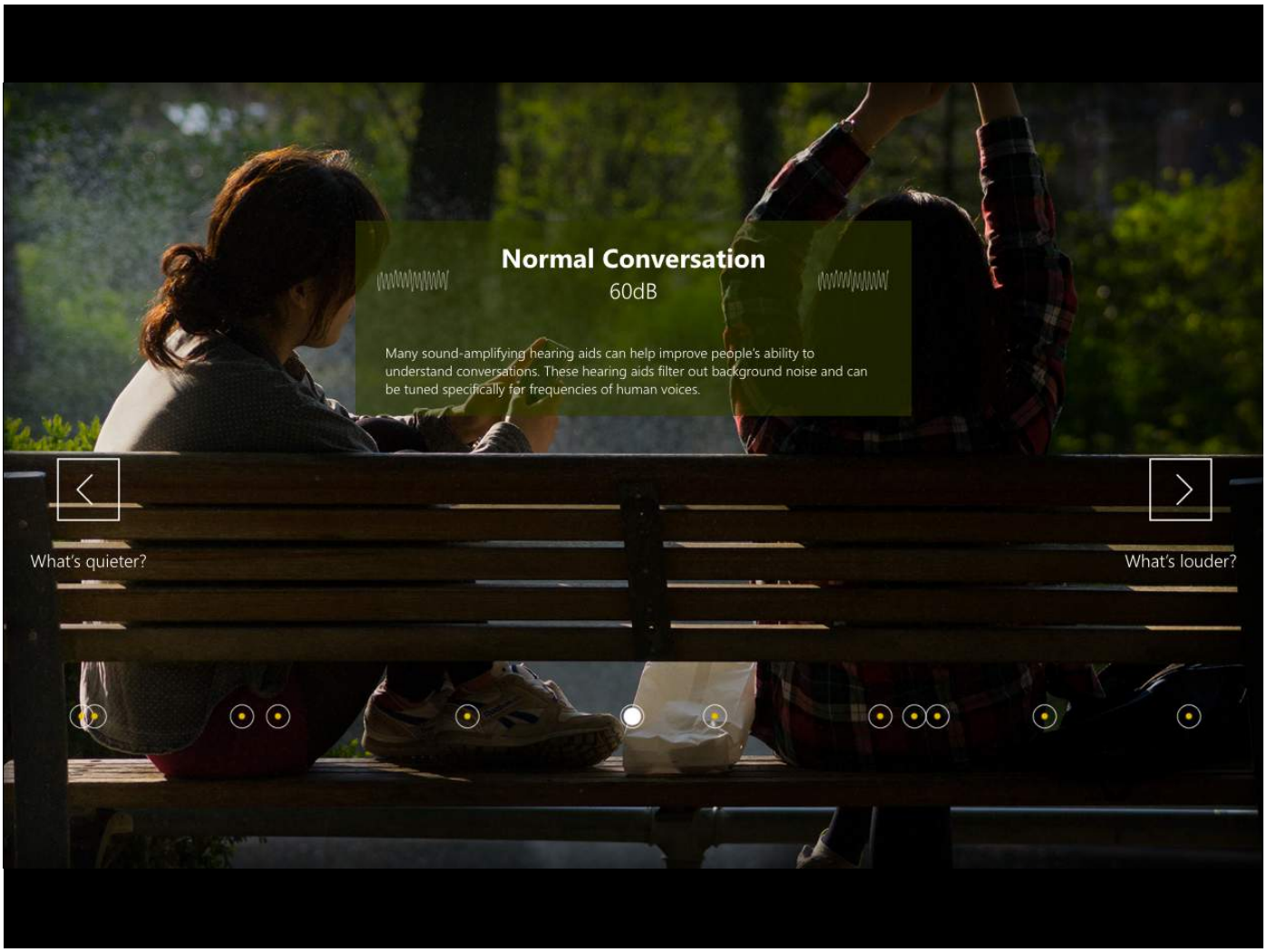
Scala dei DECIBEL






NASA Saturn V Rockets
170dB at 100 meters
The Saturn V rocket was part of the Apollo program for human exploration of the moon. At close range, the sound reached 220dB and was capable of melting concrete.
What's quieter?
What's louder?


Subway
90dB
Screeching wheels on metal tracks and air being forced through the tunnel contribute to the noise generated by a subway. Prolonged exposure to any sounds above 85dB can cause long-term hearing loss.
What's quieter?
What's louder?


Normal Conversation
60dB
Many sound-amplifying hearing aids can help improve people's ability to understand conversations. These hearing aids filter out background noise and can be tuned specifically for frequencies of human voices.
What's quieter?
What's louder?

Refrigerator
40dB
Bottom-freezer and side-by-side models tend to be the quietest types of refrigerators, but some models are loud enough to affect nearby conversations.
What's quieter?
What's louder?

Calm Breathing

10dB

Adults breathe at 12-20 cycles per minute (cpm), and that value can drop to 10 cpm or 6 seconds per breath. This state of calm is often called "rest and digest" versus the state of aggression known as "fight or flight."

What's quieter?

What's louder?

Anechoic Chamber

-20dB

The sound floor in Microsoft's anechoic chamber is closer to Brownian motion than it is to even other anechoic chambers. It has the lowest sound ever recorded and is the optimal environment for audio testing.

What's quieter?

What's louder?

LIVELLI SONORI

Somma di livelli in dB

$L_{\rho tot}$=???

$L_{\rho 1}$

$L_{\rho 2}$

$L_{\rho 3}$

LIVELLI SONORI

Somma di livelli in dB

$L_{\rho 1}$=70 dB

$L_{\rho 2}$=70 dB

$L_{\rho tot}=L_{\rho 1}+L_{\rho 2}=140$ dB NO

LIVELLI SONORI

Somma di livelli in dB

$L_{\rho 1}$=70 dB

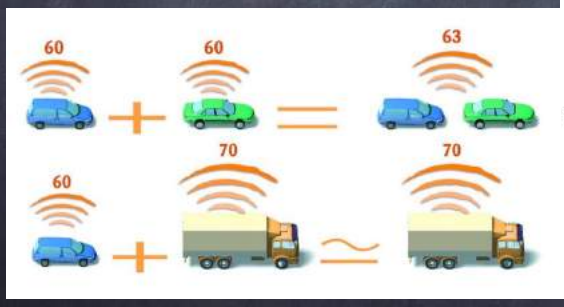
$L_{\rho 2}$=70 dB

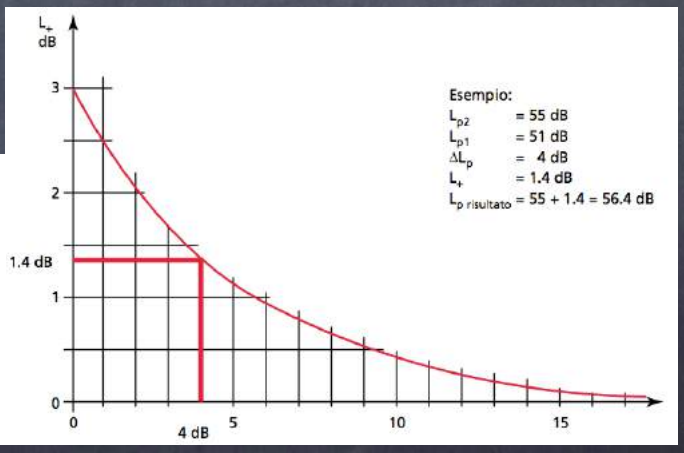
$L_{\rho tot}=L_{\rho 1}+L_{\rho 2}=70+70=73$ dB ✓ SI

LIVELLI SONORI

Somma di livelli in dB

Calcolo in forma grafica



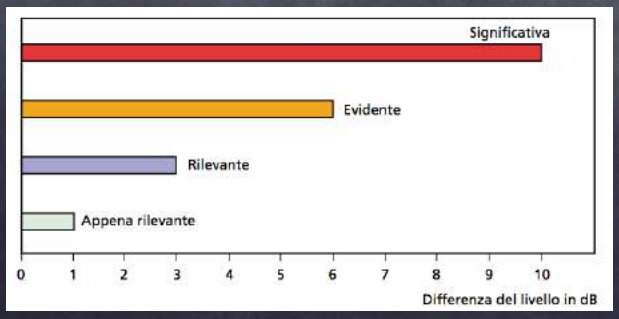


LA PERCEZIONE DEI SUONI

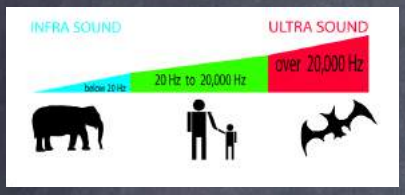
L'udito di una persona giovane ed in buona salute copre la gamma di frequenze da circa 20 Hz a 20 kHz. In termini di livello di pressione sonora ciò corrisponde ad una dinamica che va da 0 dB a 140 dB.

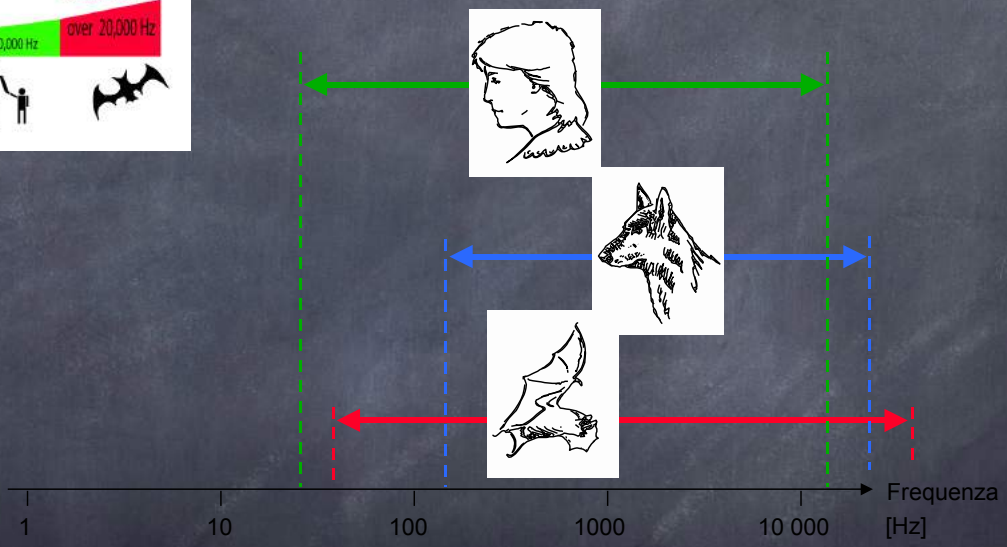
Un raddoppio della pressione sonora provoca un aumento dei livelli di 6 dB ben percepibile; una somma di eguali livelli provoca un incremento di 3 dB che risulta percepibile. La variazione minima che l'uomo è in grado di percepire è di circa 1 dB.

Occorre evidenziare che la sensibilità dell'orecchio umano non è uguale a tutte le frequenze: è meno sensibile alle basse frequenze.



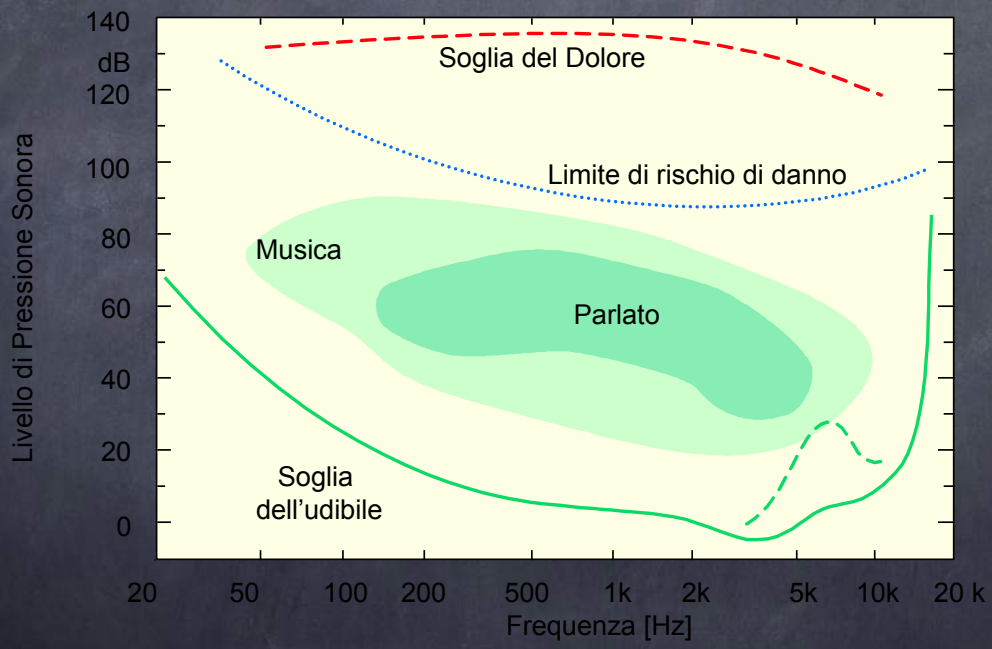
LA PERCEZIONE DEI SUONI





Ad es. a 20 Hz λ=340/20=17 m, a 1 kHz λ=34 cm, a 20 kHz λ=1.7 cm

LA PERCEZIONE DEI SUONI



LA PERCEZIONE DEI SUONI

Occorre evidenziare che la sensibilità dell'orecchio umano non è uguale a tutte le frequenze: è meno sensibile alle basse frequenze.

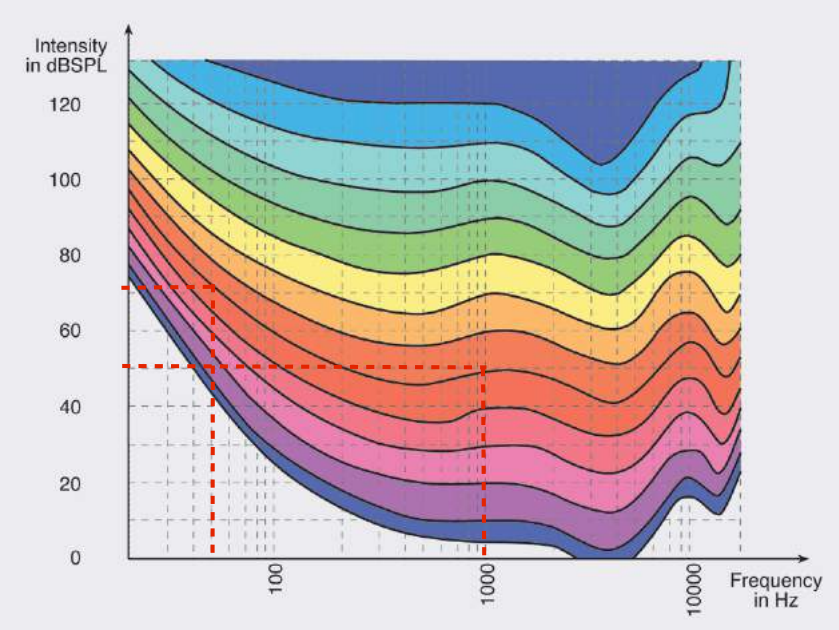
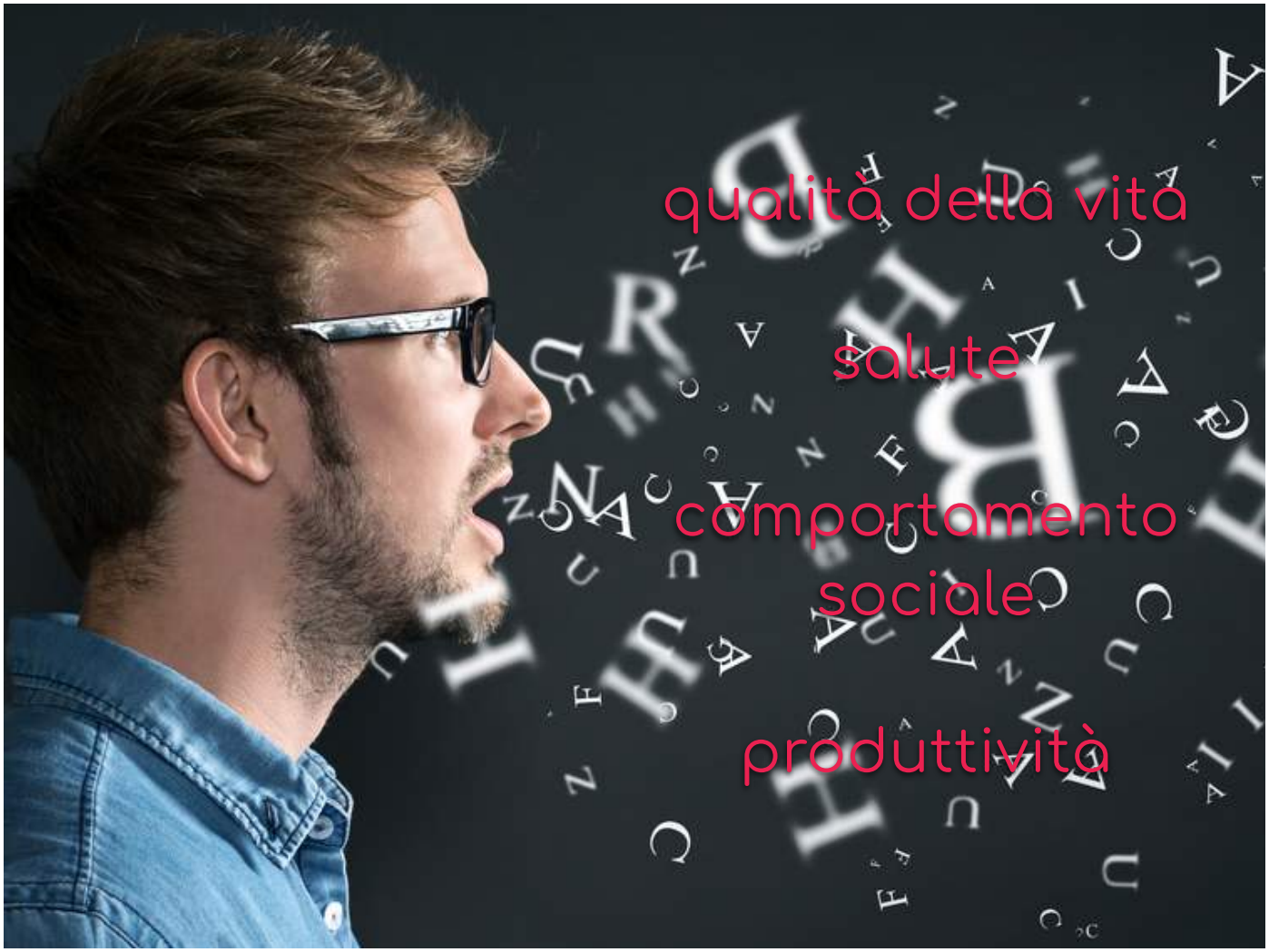
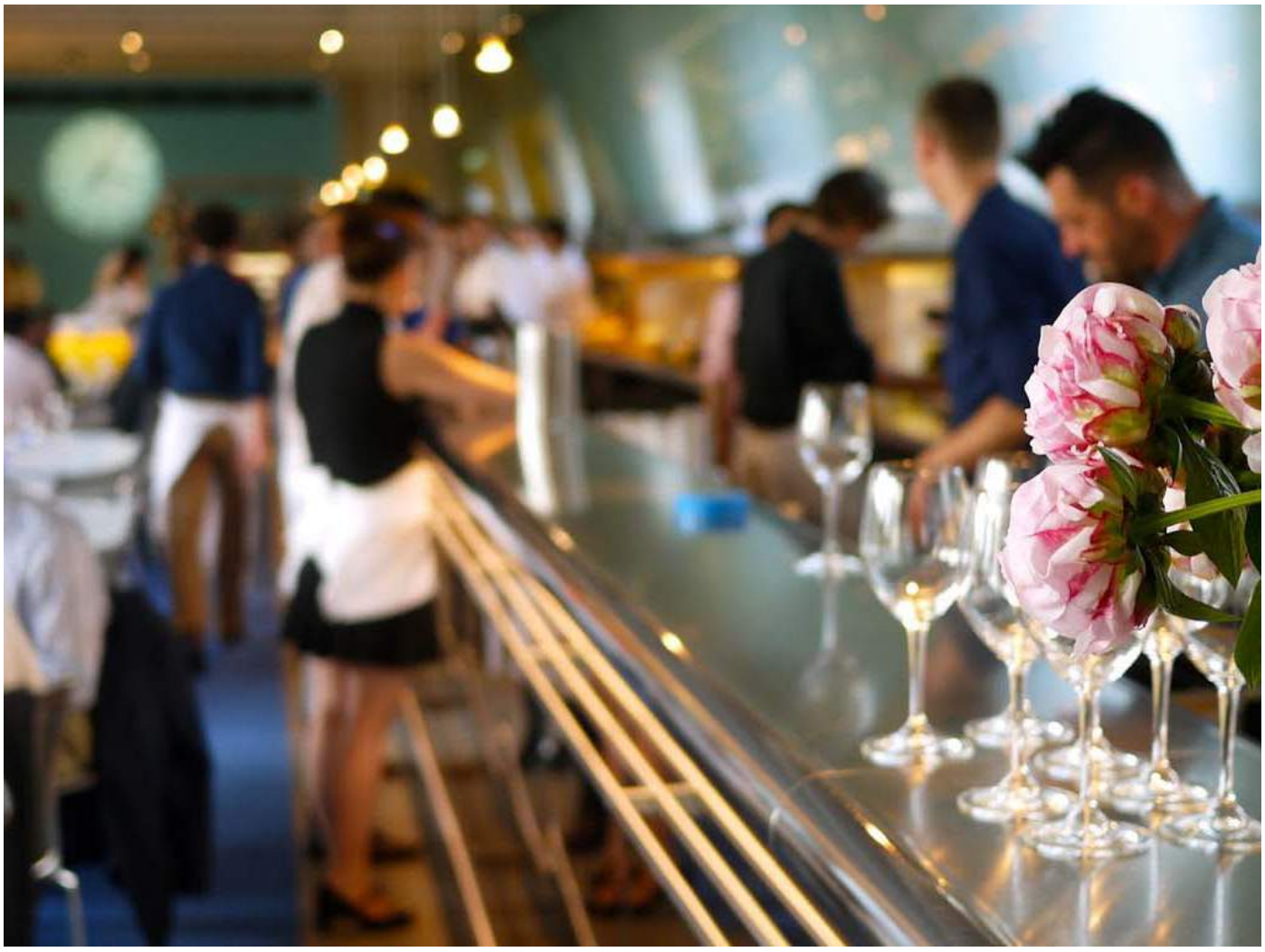


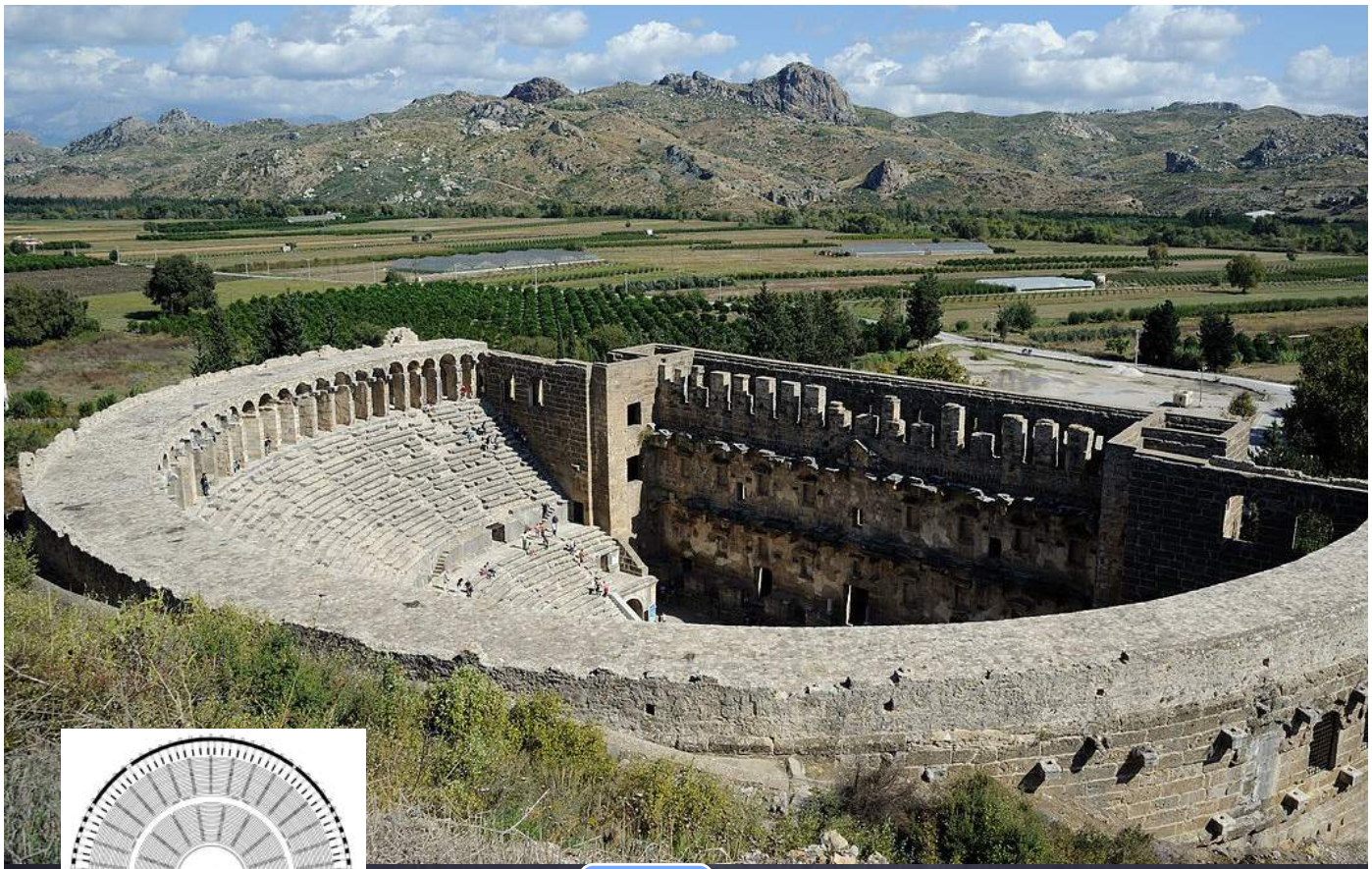
Diagramma di Fletcher-Munson: curve isofoniche (curve di uguale sensazione sonora) - ISO 226

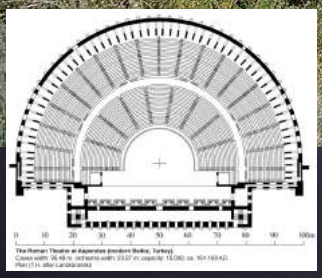
acustica architettonica


qualità della vita
salute
comportamento sociale
produttività



un po' di storia



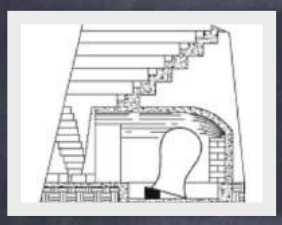


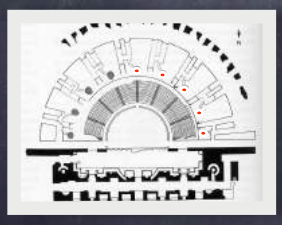
II A.C.

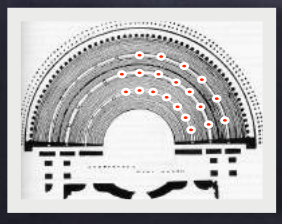
MEDIOEVO

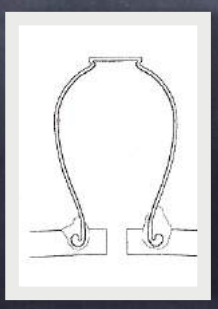
A.D. 1100 - 1400

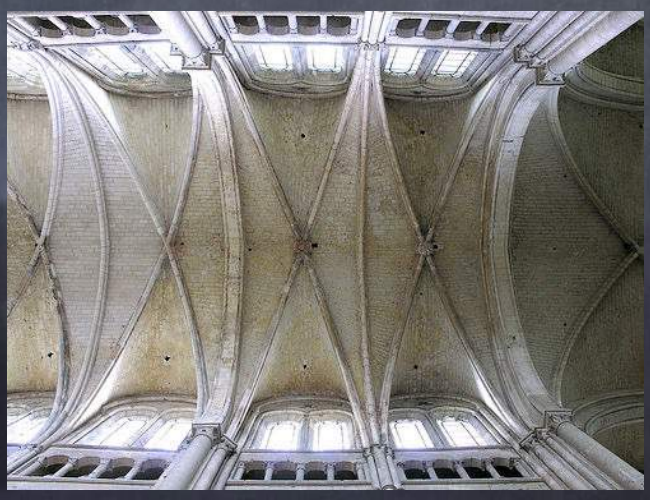
XII D.C.







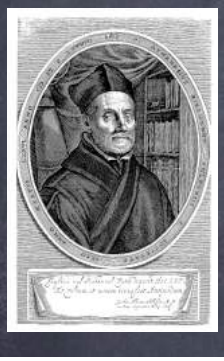




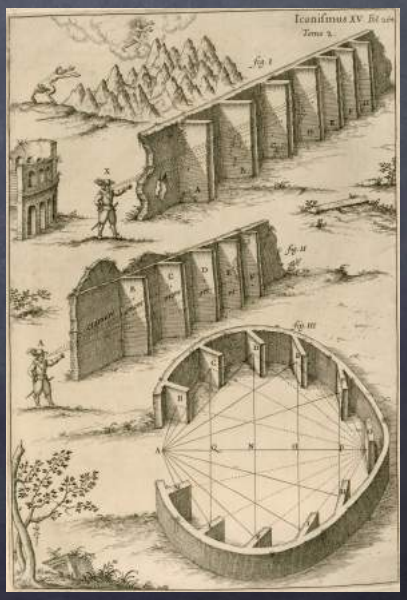
FENOMENI ACUSTICI

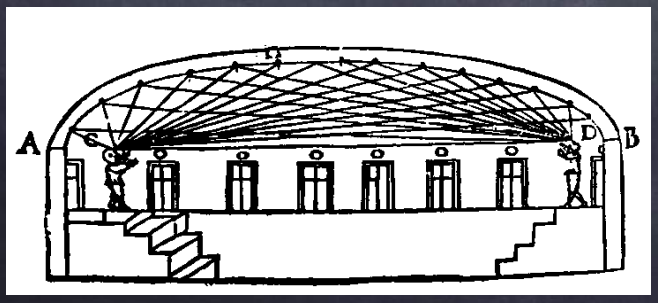
Studi sull'acustica

XVII D.C.



Athanasius Kircher (1602-1680):
- filosofo tedesco
- autore di 'Phonurgia Nova'

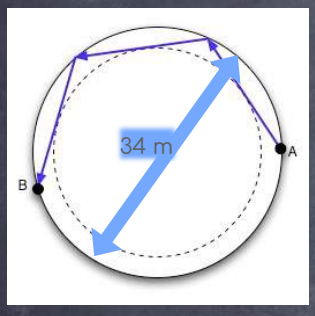




FENOMENI ACUSTICI

Whispering galleries

XVII D.C.



PERIODO ROMANTICO

ancora il metodo trial&error

"Mi sono arrovellato per dominare questa bizzarra scienza dell'acustica, ma da nessuna parte ho individuato una regola sicura che potesse guidarmi; al contrario, solo nozioni contraddittorie. Devo riconoscere che non ho adottato alcun principio, che il mio progetto non si basa su alcuna teoria e che attribuisco la riuscita o l'insuccesso al solo caso...come un acrobata che chiudendo gli occhi si aggrappa alle funi di un pallone che sale."

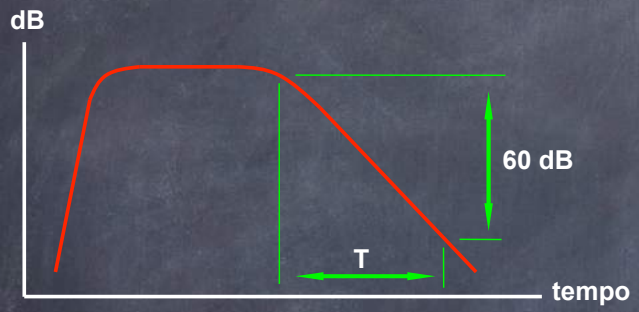
(C. Garnier, 1880)

NASCITA ACUSTICA MODERNA

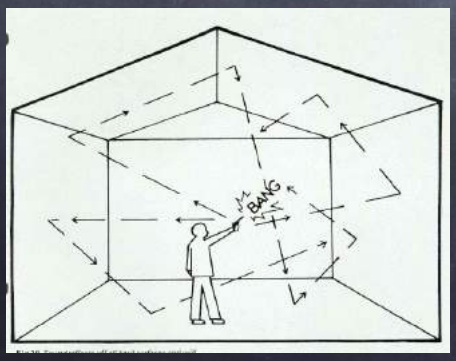
Wallace Clement Sabine (1868-1919)

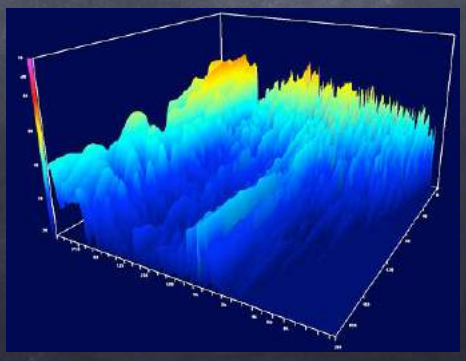
TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Formula di Sabine



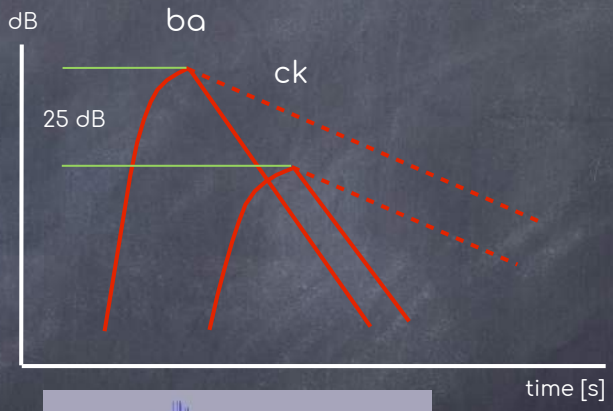
$$T_{60} = 0{,}161 \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S}$$





TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Influenza del riverbero sul linguaggio



RIVERBERAZIONE OTTIMALE

ALTRI DESCRITTORI ACUSTICI

spaciousness

envelopment

apparent source width

rapid speech transmission index (RASTI)

lateral efficiency

intimacy

definition

speech transmission index (STI)

liveness

clarity

loudness

interaural cross-correlation coefficient (IACC)

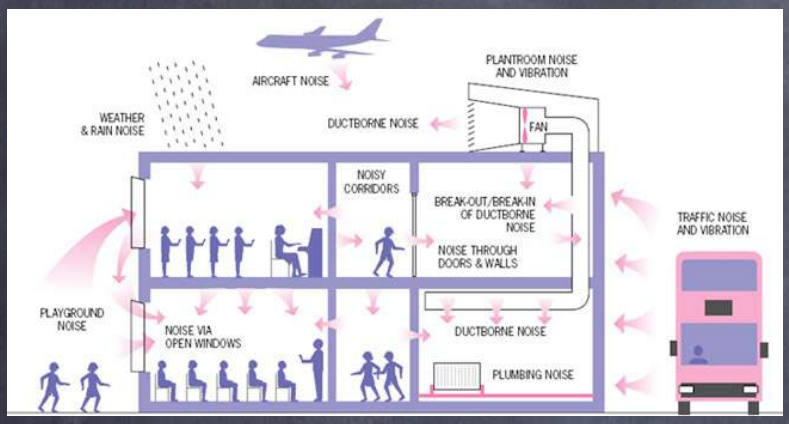
articulation loss

warmth

early decay time (EDT)

brilliance

ACUSTICA NEGLI SPAZI CONFINATI

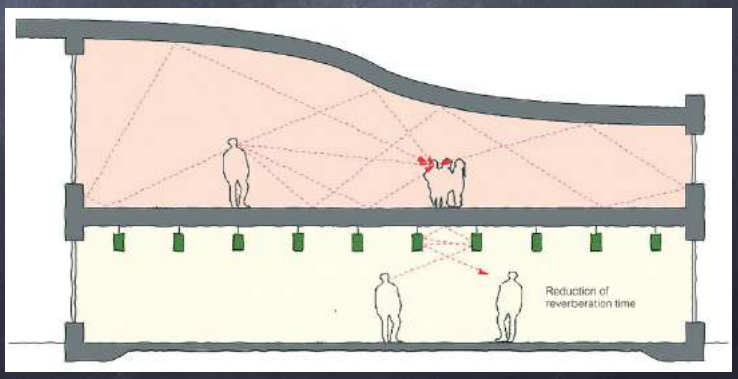


Rumore di fondo

- riduzione rumore esterno
- riduzione rumore impianti
- fonoisolamento

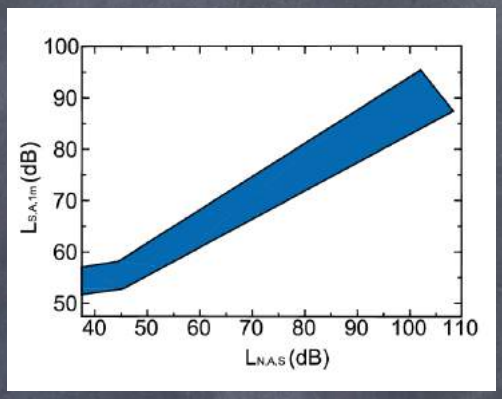
Riverberazione

- fonoassorbimento



EFFETTO LOMBARD

Sforzo vocale	$L_{S,A,1m}$ [dB(A)]
rilassato	54
normale	60
elevato	66
forte	72
molto forte	78



QUALITÀ DELLA COMUNICAZIONE

Può essere espressa in termini di intelligibilità del parlato e sforzo vocale

L'intelligibilità del parlato quantifica la % di un messaggio verbale compreso correttamente

Indici di intelligibilità:
- Rapporto segnale/rumore (SNR)
- Chiarezza (C50)
- Speech Transmission Index (STI)
- Speech Intelligibility Index (SII)

COMFORT ACUSTICO

RIF. normativo: UNI 11367: 2010

NORMA ITALIANA

Acustica in edilizia
Classificazione acustica delle unità immobiliari
Procedura di valutazione e verifica in opera

UNI 11367

LUGLIO 2010

Building acoustics
Acoustic classification of building units
Evaluation procedure and in situ measurements

La norma definisce, in riferimento ad alcuni requisiti acustici prestazionali degli edifici, i criteri per la loro misurazione e valutazione. Su tale base la norma stabilisce inoltre una classificazione acustica (in riferimento ad ognuno dei requisiti), per l'intera unità immobiliare (salvo alcune tipologie). È infine proposta una valutazione sintetica (con un unico indice descrittore) dell'insieme dei requisiti per unità immobiliare.
I criteri stabiliti nella presente norma sono applicabili a tutte le unità immobiliari con destinazione d'uso diversa da quella agricola, artigianale e industriale.

All'interno di ambienti confinati dove il comfort acustico, e in particolar modo l'intelligibilità del parlato, rivestono un'importanza fondamentale (aule scolastiche, sale conferenze, ecc.) è necessario determinare i parametri C50 e STI.

COMFORT ACUSTICO

RIF. normativo: UNI 11532: 2014

NORMA ITALIANA

Acustica in edilizia
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati

UNI 11532

APRILE 2014

Building acoustics
Internal acoustical characteristics of confined spaces

La norma definisce, in relazione alle diverse destinazioni d'uso degli ambienti, i descrittori acustici che meglio possano rappresentare le qualità acustiche degli ambienti proponendo, per ognuno di essi, i valori ottimali.

COMFORT ACUSTICO

RIF. normativo: UNI 11532: 2014

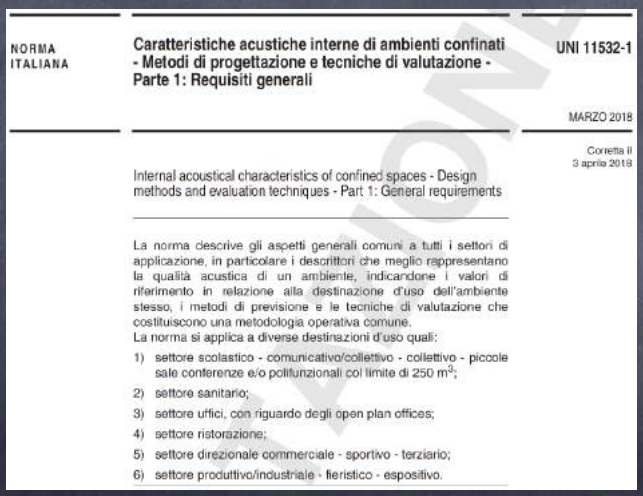
A.2 Valori di riferimento

prospetto A.1 **Valori di riferimento per il settore scolastico**

Destinazione ambiente	Descrittore[a]	Valore di riferimento[b]		Intervallo di frequenza (Hz)	Riferimento normativo[f]	Note[g]
AULE DIDATTICHE e affini						
Aule didattiche di ogni ordine e grado	T	≤0,6 s a 0,8 s	[h]	Da 500 a 2 000	UK	[m] [n]
	T	≤1,2 s	-	Da 500 a 2 000	IT	[m] [n]
	T	≤0,6 s	[i] 40% - 125 Hz	Da 125 a 2 000	NO [k]	[m] [n]
	T	≤0,6 s a 0,7 s	[o]	Da 500 a 2 000	USA	[m] [n] [r] $< 566\ m^3$
	T	≤0,6 s a 0,8 s	[j] 50% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	FI [q]	[o]
	T	≤0,5 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
	T	≤0,4 s a 0,8 s	[h]	Da 500 a 2 000	FR	[l] [m] [n]
	T	≤0,6 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	DK-1 [k]	[m]
	T	≤0,6 s	-	-	OMS	[m]
Open space	T	≤0,4 s	[h]	Da 250 a 2 000	NO [k]	[m] [n] [r] $< 1500\ m^3$
(in scuole secondarie)	T	≤0,6 s	[j] 13% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
(in scuole primarie o per l'infanzia)	T	≤0,4 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	DK-1 [k]	[m]
(doposcuola)	T	≤0,6 s	[j] 40% - 125 Hz	Da 125 a 2 000	NO [k]	[m] [n]
(doposcuola)	T	≤0,5 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
Aule per bambini con deficit uditivo	T	≤0,4 s	[h]	Da 500 a 2 000	UK	[m] [n]
Aule di Musica	T	≤1,0 s	-	Da 500 a 2 000	UK	[m] [n]
	T	≤0,4 s a 0,8 s	[h]	Da 500 a 2 000	FR	[l] [m] [n]
	T	≤0,6 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
(doposcuola)	T	≤0,6 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
(in acustica)	T	<1,0 s	[j] 50% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	FI [q]	[o]
(in acustica)	T	≤1,1 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	DK-1 [k]	[m]
(in elettrica)	T	<0,9 s	[j] 50% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	FI [q]	[o]
(in elettrica)	T	≤0,6 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	DK-1 [k]	[m]
(in scuole secondarie)	T	≤0,8 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
(in scuole primarie o per l'infanzia)	T	≤0,8 s a 1,0 s	[j] 50% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	FI [q]	[o]
Biblioteca	T	≤0,8 s a 1,0 s	[h]	Da 500 a 2 000	UK	[m] [n]
	T	≤0,4 s a 0,8 s	[h]	Da 500 a 2 000	FR	[l] [m] [n]
	T	≤0,6 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
(in scuole secondarie)	T	≤0,6 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
Laboratori scolastici	T	≤0,8 s	[h]	Da 500 a 2 000	UK	[m] [n]
	T	≤0,6 s	[j] 20% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	DK-1 [k]	[m]
	T	≤0,6 s	[j] 40% - 125 Hz	Da 125 a 4 000	NO [k]	[m] [n]
(in scuole secondarie)	T	≤0,5 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
Ambito scolastico senza particolare destinazione d'uso	T	≤0,4 s	[j] 25% - 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
Aula informatica	T	≤0,6 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]
(in scuole secondarie)	T	≤0,6 s	[c] 125 Hz [k]	Da 125 a 4 000	SE [q]	[m] [n]

COMFORT ACUSTICO

RIF. normativo: UNI 11532-1: 2018



NORMA ITALIANA

Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 1: Requisiti generali

UNI 11532-1

MARZO 2018

Corretta il 3 aprile 2018

Internal acoustical characteristics of confined spaces - Design methods and evaluation techniques - Part 1: General requirements

La norma descrive gli aspetti generali comuni a tutti i settori di applicazione, in particolare i descrittori che meglio rappresentano la qualità acustica di un ambiente, indicandone i valori di riferimento in relazione alla destinazione d'uso dell'ambiente stesso, i metodi di previsione e le tecniche di valutazione che costituiscono una metodologia operativa comune.
La norma si applica a diverse destinazioni d'uso quali:

1) settore scolastico - comunicativo/collettivo - collettivo - piccole sale conferenze e/o polifunzionali col limite di 250 m^3;
2) settore sanitario;
3) settore uffici, con riguardo degli open plan offices;
4) settore ristorazione;
5) settore direzionale commerciale - sportivo - terziario;
6) settore produttivo/industriale - fieristico - espositivo.

COMFORT ACUSTICO

RIF. normativo: DM 11 ottobre 2017 (CAM) - Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI PER L'AFFIDAMENTO DI SERVIZI DI PROGETTAZIONE E LAVORI PER LA NUOVA COSTRUZIONE, RISTRUTTURAZIONE E MANUTENZIONE DI EDIFICI PUBBLICI

1 Premessa
1.1 Oggetto e struttura del documento
1.2 Indicazioni generali per la stazione appaltante
1.3 Tutela del suolo e degli habitat naturali
1.4 Il criterio dell'offerta «economicamente più vantaggiosa»

2 Criteri ambientali minimi per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici singoli o in gruppi
2.1 Selezione dei candidati
2.1.1 Sistemi di gestione ambientale
2.1.2 Diritti umani e condizioni di lavoro
2.2 Specifiche tecniche per gruppi di edifici
2.2.1 Inserimento naturalistico e paesaggistico
2.2.2 Sistemazione aree a verde
2.2.3 Riduzione del consumo di suolo e mantenimento della permeabilità dei suoli
2.2.4 Conservazione dei caratteri morfologici
2.2.5 Approvvigionamento energetico
2.2.6 Riduzione dell'impatto sul microclima e dell'inquinamento atmosferico
2.2.7 Riduzione dell'impatto sul sistema idrografico superficiale e sotterraneo
2.2.8 Infrastrutturazione primaria
2.2.8.1 Viabilità
2.2.8.2 Raccolta, depurazione e riuso delle acque meteoriche
2.2.8.3 Rete di irrigazione delle aree a verde pubblico
2.2.8.4 Aree di raccolta e stoccaggio materiali e rifiuti
2.2.8.5 Impianto di illuminazione pubblica
2.2.8.6 Sottoservizi/canalizzazioni per infrastrutture tecnologiche
2.2.9 Infrastrutturazione secondaria e mobilità sostenibile
2.2.10 Rapporto sullo stato dell'ambiente
2.3 Specifiche tecniche dell'edificio
2.3.1 Diagnosi energetica
2.3.2 Prestazione energetica
2.3.3 Approvvigionamento energetico
2.3.4 Risparmio idrico
2.3.5 Qualità ambientale interna
2.3.5.1 Illuminazione naturale
2.3.5.2 Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata
2.3.5.3 Dispositivi di protezione solare
2.3.5.4 Inquinamento elettromagnetico indoor
2.3.5.5 Emissioni dei materiali
2.3.5.6 Comfort acustico
2.3.5.7 Comfort termo-igrometrico
2.3.5.8 Radon

COMFORT ACUSTICO

RIF. normativo: DPCM 11 ottobre 2017 (CAM) - Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

2.3.5.6 Comfort acustico

I valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio devono corrispondere almeno a quelli della classe II ai sensi delle norma UNI 11367. Gli ospedali, le case di cura e le scuole devono soddisfare il livello di «prestazione superiore» riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A della norma 11367. Devono essere altresì rispettati i valori caratterizzati come «prestazione buona» nel prospetto B.1 dell'appendice B alla norma UNI 11367.

Gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532.

I descrittori acustici da utilizzare sono:

- quelli definiti nella UNI 11367 per i requisiti acustici passivi delle unità immobiliari;
- almeno il tempo di riverberazione e lo STI per l'acustica interna agli ambienti di cui alla UNI 11532.

Verifica: i professionisti incaricati, ciascuno per le proprie competenze, devono dare evidenza del rispetto dei requisiti, sia in fase di progetto iniziale che in fase di verifica finale della conformità, consegnando rispettivamente un progetto acustico e una relazione di collaudo redatta tramite misure acustiche in opera, ai sensi delle norme UNI 11367, UNI 11444 e UNI 11532:2014 o norme equivalenti che attestino il raggiungimento della classe acustica qui richiesta. Qualora il progetto sia sottoposto ad una fase di verifica valida per la successiva certificazione dell'edificio secondo uno dei protocolli di sostenibilità energetico-ambientale degli edifici (rating systems) di livello nazionale o internazionale, la conformità al presente criterio può essere dimostrata se nella certificazione risultano soddisfatti tutti i requisiti riferibili alle prestazioni ambientali richiamate dal presente criterio. In tali casi il progettista è esonerato dalla presentazione della ulteriore documentazione sopra indicata, ma è richiesta la presentazione degli elaborati e/o dei documenti previsti dallo specifico protocollo di certificazione di edilizia sostenibile perseguita, fermo restando l'esecuzione del collaudo.

I professionisti devono dare evidenza del rispetto sia in fase di progetto che di verifica finale (progetto acustico+collaudo finale)

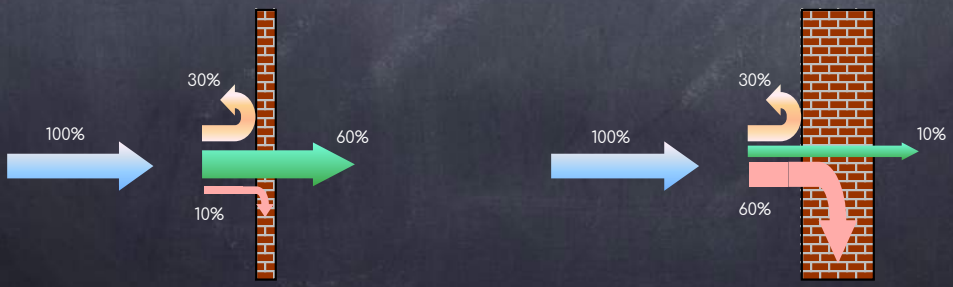
PROPRIETÀ ACUSTICHE

COEFFICIENTE DI FONOASSORBIMENTO

Si definisce il coefficiente di assorbimento acustico apparente

$$\alpha = d + t = 1 - r$$

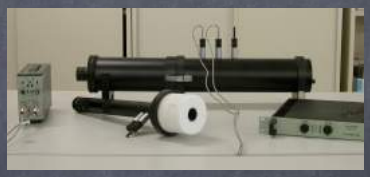
Alpha comprende sia il contributo di energia effettivamente assorbita dal materiale che il contributo che viene di energia trasmessa, ovvero comprende tutto ciò che non è riflesso, da cui 'apparente'.



PROPRIETÀ ACUSTICHE

MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO

- Misura nel tubo a onde stazionarie (tubo di Kundt) (UNI EN ISO 10534)



- Misura in camera riverberante (UNI EN ISO 354)

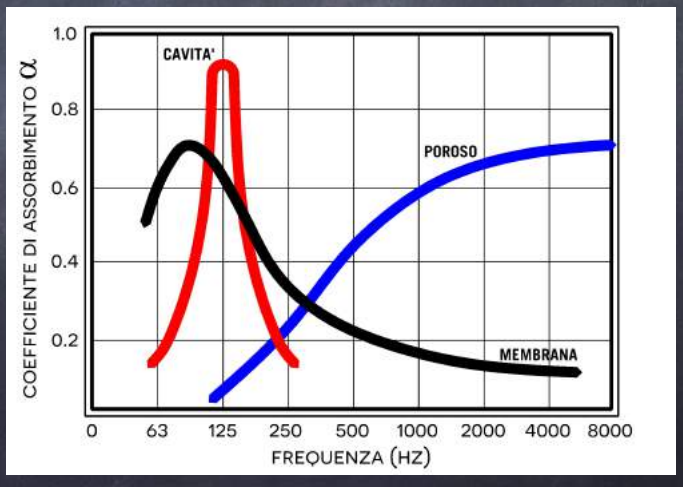
- Misura con metodo a riflessione (UNI EN ISO 13472-1)

PROPRIETÀ ACUSTICHE

MATERIALI FONOASSORBENTI

I materiali assorbenti sono utilizzati nei trattamenti acustici per diminuire il tempo di riverberazione all'interno di un ambiente ed eliminare riflessioni indesiderate.

Tre meccanismi principali di assorbimento del suono:
- porosità
- risonanza di cavità
- risonanza di membrana



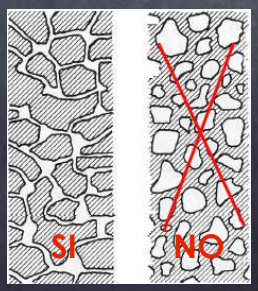
PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ

2 tipologie di materiali: fibrosi e cellulari (a cella aperta).

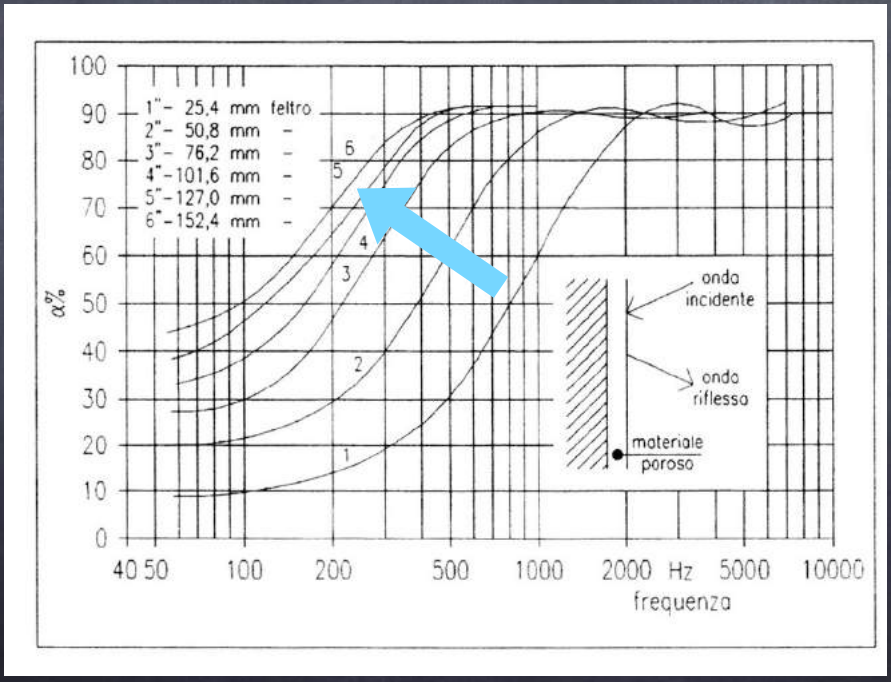
Alta percentuale di aria al loro interno in collegamento con l'ambiente esterno.

Il meccanismo di assorbimento per porosità è dovuto alle perdite per irreversibilità legate al fatto che l'onda sonora mette in vibrazione l'aria contenuta nelle porosità e negli interstizi del materiale. In sostanza la perdita di energia avviene per effetto dell'attrito viscoso sulle pareti della struttura del materiale.



PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - EFFETTO DELLO SPESSORE

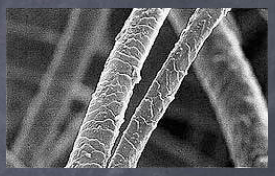


PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI FIBROSI

Tradizionalmente i più utilizzati fin dall'antichità.

Costituiti da fibre di diversa natura unite con leganti chimici o trattamenti fisici.



Prodotti:
- lana di roccia
- lana di vetro
- fibre di poliestere
- feltri (fibre tessili riciclate)
- fibre di acido polilattico (mais)
- fibre vegetali (cotone, canapa, cocco, legno, cellulosa, ecc.)
- fibre animali (lana di pecora, piume d'oca, ecc.)

PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI FIBROSI

L'assorbimento acustico è funzione di diversi parametri:

- diametro delle fibre

- orientamento delle fibre

- densità del materiale

- spessore del pannello

- porosità (ad es. lana minerale 90-95%)

- resistenza al flusso

PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI FIBROSI

Materiale	Diametro medio delle fibre µm	Densità	Settori di impiego
Lana di roccia	4÷8	30÷120	Edilizia
Lana di vetro	1÷5	20÷40	Edilizia
Fibra poliestere	20÷40	10÷60	Edilizia, trasporti, industria
Feltro	varie	20÷100	Trasporti, elettrodomestici

PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI IN FIBRE VEGETALI

Materiale	Diametro medio delle fibre µm	Densità	Settori di impiego
Cotone, canapa, cocco, legno, cellulosa, ecc.	varie	10÷150	Bioedilizia

PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI IN FIBRE ANIMALI

Materiale	Diametro medio delle fibre µm	Densità	Settori di impiego
Lana di pecora, piume d'oca ecc.	varie	10÷80	Bioedilizia

PROPRIETÀ ACUSTICHE

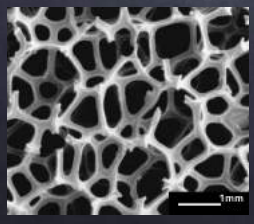
ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI CELLULARI

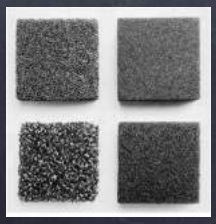
Materiale	Densità	Settori di impiego
Poliuretani espansi a cella aperta	20÷50	Industria, trasporti
Resina melamminica	10	Edilizia, industria, trasporti
Schiuma espansa a base di polietilene	10÷20	Edilizia, industria

PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI CELLULARI

Materiale	Densità	Settori di impiego
Schiume di alluminio	10÷100	Trasporti

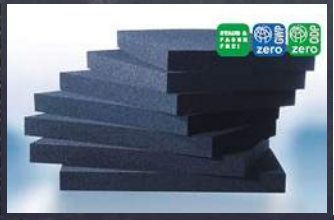


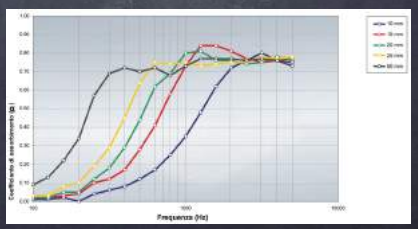


PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI CELLULARI

Materiale	Densità	Settori di impiego
Aggregati di elastomeri espansi	120÷240	Industria, trasporti, elettrodomestici





PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER POROSITÀ - MATERIALI CELLULARI

Materiale	Densità	Settori di impiego
Aggregati di gomma, plastica, ecc.	40÷1500	Industria, trasporti, elettrodomestici

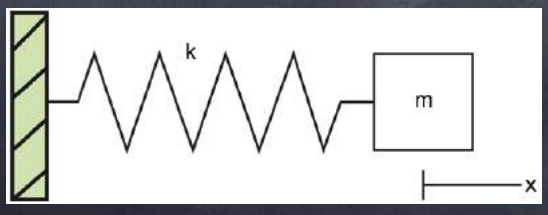
PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ

Il risuonatore a cavità o risuonatore di Helmholtz è costituito da una cavità di volume V messa in comunicazione con l'esterno tramite un'apertura, detta collo, di lunghezza l e sezione S.

In analogia ad un oscillatore meccanico l'onda sonora incidente sul risuonatore mette in vibrazione l'aria contenuta nel collo che inizia a comportarsi come una massa oscillante, mentre l'aria presente nella cavità funge da molla.

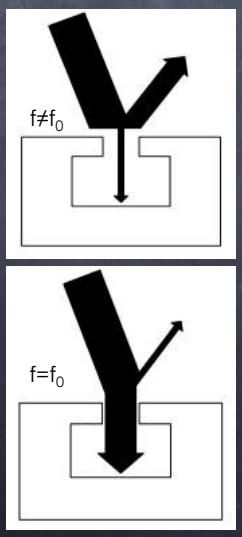
Il meccanismo di assorbimento per risonanza di cavità è dovuto alle perdite per attrito viscoso dell'aria all'interno del collo del risuonatore.



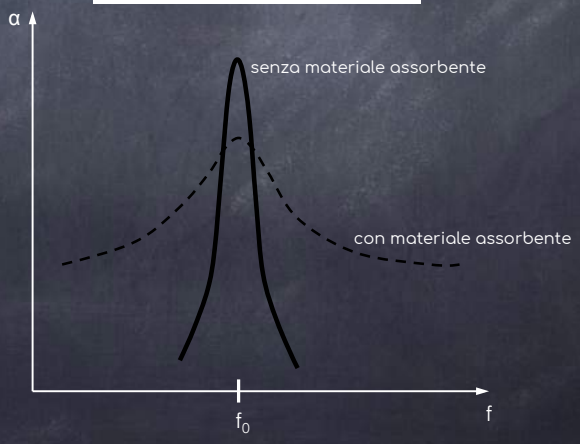
PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ

Il picco di assorbimento si registra in corrispondenza della frequenza di risonanza del risuonatore.



$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{V(l+1.6r)}}$$



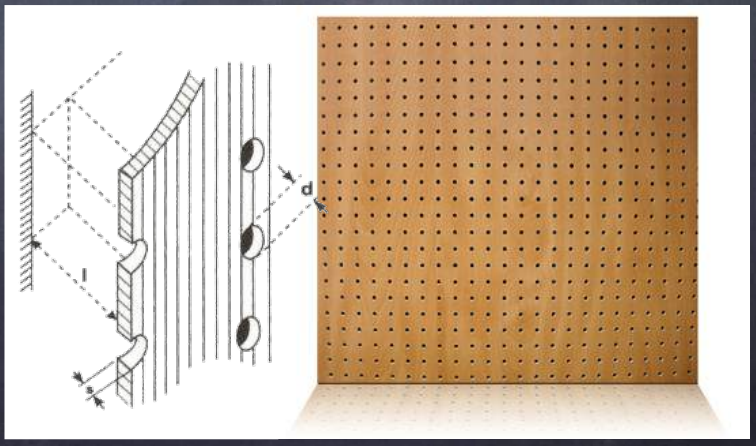
PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ

Un'applicazione pratica della risonanza di cavità è rappresentata dai pannelli forati fissati ad una certa distanza dalla parete. Il loro comportamento è analogo a quello di un risuonatore classico, anche se generalmente sono meno efficienti.

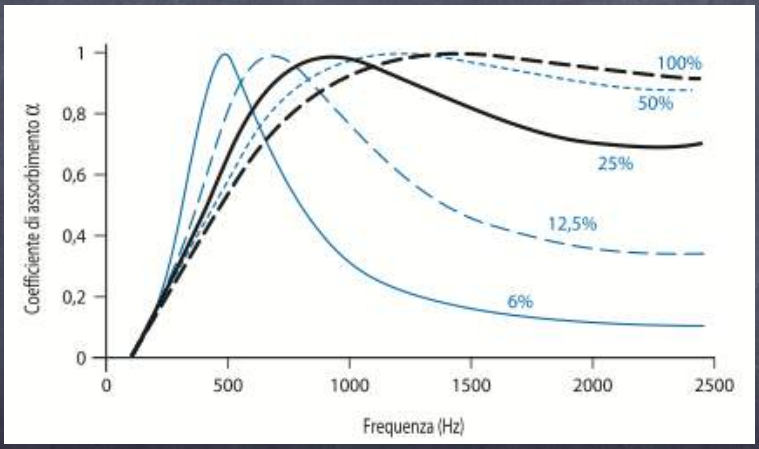
$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{P}{l \cdot s}}$$

dove:
- P: % di foratura
- l: distanza dalla parete
- s: spessore del pannello



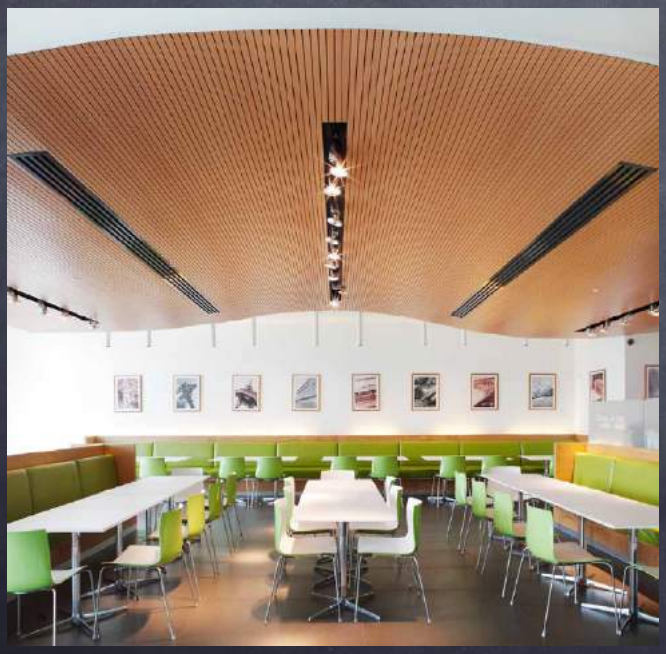
PROPRIETÀ ACUSTICHE

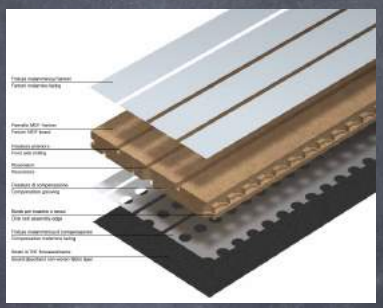
ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ - EFFETTO % FORATURA

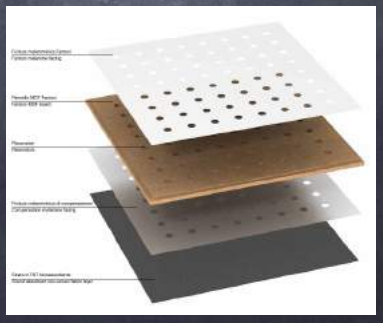


PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI CAVITÀ - ESEMPI







PROPRIETÀ ACUSTICHE

CASO PARTICOLARE - PANNELLI MICROFORATI

Rappresentano una casistica a parte rispetto ai pannelli forati in quanto il comportamento richiede una trattazione analitica molto più complessa.
Si tratta di pannelli impervi con fori molto ravvicinati di diametro inferiore ad 1 mm (generalmente tra 0.2 e 0.6 mm), tali da indurre nel campo acustico perdite energetiche molto elevate dovute alla viscosità del fluido.
Sviluppati per ottenere assorbimento su una banda di frequenze sufficientemente larga con panelli trasparenti o semitrasparenti, senza impiego di layer fibrosi.

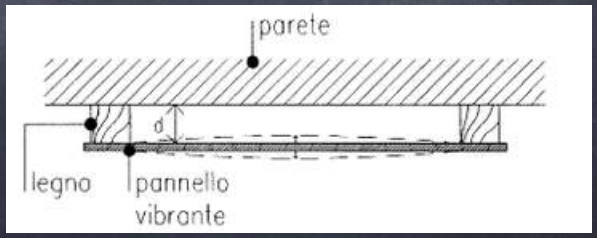
PROPRIETÀ ACUSTICHE

ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI MEMBRANA

Il risuonatore a membrana è costituito da un pannello in materiale elastico (legno , fibre di legno, membrane, etc.) non poroso. Esso viene installato ad una certa distanza dalla superficie di supporto a formare una cavità d'aria.

In analogia ad un oscillatore meccanico l'onda sonora incidente sul risuonatore mette in vibrazione il pannello che inizia a comportarsi come una massa oscillante, mentre l'aria presente nella cavità funge da molla.

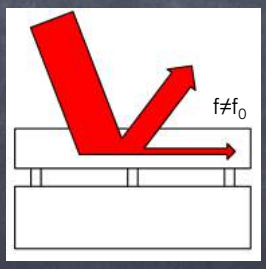
Il meccanismo di assorbimento per risonanza di membrana è dovuto alla trasformazione dell'energia sonora in energia meccanica, ovvero in vibrazioni flessionali del pannello.

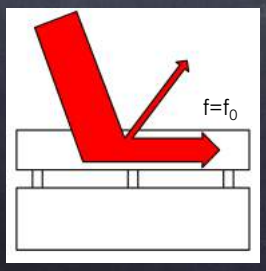


PROPRIETÀ ACUSTICHE

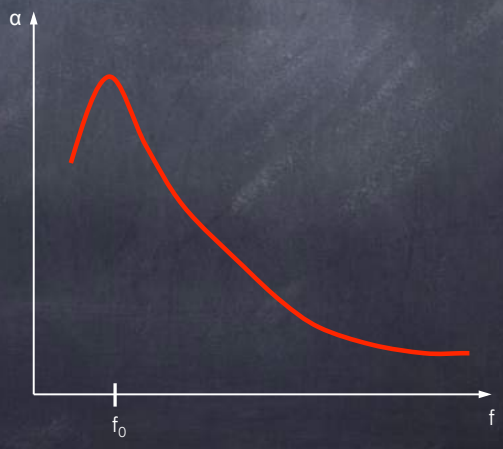
ASSORBIMENTO PER RISONANZA DI MEMBRANA

Il picco di assorbimento si registra in corrispondenza della frequenza di risonanza del risuonatore.





$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}}$$



alberto asquini
acoustic engineering

ing.alberto.asquini@gmail.com

Monza / 10 maggio 2018