

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Progettare il Comfort Acustico Indoor: Approcci Avanzati all'Assorbimento Sonoro negli Ambienti Interni

Normative e Requisiti Prestazionali

Ing. Momisch Calanna



COME VIENE PERCEPITO IL RUMORE DALL'ESSERE UMANO

COME VIENE PERCEPITO IL RUMORE DALL'ESSERE UMANO

IL SISTEMA Uditivo

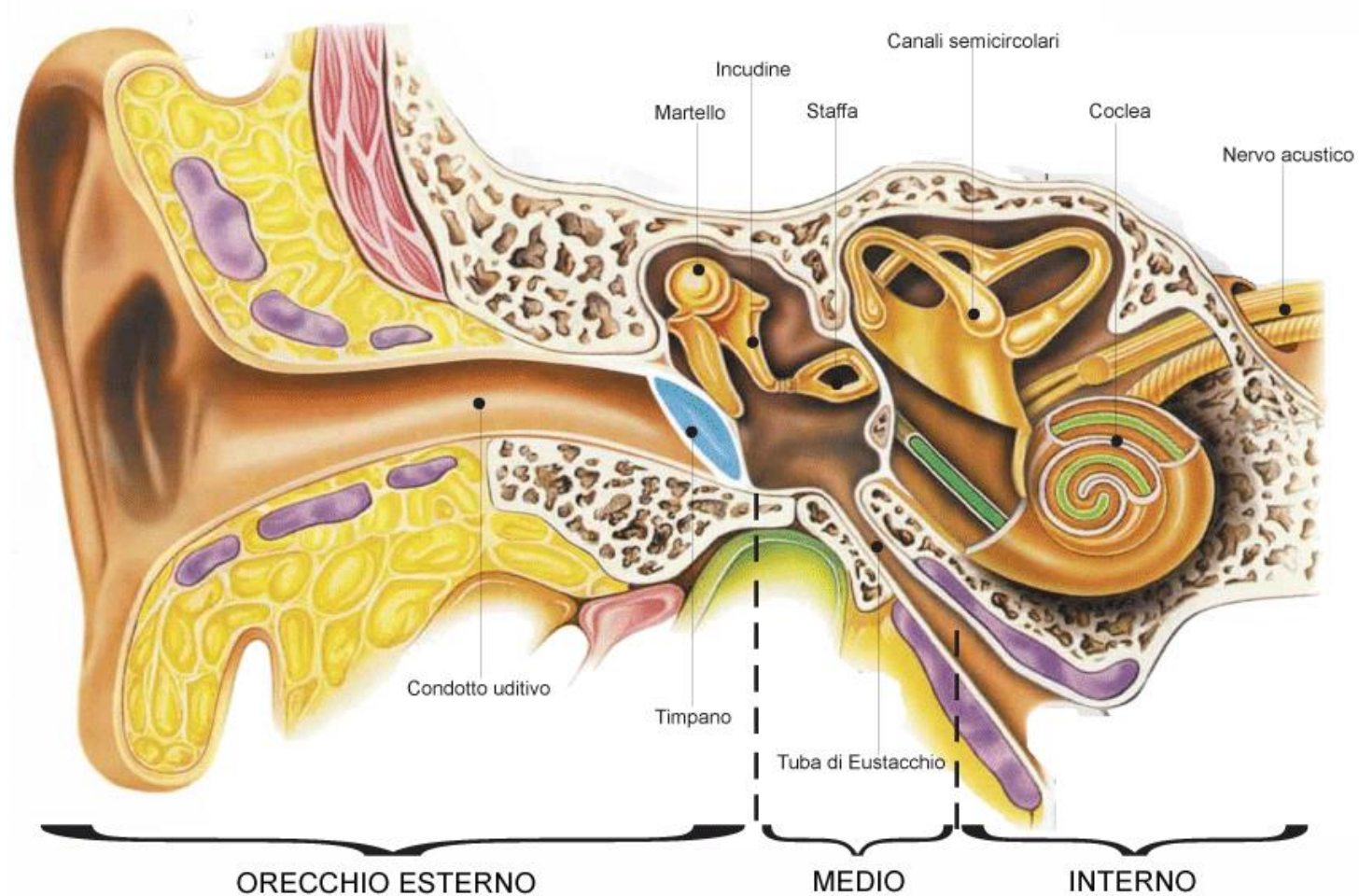
L'orecchio è un **trasduttore** estremamente sensibile e risponde alle variazioni di pressione provocate dalle compressioni e rarefazioni causate dalle onde sonore mediante una serie di processi correlati che si verificano all'interno dell'organo uditivo. Quando arrivano all'ascoltatore, le onde di pressione sonora sono raccolte dal canale auricolare tramite la parte esterna dell'orecchio (**pinna**) e poi indirizzate al timpano. Le onde sonore sono poi trasformate in vibrazioni meccaniche e trasferite alla parte interna dell'orecchio mediante tre ossicini (**martello, incudine e staffa**).

E' costituito da un sistema complesso di organi, aree, componenti e attraverso numerosi passaggi **converte il segnale acustico in una serie di impulsi elettrici**. E' suddiviso in tre zone:

- **orecchio esterno**: costituito dal padiglione auricolare, dal canale uditivo fino alla membrana timpanica; ha lo scopo di raccogliere ed incanalare le onde sonore
- **orecchio medio**: formato da una catena di ossicini, dal timpano alla coclea; realizza una importante amplificazione del segnale sonoro
- **orecchio interno**: composto dalla coclea e dai nervi cocleari che trasferiscono gli impulsi elettrici fino al cervello e pertanto trasforma lo stimolo meccanico in stimolo nervoso.

COME VIENE PERCEPITO IL RUMORE DALL'ESSERE UMANO

IL SISTEMA UDITIVO

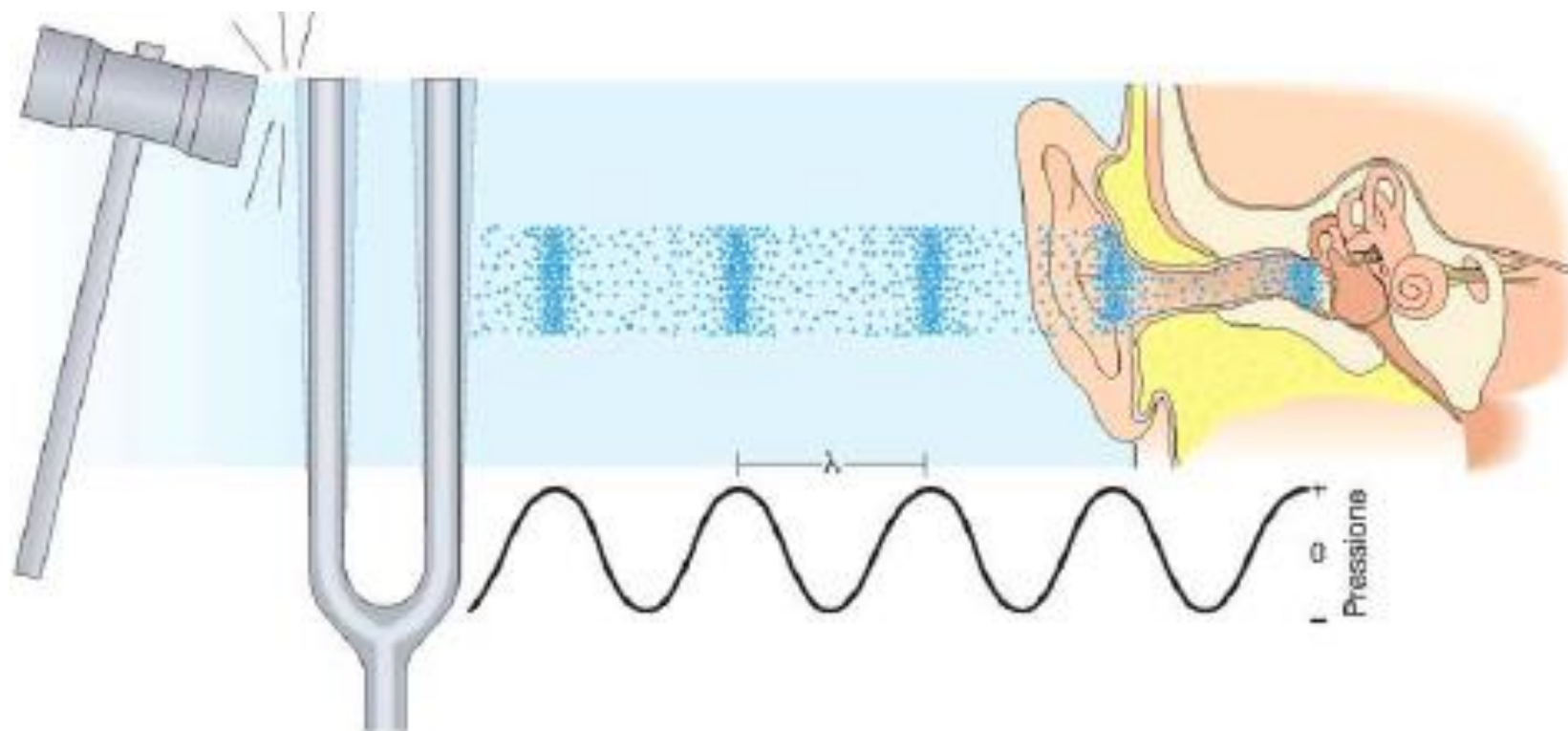


COME VIENE PERCEPITO IL RUMORE DALL'ESSERE UMANO

IL SISTEMA UDITIVO

suono: sensazione soggettiva dovuta all'attivazione del sistema uditivo in risposta alla vibrazione di un mezzo elastico.

La vibrazione si propaga sotto forma di onda sonora come alternanza di compressione e rarefazione delle molecole del mezzo, e raggiunge l'orecchio interno.



COME VIENE PERCEPITO IL RUMORE DALL'ESSERE UMANO



IL PROBLEMA DEL RUMORE NEGLI AMBIENTI CONFINATI



LA PERCEZIONE SOGGETTIVA

La differenza principale tra un **suono** e un **rumore** è come la vibrazione è **percepita** dall'individuo.

Immaginiamo come sorgente sonora un brano musicale, una conversazione tra colleghi o un cantiere esterno fuori dalla nostra finestra: ciò che una persona ritiene tollerabile può essere considerato disturbante o fastidioso da un'altra persona.

EFFETTI EXTRA UDITIVI: COSA SONO?

È ampiamente comprovato dalla ricerca scientifica che il **rumore** agisca da generico

ELEMENTO DI STRESS

e che come tale **possa attivare diversi sistemi fisiologici**, provocando modificazioni alle nostre funzioni vitali quali:

- **aumento della pressione sanguigna**
- **aumento del ritmo cardiaco**
- **vasocostrizione**



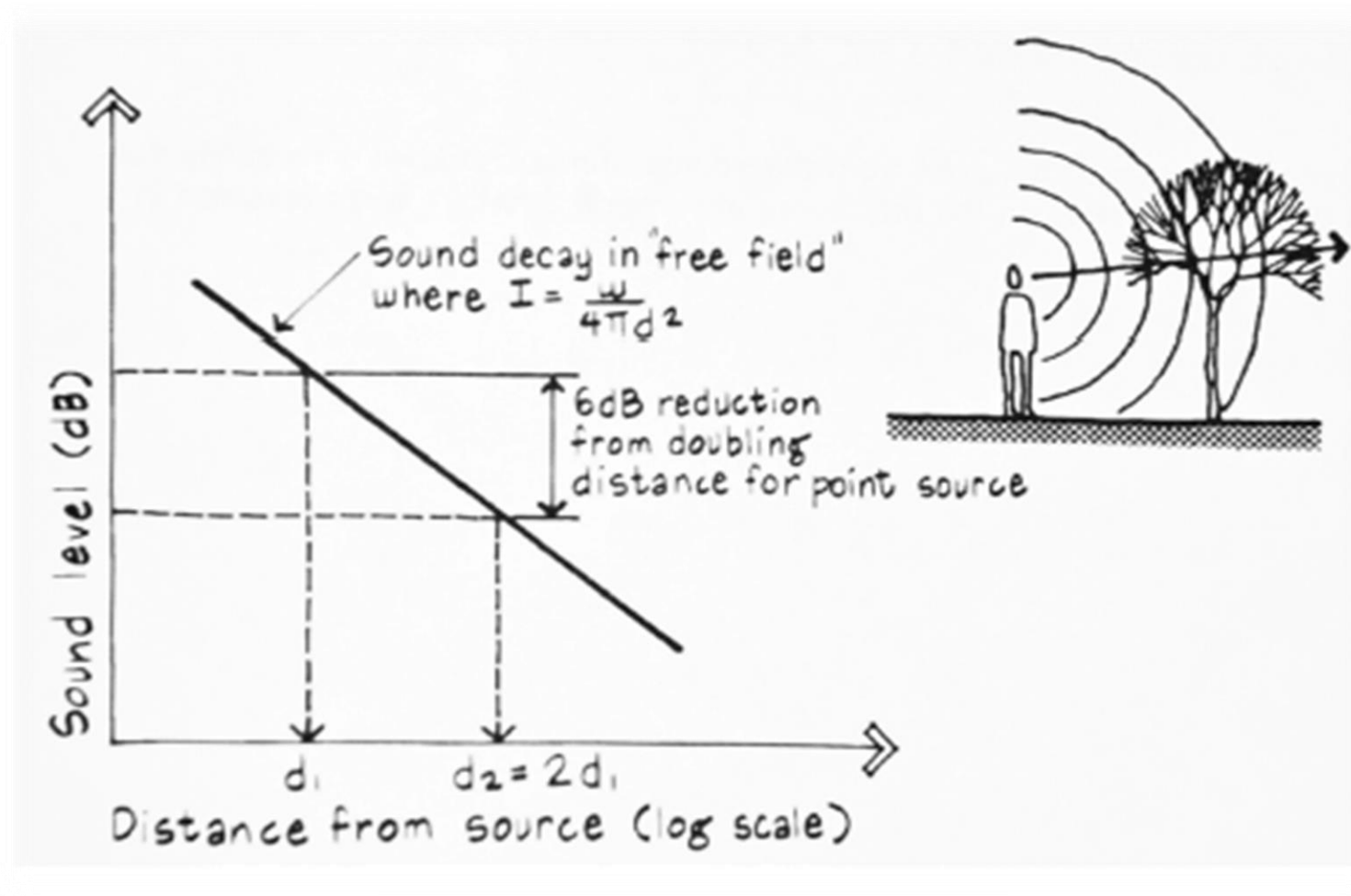
DOVE LI POSSIAMO TROVARE QUESTI EFFETTI? (INDOOR)

- Negli ambienti confinati e in ambiente esterno, dove sono presenti componenti di rumore a bassa intensità per lo più con una **spiccata componente tonale**
- Oppure dove si ha una presenza di un **rumore di fondo costante** e disturbante.
- Esempio **Open Space**, sale riunioni non trattate e **Call Center**
- In particolare l'esposizione al **rumore** si correla a **patologie** quali **depressione minore e disturbi d'ansia**.

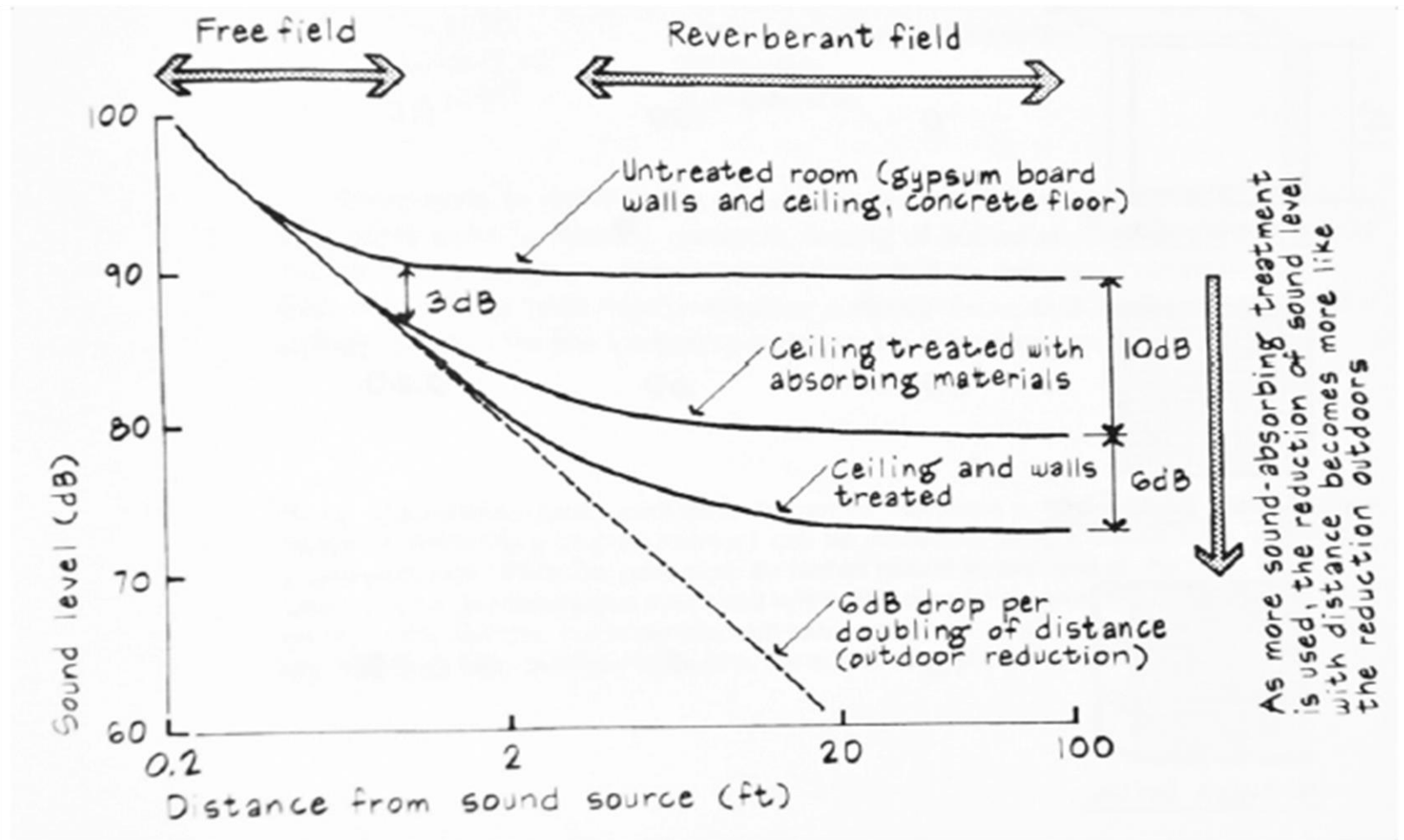


ATTENUAZIONE DEL SUONO CON LA DISTANZA IN CAMPO LIBERO

In campo libero il suono decade di 6 dB per ogni raddoppio della distanza.



ATTENUAZIONE DEL SUONO CON LA DISTANZA IN AMBIENTE CHIUSO



SCELTE ARCHITETTONICHE

Il design acustico di uno spazio confinato riguarda la qualità materica degli elementi di finitura e il loro posizionamento.

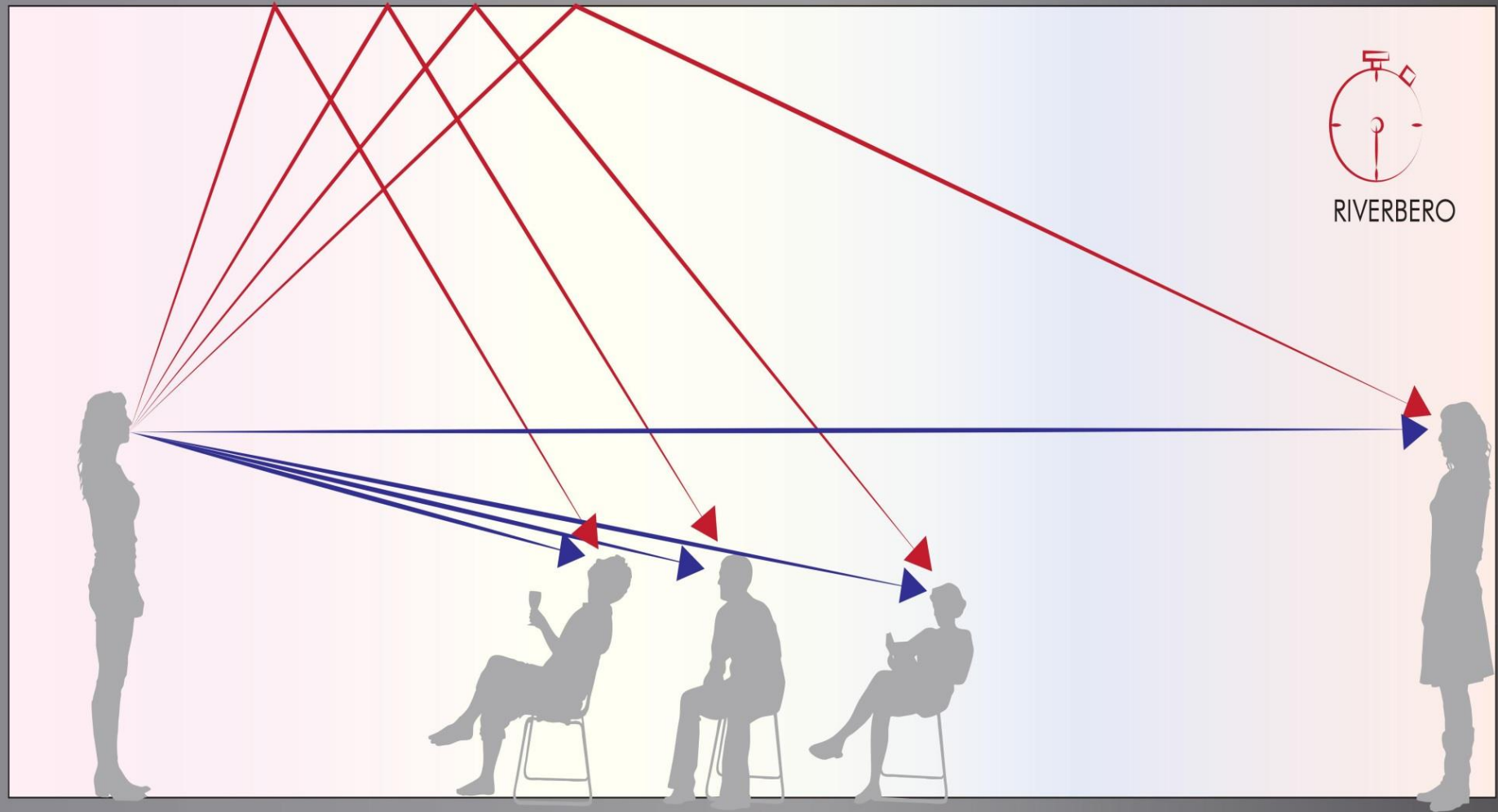
I rivestimenti devono essere scelti **per massimizzare il comfort acustico** insieme a tutti gli altri aspetti che concorrono alla qualità interna e alla vivibilità di un ambiente.

L'obiettivo di un'opera è **CREARE BENESSERE** per chi la vive.

Il decadimento del suono in un ambiente chiuso
dipende dalle proprietà assorbenti, riflettenti,
diffondenti delle superfici che lo costituiscono

(muri, pavimenti, pareti, oggetti, persone etc..)

IL TEMPO DI RIVERBERAZIONE



WALLACE CLEMENT SABINE (1868 – 1919)

Professore all'università di Harvard, fu il primo fisico a studiare in modo scientifico l'acustica

→ *legge di Sabine*



TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Sabine: correzione del Fogg Art Museum ad Harvard

Nella nuova "Lecture Hall" del Fogg Art Museum (Harvard University) il suono persisteva per circa **5.5 secondi** per le multiple riflessioni sulle superfici intonacate della sala. Dato che molte persone che parlano inglese potrebbero completare 15 sillabe in 5.5 secondi, non c'era praticamente intellegibilità del parlato da nessuna parte della sala.

Sabine comprese che il problema della persistenza dell'energia sonora era dovuta alla grandezza della sala e ai suoi arredi, persone comprese. Effettuò molteplici test utilizzando canne da organo come sorgenti ed altre strumentazioni. La canna da organo aveva nella sala un livello iniziale di circa 60dB sopra il livello di percezione di un giovane ascoltatore alla frequenza di 512 Hz.

Sabine utilizzò il suo udito disciplinato per giudicare quando la sorgente della canna d'organo cessava di essere udibile: ne misurò il **tempo di decadimento** con un cronografo e lo definì come **Tempo di Riverberazione**. Coprì le sedute di materiale poroso fonoassorbente e misurò quanto diminuiva il tempo di riverberazione nella sala.

TEMPO DI RIVERBERAZIONE

È il tempo necessario affinché la densità di energia sonora decresca di 60 dB dal valore originario dopo che la sorgente abbia cessato di vibrare

Legge di Sabine: $RT_{60} [s] = 0,16 \frac{V}{A}$

dove:

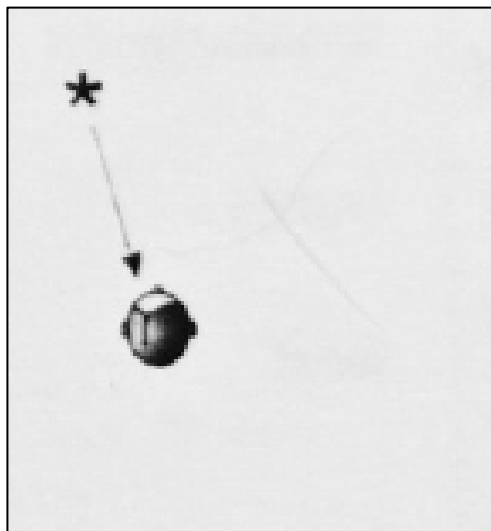
V = volume della sala

A = Area di assorbimento equivalente = $\sum(\alpha_i \cdot S_i)$



SUONO DIRETTO

Il **suono diretto** è il suono che raggiunge l'ascoltatore percorrendo la minore distanza possibile dalla sorgente, e trasmette informazioni relative a:

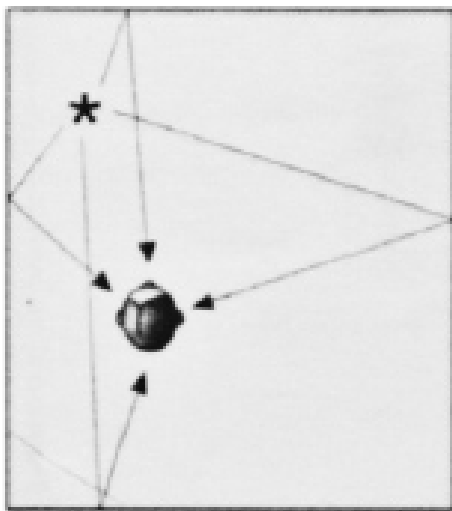


- 1) posizione della sorgente
- 2) dimensione della sorgente
- 3) timbro 'vero' della sorgente

L'assorbimento che si verifica quando il suono viene riflesso da una superficie non è uguale a tutte le frequenze, perciò il timbro del suono riflesso è influenzato dalle caratteristiche della superficie che ha incontrato.

SUONO DIRETTO

PRIME RIFLESSIONI

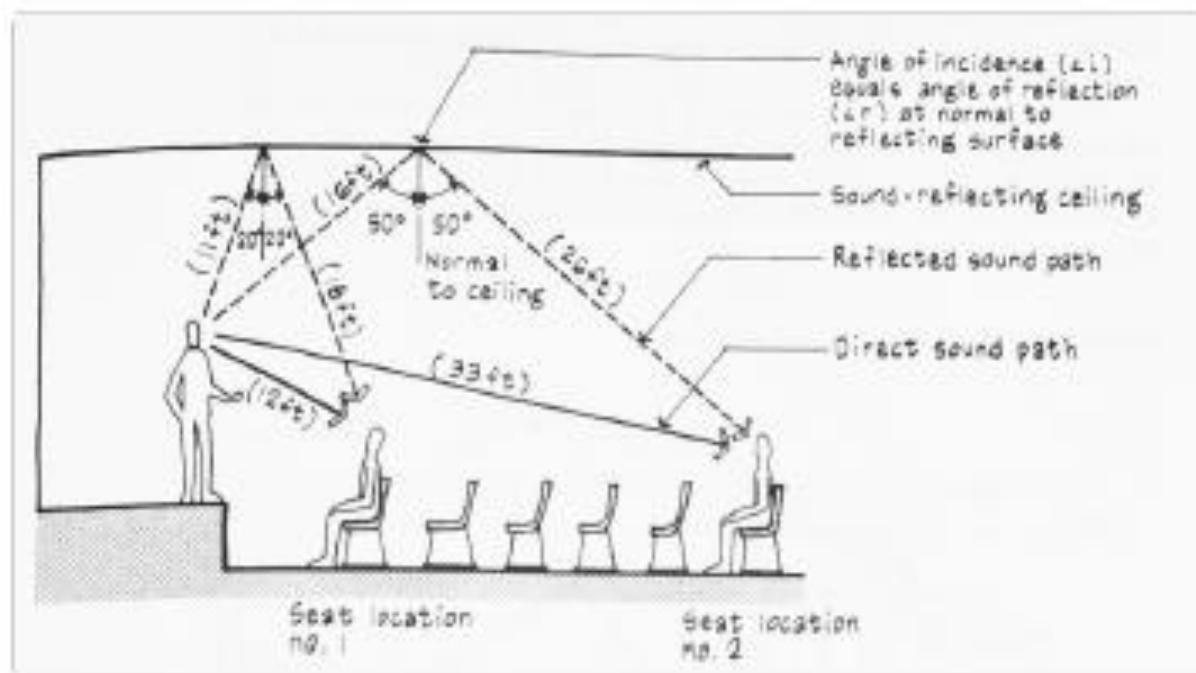


Le **prime riflessioni** raggiungono l'orecchio entro **30 ÷ 80 millisecondi** dal suono diretto: queste riflessioni sono il risultato di onde che hanno incontrato poche superfici prima di arrivare all'ascoltatore, e possono giungere da direzioni diverse rispetto al suono diretto.

SUONO RIFLESSO

L'**intervallo di tempo** che intercorre tra l'ascolto del suono diretto e l'inizio delle prime riflessioni fornisce informazioni sulla dimensione della stanza in cui si verifica l'evento sonoro: più lontane sono le superfici rispetto all'ascoltatore, maggiore sarà il tempo che il suono impiega per raggiungerle e per venire poi riflesso verso l'ascoltatore stesso

FUSIONE TEMPORALE



Le **prime riflessioni** che raggiungono l'orecchio entro $30 \div 80$ millisecondi dal suono diretto, oltre a non risultare udibili **sono di fatto fuse con il suono diretto stesso**. L'orecchio umano non riesce a distinguere separatamente suoni che si verificano molto ravvicinati nel tempo e considera le riflessioni come parte del suono diretto. Nonostante **le prime riflessioni** siano soppresse e risultino amalgamate con il suono diretto, esse **modificano la nostra percezione** del suono, rendendolo più pieno e intenso.

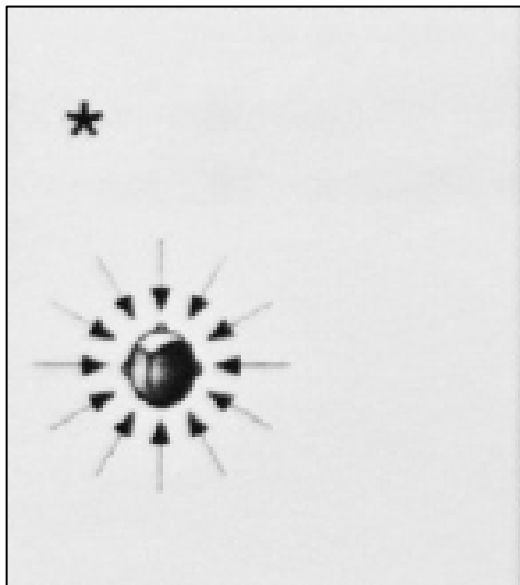
...DOPO LE PRIME RIFLESSIONI

I suoni che raggiungono l'ascoltatore in un istante successivo a $30 \div 80$ millisecondi dopo il suono diretto, sono stati riflessi da un numero tale di superfici diverse che cominciano a raggiungere l'ascoltatore in un flusso virtualmente continuo e da tutte le direzioni.

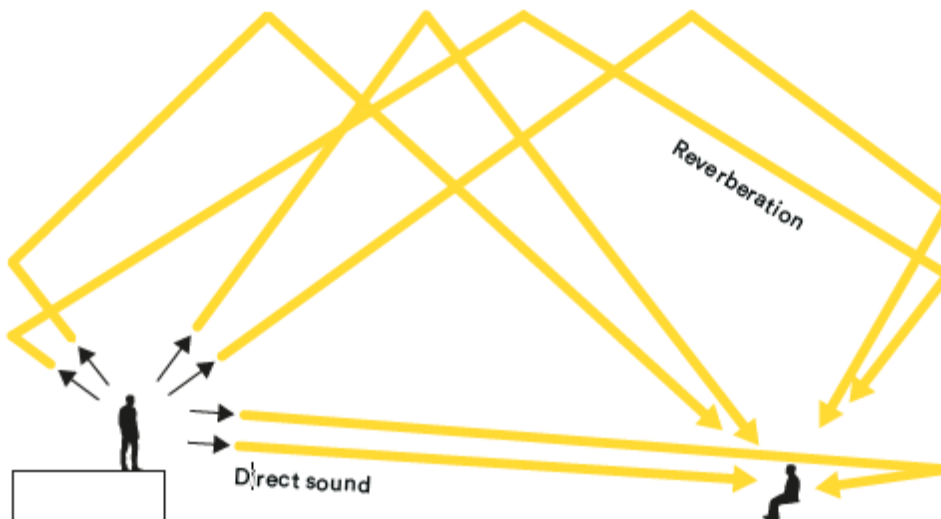
Queste onde ravvicinate sono dette **riverberazione**: essa è caratterizzata da una diminuzione graduale di ampiezza e dal fatto che conferisce calore e corposità al suono; inoltre contribuisce anche alla sua intensità.

A causa delle molte riflessioni, il timbro della riverberazione è molto diverso rispetto al suono diretto, e la differenza principale è un **taglio delle alte frequenze** e una conseguente **enfaticizzazione delle basse**.

RIVERBERAZIONE



CODA RIVERBERANTE



Persistenza del suono dopo che la sorgente sonora ha cessato di vibrare. È causata dalla riflessione continuata delle onde sonore sulle superfici dell'ambiente in cui si propagano.

In ogni riflessione l'intensità del suono viene ridotta di un fattore x tale che dopo N riflessioni risulterà ridotta di un fattore x^N .

andamento esponenziale decrescente

TEMPO DI RIVERBERAZIONE

ESEMPI DI TEMPI DI RIVERBERO DI DURATA DIVERSA



CRITERI AMBIENTALI MINIMI



D.M. 22/06/2023

DECRETO CAM 22/06/2023

PER GARANTIRE UN ADEGUATO LIVELLO DELLA COMUNICAZIONE E DEL COMFORT

Scuole, Ospedali, Edifici Direzionali, Residenziali, Ricettivi, ambienti destinati a conferenze e assimilabili, ristoranti, mense, spazi collettivi

LE VARIABILI IN GIOCO:

- DESTINAZIONE D'USO DELL'AMBIENTE
- LE SUE DIMENSIONI

STRUMENTI BASE PER VALUTAZIONI PREVISIONALI

- PICCOLI AMBIENTI: NORME UNI 11532
- GRANDI AMBIENTI: APPROFONDATA PROGETTAZIONE ACUSTICA (Auditorium, Teatri, Cinema, luoghi di culto)

UNI 11367:2023: Acustica in edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera

UNI 11532-1:2018: Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 1: Requisiti generali

UNI 11532-2:2020: Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: Settore scolastico

UNI ISO 22955:2023: Qualità acustica degli spazi open office

UNI ISO 23591:2023: Criteri di qualità acustica per spazi e sale prova

LA NORMATIVA DEFINISCE:

- i **descrittori acustici oggettivi** che rappresentano la qualità acustica
- I loro **valori ottimali**
- I **metodi previsionali**
- I **metodi di verifica**

DECRETO CAM 22/06/2023

Fatte salve le prescrizioni di cui al D.P.C.M. 05/12/97
per i fabbricati di nuova realizzazione e per quelli che prevedono una ristrutturazione

IL DECRETO C.A.M. PRESCRIVE



- quale debba essere il **tempo di riverbero** e l'**intellegibilità** all'interno degli ambienti adibiti al parlato facendo esplicito riferimento alla norma **UNI 11367:2023** (classificazione acustica)
- quali debbano essere i valori di riferimento per ciò che concerne i **requisiti acustici passivi** di tali fabbricati in riferimento alla norma **UNI 11367:2023** (classificazione acustica)

MA PARLIAMO ANCORA DI DIFFERENTI UNITA' IMMOBILIARI (NO DIVISORI INTERNI)

C.A.M. | SCUOLE E OSPEDALI

CRITERI AMBIENTALI MINIMI



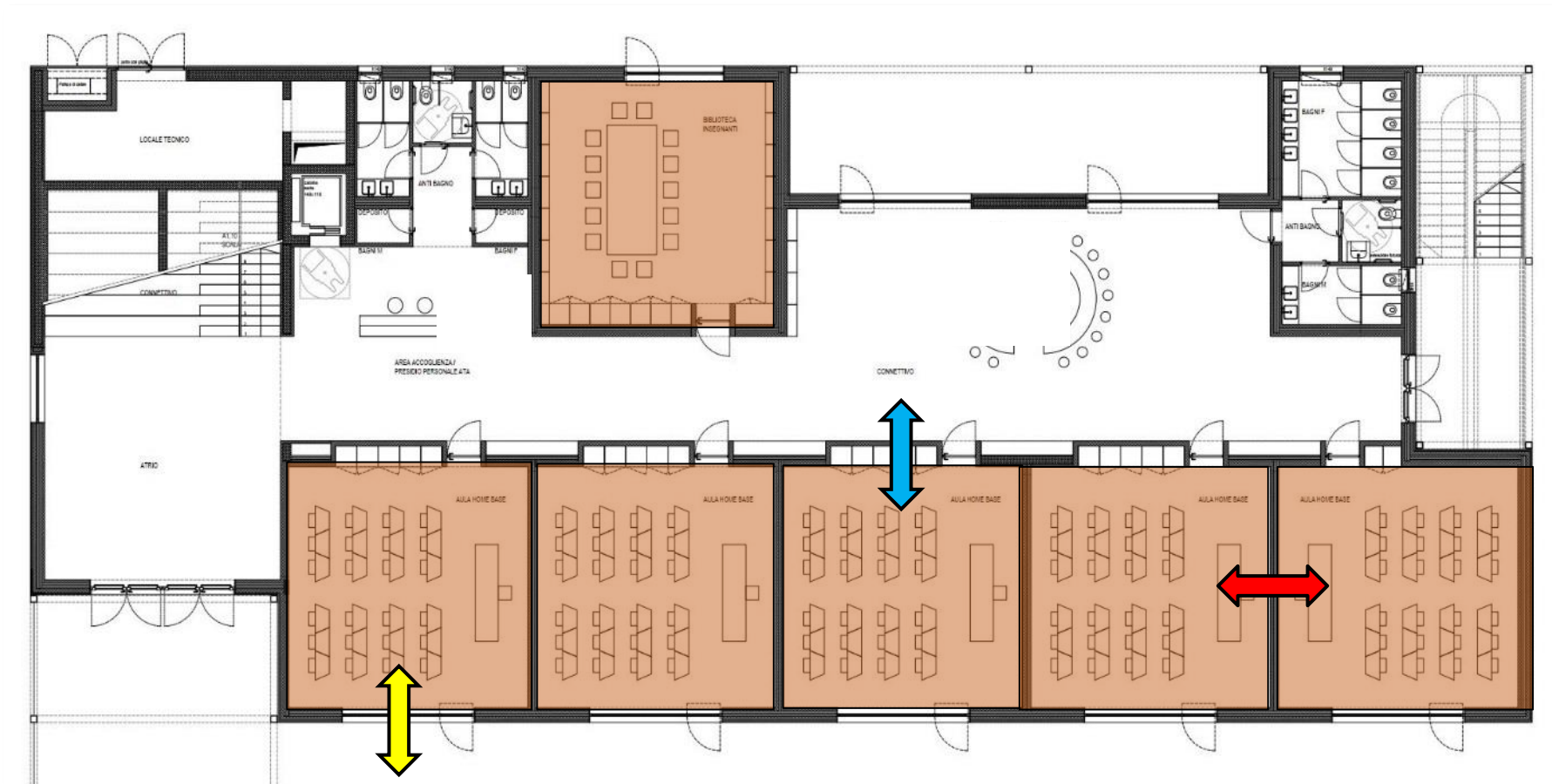
C.A.M. (CRITERI AMBIENTALI MINIMI) | SCUOLE

Parametro di riferimento	Riferimento normativo	Descrittore acustico	U.d.M.	Valori limite
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata	D.P.C.M. 05/12/97	$D_{2m,nT,w}$	dB	$\geq 48^*$
Descrittore del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti di <u>differenti unità immobiliari</u>	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	R'_w	dB	≥ 56
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di <u>differenti unità immobiliari</u>	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	L'_{nw}	dB	≤ 53
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, in ambienti diversi da quelli di installazione	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	L_{ic}	dB(A)	≤ 28
Livello sonoro massimo corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo, in ambienti diversi da quelli di installazione	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	L_{id}	dB(A)	≤ 34
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	$D_{nT,w}$	dB	≥ 55
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	$D_{nT,w}$	dB	≥ 50
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare	UNI 11367:2023 – Prospetto A1 – Appendice A	L'_{nw}	dB	≤ 53
Isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivo dell'edificio collegati mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi	UNI 11367:2023 – Prospetto B1 – Appendice B	$D_{nT,w}$	dB	≥ 30
Tempo di riverberazione	UNI 11532:2020 Prospetto 6	T_{60}	sec.	dipende
Intelligibilità – chiarezza del parlato (ambienti con $V < 250 \text{ m}^3$)	UNI 11532:2020 Prospetto 4/5	STI/C_{50}	– / dB	$\geq 0,55$ / ≥ 2

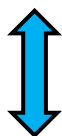
* In caso di discordanza tra il DPCM 05/12/97 e la UNI 11367:2023 si applica il valore più restrittivo tra i due



C.A.M. (CRITERI AMBIENTALI MINIMI) | SCUOLE



Isolamento di facciata



Isolamento normalizzato

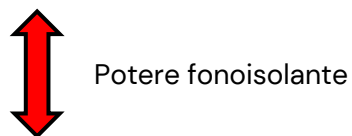
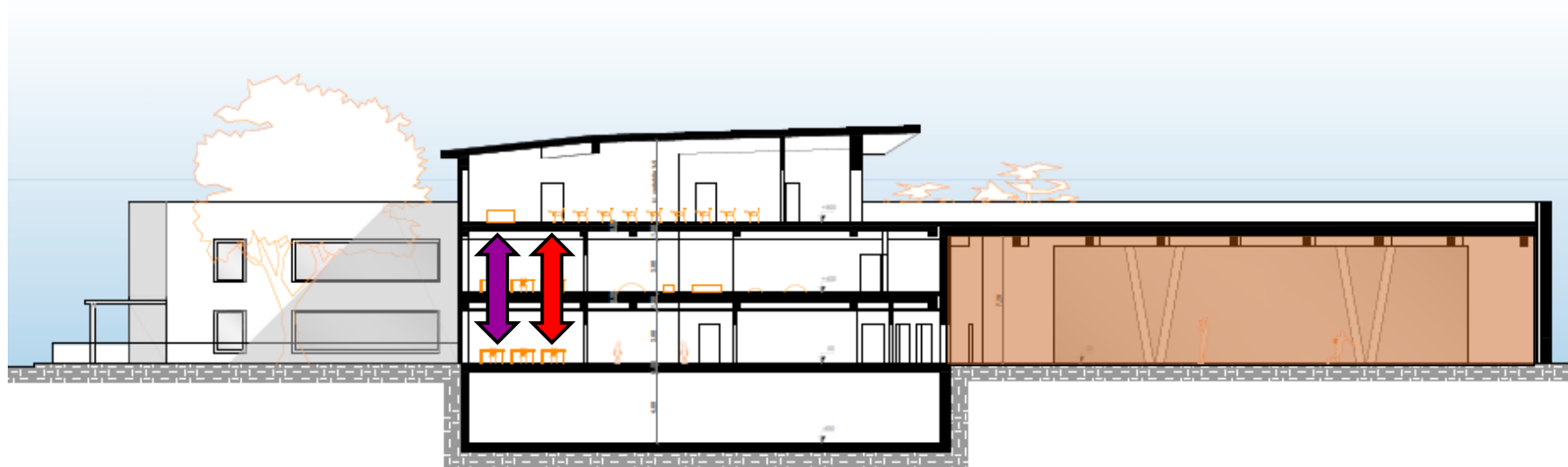


Potere fonoisolante



Riverberazione e intellegibilità

C.A.M. (CRITERI AMBIENTALI MINIMI) | SCUOLE



Riverberazione (no intelligibilità)



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

GRAZIE.

Ing. Momisch Calanna

DIAPASON INGEGNERIA SRL

Via Savoia, 84 - 00198 Roma

Tel. +39 339.1982472

m.calanna@diapasoningegneria.it