

Laboratorio di Progettazione 3MB
Modulo di Fisica Tecnica
Prof. Lucia Fontana

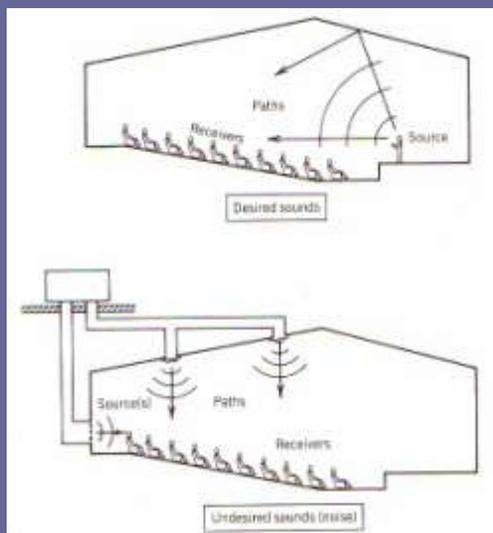
Acustica

Suoni desiderati

A.A. 2009-2010
Università degli Studi Roma Tre
Facoltà di Architettura

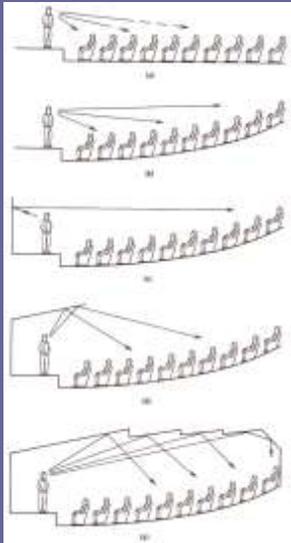
Acustica

•Suoni desiderati



•Suoni non desiderati -
Rumori

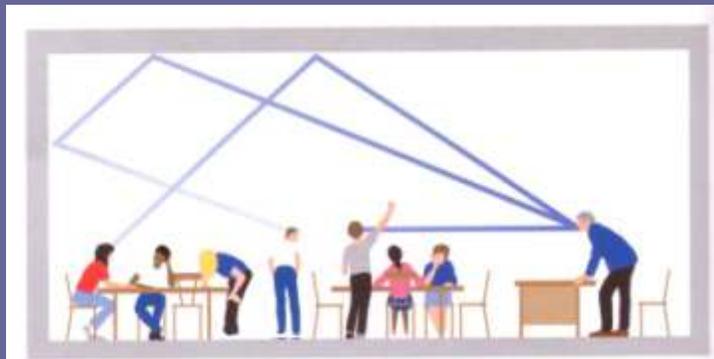
Acustica – suoni desiderati



Energia sonora diretta e riflessa

Disegno delle superfici riflettenti e assorbenti

Acustica – La riverberazione



Acustica – La riverberazione

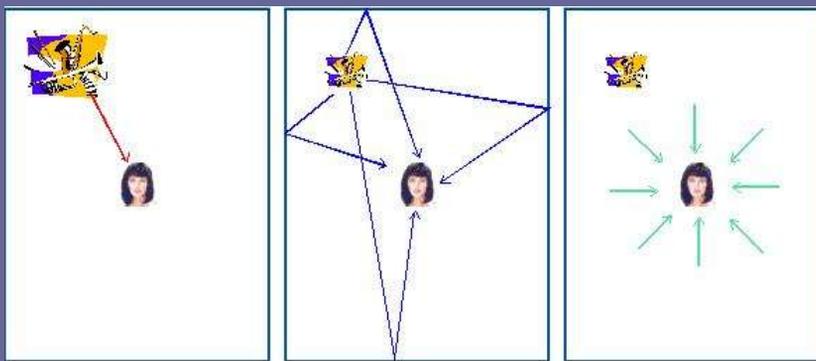
In un ambiente chiuso il campo sonoro percepito da un ascoltatore è costituito da due contributi:

il **suono diretto** costituito dall'onda sonora che raggiunge direttamente l'ascoltatore partendo dalla sorgente.

il **suono riflesso** che raggiunge l'ascoltatore solo dopo aver subito riflessioni (anche multiple) da parte delle pareti, del pavimento, degli ostacoli (es. poltrone, altre persone del pubblico).

Ovviamente tale suono raggiungerà l'ascoltatore con un certo ritardo rispetto al suono diretto e determinerà una "coda sonora" che persiste anche una volta cessata l'emissione da parte della sorgente.

Acustica – La riverberazione



suono diretto – prime riflessioni - suono riverberato

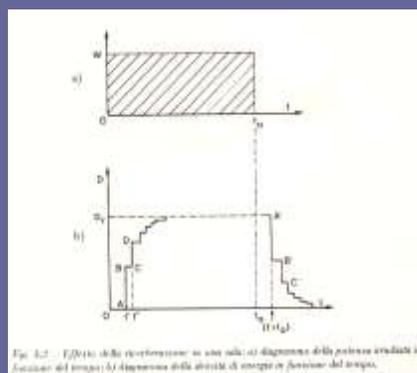
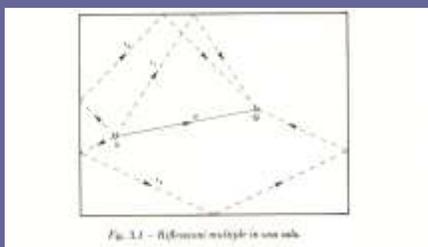
Acustica – La riverberazione

La desiderata omogeneità del campo sonoro riverberato, necessaria per raggiungere gli ascoltatori in tutte le posizioni nel modo più uniforme possibile, può essere ottenuta tramite:

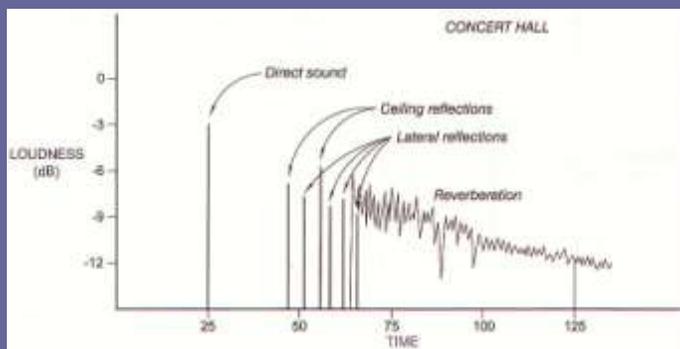
specchi e deflettori (pannelli riflettenti, in genere di legno lisci e rigidi di varie forme) posti in posizioni adeguate a migliorare la propagazione del suono nell'ambiente.

pannelli fonoassorbenti utilizzati per smorzare la riverberazione eccessiva e risonanze indesiderate (ad esempio nei cinema, dove la potenza delle sorgenti spesso è elevata, rispetto al volume della sala).

Acustica – La riverberazione



Acustica – La riverberazione



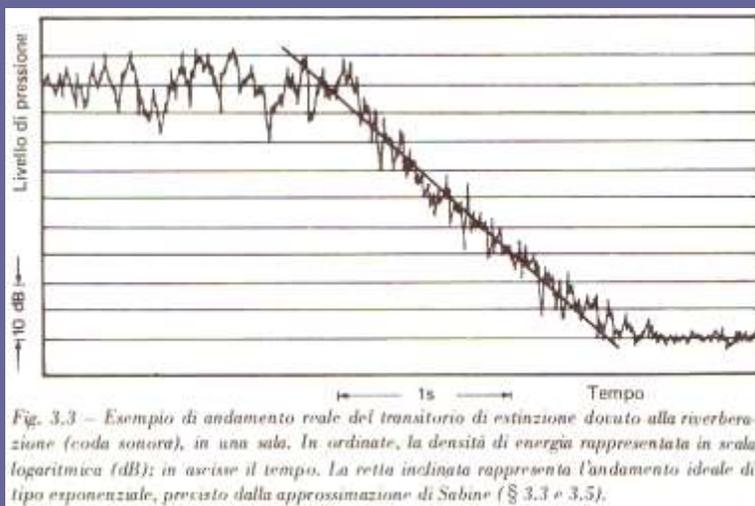
Livello sonoro relativo ad un punto in prossimità della sorgente in funzione del tempo: contributo del **suono diretto**, più intenso, delle **prime riflessioni** (giungono dopo un solo rinvio, hanno ancora intensità rilevante perché hanno subito scarsa attenuazione, e arrivano con un tempo di ritardo minore rispetto alle successive), della **riverberazione diffusa** (riflessioni successive, in tutte le direzioni, intensità attenuata, fenomeno che si prolunga nel tempo).

Acustica – La riverberazione

E' importante che le prime riflessioni pervengano entro 20 ms circa all'orecchio per dare un contributo efficace alla qualità del suono, e che quando la sorgente cessa di emettere la energia sonora non impieghi troppo tempo a decadere.

Il processo di decadimento dell'energia sonora si chiama transitorio di estinzione, o coda sonora, e dipende dal comportamento del campo riverberato nell'ambiente.

Acustica – La riverberazione



Acustica – La riverberazione

Tempo di riverberazione o durata convenzionale della coda sonora

Il tempo di riverberazione è il parametro utilizzato per caratterizzare in modo quantitativo la rapidità di estinzione del campo sonoro riverberato.

Esso è definito come il **tempo necessario perché la densità di energia sonora decada di un milione di volte (-60 dB) a partire dall'istante di inizio del transitorio di estinzione** (cessazione del contributo del suono diretto, in seguito allo spegnimento della sorgente).

Acustica – La riverberazione

Per una qualità acustica ottimale occorre trovare un compromesso tra tempi di riverberazioni brevi (che garantiscono chiarezza nel suono e nel parlato impedendo la sovrapposizione di suoni e sillabe emessi in istanti molto diversi nel tempo) e tempi di riverberazione più lunghi che conferiscono pienezza, sonorità e vivezza al suono.

Acustica – La riverberazione



[Wallace Clement Sabine](#)

Acustica – La riverberazione

- Lo studio sistematico del fenomeno si deve a Sabine.
- Sabine iniziò le sue ricerche nel 1895, per rimediare alla eccessiva riverberazione della sala per conferenze del Fogg Art Museum, Harvard.
- Il vicino Sanders Theater, era simile, ma adatto alla recitazione, con sedili rivestiti con tessuti e cuscini. Sabine si propose di trovare il rapporto preciso tra materiali (e loro capacità fono-assorbenti) ed il tempo di riverberazione.
- Per individuare la relazione cercata portò i cuscini dei sedili del Sanders Theater al Fogg Art museum, e notte dopo notte, dalla primavera all'estate, misurò il tempo di riverberazione come funzione dell'area dei cuscini.
- I risultati erano chiari: il tempo di riverberazione variava da 5,6 secondi a teatro vuoto a 2,2 secondi con 93 mq di cuscini.
- Il tempo di riverberazione risultava proporzionale al volume dell'ambiente e inversamente proporzionale ad un parametro A che tiene conto delle caratteristiche di assorbimento dell'ambiente.

Acustica – La riverberazione

$$T = \frac{0.161V}{A}$$

Tempo di riverberazione: $T_{60} = 0,161 V/A$
(relazione di Sabine)

V volume della sala

$A = \sum a_i S_i + \sum X_i$ assorbimento totale dei
materiali installati

A_i coefficiente di assorbimento del materiale i-esimo

S_i area della superficie occupata dal materiale i-esimo

X_i assorbimento globale di persone, sedie, ecc. (v. tabella A.8)

Acustica – La riverberazione

Il valore così ricavato approssima la realtà se sono valide alcune condizioni:

- **La sala non deve essere troppo grande**, così da poter trascurare l'attenuazione del mezzo
- **La geometria della sala deve essere tale da non presentare modi propri dominanti:** parallelepipedica con lati disuguali, non uno troppo lungo rispetto agli altri, né cubica.
- **Non cavità ragguardevoli e pareti concave**
- **Pareti che producano rinvio diffuso**

Acustica – La riverberazione

Il tempo di riverberazione dipende:

- dal volume della sala (sala più ampie costringono il suono riflesso a "tragitti" più lunghi e quindi aumentano il tempo di riverberazione);
- dalle caratteristiche di assorbimento delle pareti, degli "arredi", di oggetti e persone presenti nell'ambiente.

Acustica – La riverberazione

La formula di Sabine, ricavata utilizzando considerazioni statistiche sul libero cammino medio tra due riflessioni, cade in difetto in due casi:

- quando i coefficienti di assorbimento tendono a 1 il tempo di riverberazione non tende a zero, come ci si aspetterebbe
- in presenza di forte disomogeneità di assorbimento delle pareti

Una prima correzione fu proposta nel 1930 da Carl Eyring assumendo la formula

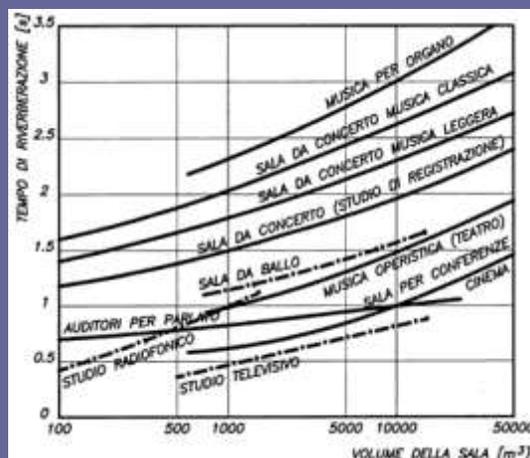
$$T_R = -\frac{0.161}{\ln(1-a)} \cdot \frac{V}{A}$$

nella quale

a = coefficiente di assorbimento medio

$$a = \frac{A}{S_{TOT}}$$

Acustica – La riverberazione

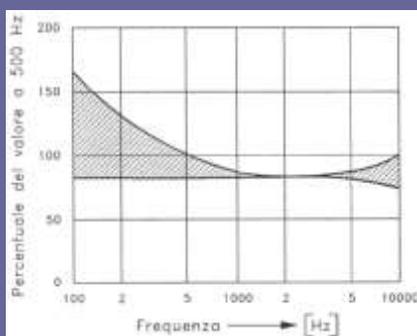


Valori ottimali del tempo di riverberazione al variare del volume dell'ambiente, per varie destinazioni d'uso (grafico riferito alla frequenza di 500 Hz)

Acustica – La riverberazione

Poiché la capacità di assorbimento delle pareti e degli arredi varia fortemente al variare della frequenza del suono, il tempo di riverberazione varia al variare della frequenza del suono incidente.

Acustica – La riverberazione



Alcuni autori sostengono che ci sia un margine di variabilità del tempo di riverberazione ottimale al variare della frequenza, altri sostengono che dovrebbe risultare il più possibile uniforme per tutte le frequenze.

In genere si ammette comunque una variabilità contenuta entro i valori ricavabili dalla maschera in figura, dove si legge il rapporto suggerito (%) tra il tempo di riverberazione ottimale alle varie freq. e quello ottimale a 500 Hz.

Acustica – Assorbimento

- Le proprietà assorbenti dei materiali sono quantificate attraverso il **coefficiente di assorbimento acustico** a , il quale è definito come rapporto tra la potenza sonora assorbita e la potenza sonora incidente.
- Il valore di a rappresenta quindi la frazione di energia sonora assorbita da un determinato materiale

Acustica – Assorbimento

Tab. A.9

Coefficienti di assorbimento acustico di materiali vari (valori indicativi)

MATERIALE	Coefficienti di assorbimento alle frequenze (Hz):					
	125	250	500	1000	2000	4000
Parete intonacata	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03
Marmo lucidato	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Pavimento in moquette, o in cemento liscio	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Panconi di legno (su solaio rigido)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Pavimento in legno, su travetti	0,10	0,14	0,12	0,11	0,09	0,07
Pavimento in linoleum	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Pavimento in gomma	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08
Finestra, vetrata (comune)	0,30	0,20	0,15	0,10	0,07	0,04
Vetrata con lastra di vetro di medio spessore (finestra acustica)	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Tendaggi in cotone (300 g/m ²) a parete, non drappeggiati	0,03	0,05	0,10	0,15	0,25	0,30
Tendaggi di velluto sottile poco drappeggiati	0,08	0,30	0,50	0,50	0,60	0,60
Tendaggi di velluto pesante fortemente drappeggiati	0,50	0,50	0,70	0,90	0,90	0,90
Tappeto sottile	0,05	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20
Tappeto pesante	0,10	0,20	0,25	0,30	0,30	0,30

Acustica – Assorbimento

intonaco acustico poroso (non verniciato) spessore 15 cm:	minimo:	0,02	0,05	0,05	0,10	0,20	0,10
	massimo:	0,10	0,10	0,30	0,20	0,30	0,20
Lana di vetro o di roccia, a parete, secondo lo spessore e il peso proprio:	minimo:	0,10	0,40	0,60	0,75	0,80	0,80
	massimo:	0,30	0,60	0,90	0,90	0,90	0,90
Pannello poroso di fibra di vetro o minerale, lacerata, secondo lo spessore e il montaggio:	minimo:	0,10	0,30	0,50	0,60	0,70	0,80
	massimo:	0,60	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90
Feltro soffice, secondo lo spessore (fra 1,2 cm e 5 cm):	minimo:	0,02	0,04	0,01	0,20	0,53	0,90
	massimo:	0,25	0,45	0,60	0,85	0,90	0,90
Pannello poroso in fibra di legno pressata, a parete:		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
Pannelli in legno o legno compensato, con intercapedine fra pannello e parete, secondo lo spessore del pannello e della intercapedine:	minimo:	0,20	0,10	0,05	0,03	0,04	0,04
	massimo:	0,40	0,25	0,15	0,10	0,10	0,05
Soffitto sospeso, in gesso, sp. circa 25 mm:		0,10	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04
Laminario di alluminio in strisce sagomate, forate per il 15% dell'area, con retrostante lana di vetro:		0,50	0,75	0,75	0,85	0,75	0,70
Pannello in gesso forato per il 12% dell'area con retrostante lana di vetro:		0,40	0,60	0,80	0,60	0,60	0,50

Acustica – Assorbimento

Nature of Surface	Sound Absorption Coefficients at frequency					
	125	250	500	1000	2000	4000
Acoustic tile, rigid mount	0.2	0.4	0.7	0.8	0.6	0.4
Acoustic tile, suspended	0.5	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5
Acoustical plaster	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.7
Ordinary plaster, on lath	0.2	0.15	0.1	0.05	0.04	0.05
Gypsum wallboard, 1/2" on studs	0.3	0.1	0.05	0.04	0.07	0.1
Plywood sheet, 1/4" on studs	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Concrete block, unpainted	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
Concrete block, painted	0.1	0.05	0.06	0.07	0.1	0.1
Concrete, poured	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Brick	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Vinyl tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Heavy carpet on concrete	0.02	0.06	0.15	0.4	0.6	0.6
Heavy carpet on felt backing	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Platform floor, wooden	0.4	0.3	0.2	0.2	0.15	0.1
Ordinary window glass	0.3	0.2	0.2	0.1	0.07	0.04
Heavy plate glass	0.2	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Draperies, medium velour	0.07	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6
Upholstered seating, unoccupied	0.2	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6
Upholstered seating, occupied	0.4	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9
Wood seating, unoccupied	0.02	0.03	0.03	0.06	0.06	0.05
Wooden pews, occupied	0.4	0.4	0.7	0.7	0.8	0.7

Data from Hall, 2nd. Ed, Table 15.1

Acustica – Assorbimento

Tab. A.8

*Assorbimento globale di persone, oggetti di arredamento, ecc.
(da W. Furrer)*

ELEMENTO	Assorbimento globale $A(m^2)$, alla frequenza (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Uditorio in piedi, o seduto su sedili di legno	0,15	0,3	0,5	0,55	0,6	0,5
Uditorio seduto, su sedili imbottiti	0,2	0,4	0,55	0,6	0,6	0,5
Orchestrale (con i loro strumenti)	0,4	0,8	1,0	1,4	1,3	1,2
Sedili per teatro, in legno (non occupati)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,05
Sedili per teatro, imbottiti in stoffa	0,1	0,3	0,35	0,45	0,5	0,4
Sedili per teatro, imbottiti in cuoio	0,1	0,25	0,35	0,35	0,2	0,1

Acustica – Assorbimento

- I principi attraverso cui un sistema assorbe energia sonora vengono generalmente suddivisi in tre classi:
- assorbimento per porosità;
- assorbimento per risonanza di cavità;
- assorbimento per risonanza di pannello.

Acustica – Materiali

Assorbimento per porosità

La superficie di un elemento è tanto più assorbente quanto maggiore è la sua capacità di dissipare l'energia sonora incidente sotto forma di attrito nelle microcavità del materiale.

I migliori materiali acustici sono, infatti, quelli porosi e fibrosi di cui esistono vari tipi, quali: lane di vetro e di roccia, schiume di poliuretano espanso a celle aperte, fibre di legno, feltri, ecc..

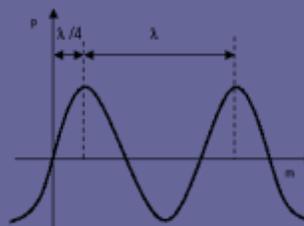
Il coefficiente di assorbimento di tali materiali dipende da: caratteristiche della porosità (dimensione dei pori o canalicoli, orientamento, grado di porosità), densità.

Influiscono lo spessore del pannello, e la sua forma, e l'assorbimento varia al variare della frequenza del suono incidente.

Acustica – Materiali

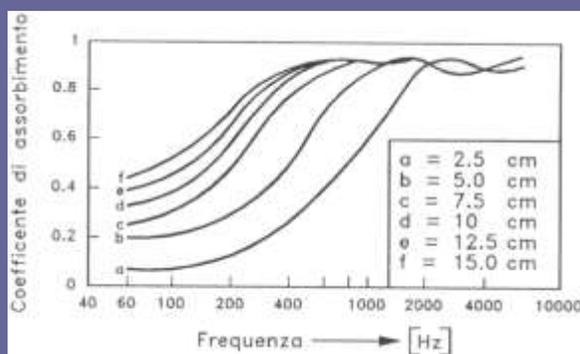
Lo spessore del materiale condiziona l'entità dell'energia sottratta all'onda incidente.

In prossimità di una parete rigida, il punto corrispondente al massimo della velocità di oscillazione delle particelle si trova ad una distanza $d = \lambda/4$ dalla parete, distanza corrispondente alla massima ampiezza della lunghezza d'onda da trattare.



A tale distanza, in corrispondenza della massima velocità di oscillazione delle particelle del mezzo, risulterà più intenso l'assorbimento per porosità.

Acustica – Materiali



Andamento del coeff. di assorbimento di un pannello poroso per le varie frequenze, per diversi valori dello spessore s del materiale poroso. Si osserva come per spessori ordinari (ca 5 cm) i pannelli funzionino bene alle alte frequenze (sopra 1000 Hz).

Per un dato spessore il coefficiente di assorbimento si mantiene pressoché costante solamente per quella banda di frequenze che superano un valore limite inferiore, valutabile come quello per il quale lo spessore s risulta pari a $1/4 \div 1/8$ della λ corrispondente alla frequenza in questione.

Acustica – Materiali

Un sistema normalmente impiegato per migliorare l'efficienza del materiale alle frequenze medio-basse, evitando di impiegare materiali con spessori elevati, è quello di interporre un'intercapedine d'aria tra la superficie da trattare e il pannello assorbente, il quale dovrà essere posto ad una distanza dalla superficie (parete o soffitto) corrispondente al massimo dell'ampiezza dell'onda sonora, ossia a $\lambda/4$.

Nella scelta del materiale da impiegare risulta, quindi, di primaria importanza individuare la frequenza del suono incidente, caratteristica della sorgente sonora.

La scelta da adottare sarà, pertanto, diversa a seconda che si intenda migliorare le qualità acustiche di una sala musica, una sala riunioni, una mensa o un capannone industriale.

Acustica – Materiali

MIGLIORARE L'ASSORBIMENTO

Per ottenere un miglioramento dell'efficacia, alle basse frequenze è necessario collocare il pannello ad una distanza

pari a $\lambda/4$ dalla parete rigida

Esempio:

a 2000 Hz

corrisponde una lunghezza d'onda

$$\lambda = c/f = 334 / 2000 = \text{ml } 0,17$$

dovremmo adottare un pannello di cm

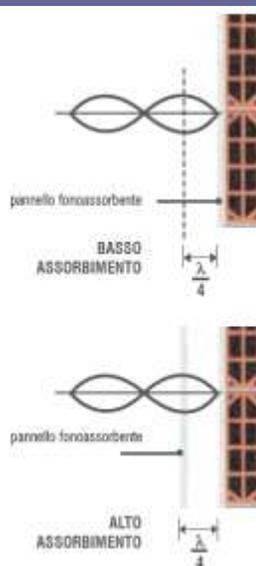
$$17/4 = 4,25$$

Se applichiamo l'esempio precedente

a 500 hz

dovremo usare un pannello di cm 17

questo sta a testimoniare quanto sia difficile assorbire le basse frequenze



Acustica – Materiali

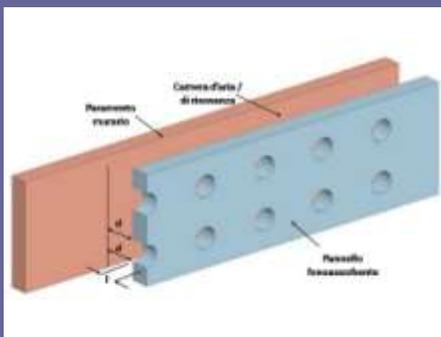
Infine, è importante la **forma** del materiale, in quanto può offrire una più estesa superficie di contatto con l'onda incidente, favorendo la dissipazione di una maggiore quantità di energia sonora. La soluzione più diffusa è quella in cui un lato del materiale ha protuberanze a forma piramidale (come da figura).



Acustica – Materiali

Assorbimento per risonanza di cavità – pannelli forati

La struttura tipica di un pannello forato risonante-assorbente è quella mostrata nella figura. Si tratta in sostanza di un pannello di materiale non poroso nel quale è stato praticato un numero n elevato di fori, montato a pochi centimetri di distanza da una parete rigida.



Se i fori hanno uguale diametro e sono ugualmente distanziati, si vede dalla figura che, considerando ogni foro come una cavità il cui volume risulta uguale ad $1/n$ del volume dell'aria contenuta nell'intercapedine, è come se il pannello fosse costituito da n "risuonatori acustici". Un siffatto sistema produce un effetto di fonoassorbimento fondato sul principio di Helmholtz.

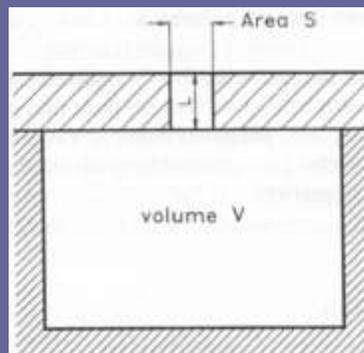
Acustica – Materiali

La massa d'aria contenuta nei fori del pannello costituisce con il volume d'aria dell'intercapedine retrostante un sistema meccanico del tipo massa-molla, dotato quindi di una propria frequenza di risonanza, in corrispondenza della quale il sistema è in grado di assorbire una considerevole parte di energia.

La frequenza di risonanza di tale sistema vale:

$$f_r = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL_e}}$$

dove L_e sta ad indicare la "lunghezza equivalente" del collo, pari a $L+0,8D$, cioè uguale alla somma della profondità del foro e della correzione di bocca $0,8D$.



Acustica – Materiali

Nel caso del pannello forato, si può valutare con buona approssimazione la frequenza di risonanza e di massimo assorbimento, mediante l'espressione:

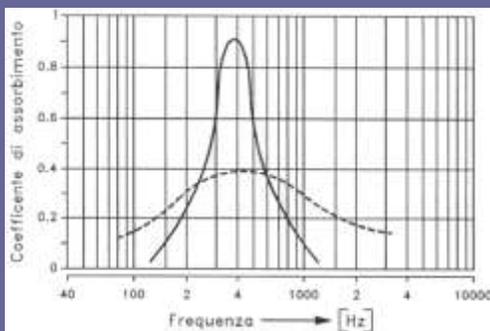
$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{d \cdot t}} \quad (\text{Hz})$$

in cui P è la percentuale di foratura (area forata/area del pannello)
 c è la velocità di propagazione del suono (344 m/s a 20 C)
 d è la distanza dalla parete (spessore complessivo dell'eventuale materiale poroso e dell'intercapedine),
 t è lo spessore del pannello, (lunghezza del collo dei risonatori)

Acustica – Materiali

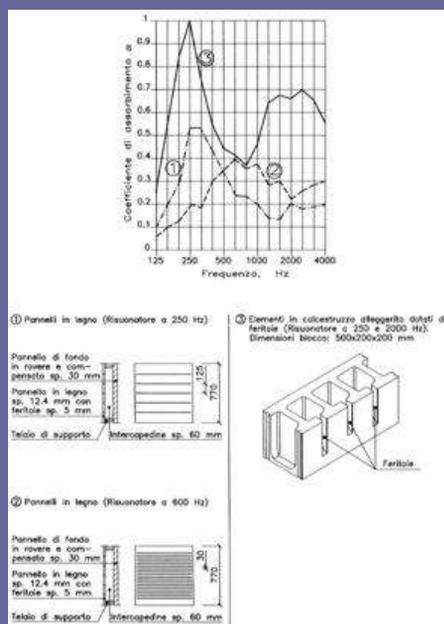
L'assorbimento di un risonatore di questo tipo è molto selettivo intorno alla frequenza di risonanza e quindi particolarmente efficace nel caso di toni puri di bassa frequenza compresi fra 50 e 400 Hz.

Se l'interno del risonatore è rivestito con materiale assorbente poroso il valore del coefficiente di assorbimento alla frequenza di risonanza diminuisce ma si amplia l'intervallo di frequenze in cui l'assorbimento è efficace.



Dalla figura si capisce come l'assorbimento si presenti molto selettivo in frequenza. Quando si desidera estendere l'efficienza del risonatore a d'un più vasto intervallo di frequenze, si può riempire almeno parzialmente l'intercapedine con materiale poroso assorbente. Ciò a scapito dell'efficacia della frequenza propria di risonanza.

Acustica – Materiali



Acustica – Materiali

Assorbimento per risonanza di pannello – pannelli vibranti

Per aumentare l'assorbimento nel campo delle frequenze medio-basse, senza impiegare spessori troppo elevati di strutture porose, si fa ricorso a materiali o strutture che sfruttano il principio della risonanza. Tra questi i "pannelli vibranti", lastre di forma regolare di materiale non poroso, e le "membrane fonoassorbenti", montati a distanza opportuna dalla parete.

Nel caso dei pannelli flessibili (legno, gesso, ecc.), l'assorbimento acustico è funzione della loro elasticità, in quanto le onde sonore incidenti creano una serie di pressioni e depressioni che provocano un'inflessione del pannello verso la parete mettendolo pertanto in vibrazione.

In particolare, il comportamento di un sistema costituito da un pannello sottile collocato di fronte ad una parete rigida, ad una distanza non troppo elevata, può essere analizzato con lo stesso metodo utilizzato per il risonatore di Helmholtz, ossia il pannello si comporta come una massa vibrante, mentre l'aria contenuta nella cavità come una molla acustica caratterizzata dalla sua rigidità.

Acustica – Materiali

In tal caso, la frequenza di risonanza (per la quale è massimo l'assorbimento del pannello) è data da:

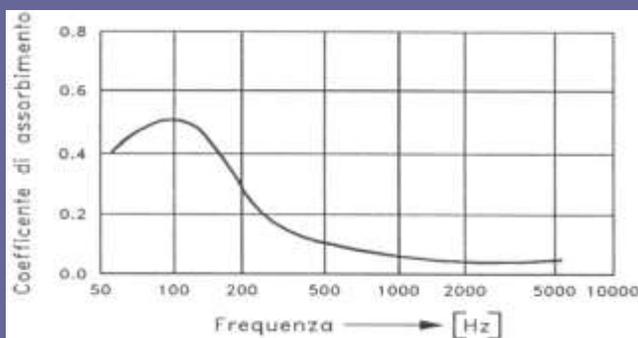
$$f_r = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}} \quad (\text{Hz})$$

dove m (kg/m^2) è la massa per unità di area del pannello, e d la distanza dalla parete (m).

La relazione mostra come per le dimensioni delle lastre e gli spessori di intercapedine usuali tali pannelli presentino un assorbimento selettivo spostato verso le basse frequenze.

Risulta pertanto utile in quei casi (suoni incidenti caratterizzati da basse frequenze, 200 ÷ 300 Hz), dove i materiali fonoassorbenti porosi sono poco efficaci nei usuali spessori e i risonatori di Helmholtz assumerebbero dimensioni troppo grandi.

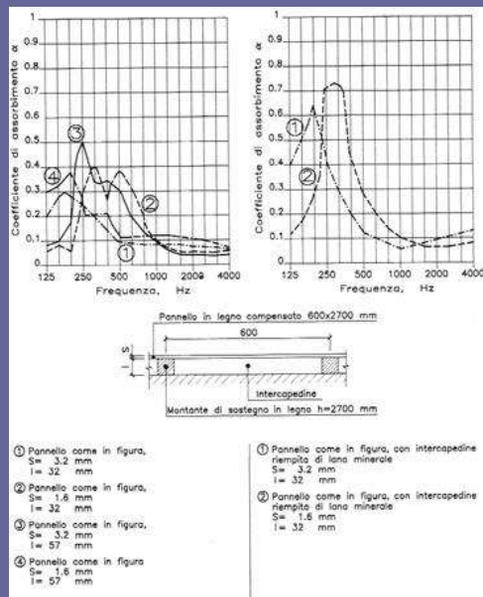
Acustica – Materiali



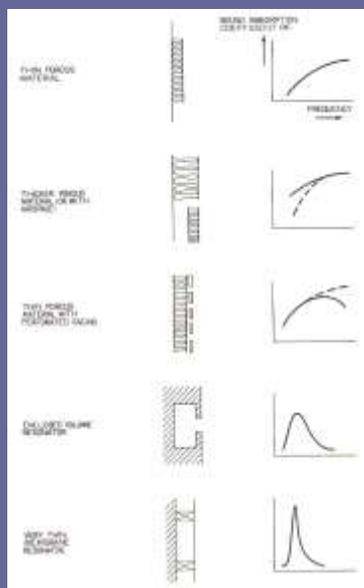
Andamento tipico del diagramma di assorbimento di un rivestimento a pannelli vibranti; le frequenze di risonanza cadono entro un intervallo compreso all'incirca tra 50 e 300 Hz.

Per regolare il valore dello smorzamento proprio del pannello si introduce nella intercapedine una certa quantità di materiale poroso.

Acustica – Materiali



Acustica – Materiali



Materiali fonoassorbenti porosi

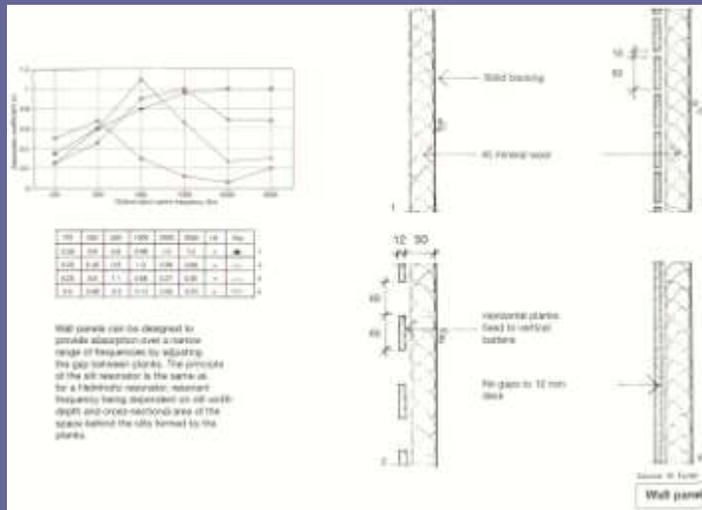
Andamento del coefficiente di assorbimento al variare dello spessore dello strato, o della distanza dalla parete rigida

Pannelli rigidi forati e montati su materiale cedevole

Risonatori acustici

Pannelli vibranti

Acustica – Materiali



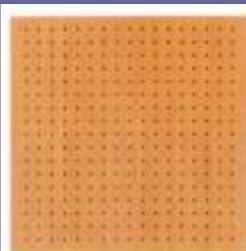
Acustica – Materiali



Acustica – Materiali



Acustica – Materiali

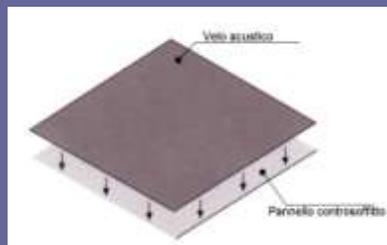
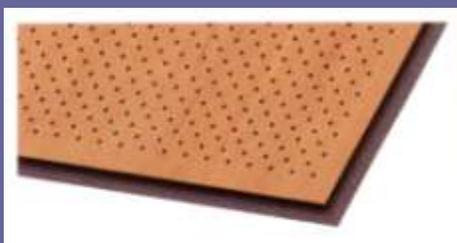


Pannello T32
 Diametro foratura 6 mm
 Interasse foratura 32 mm



Pannello T16
 Diametro foro 6 mm
 Interasse foratura 16 mm

Acustica – Materiali



Criteri generali di progettazione di una sala

La scelta della **forma** ha un'importanza fondamentale perché è necessario ridurre al minimo gli echi o la diffusione irregolare del suono.

Sono, pertanto, da preferire le **forme compatte** in alternativa a quelle irregolari, specie se presentano uno sviluppo longitudinale molto allungato, poiché si creerebbero zone d'ombra acustica.

Evitare dimensioni tutte uguali (cubo).

Evitare superfici concave e piante a base circolare o ellittica.

Adozione di rivestimenti che movimentino le superfici in caso di forme non idonee preesistenti.

Evitare superfici riflettenti parallele ravvicinate, gallerie o corridoi troppo profondi, preferire soffitto non parallelo al pavimento.

Criteri generali di progettazione di una sala

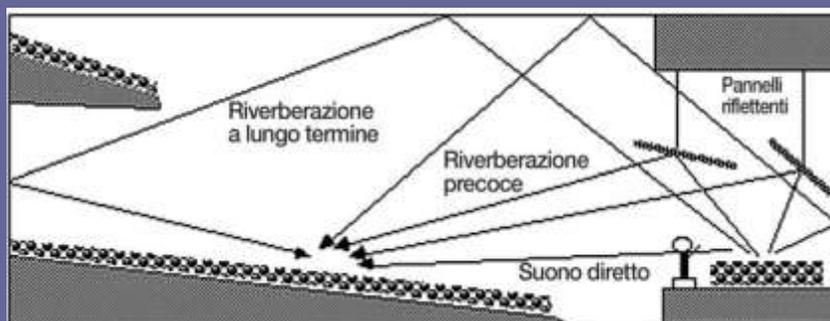
Posizionare le file di poltrone ad altezze diverse, su gradinata o piano inclinato – curva di visibilità

Attenzione a non adoperare materiali assorbenti su superfici utili come riflettori per le prime riflessioni (per es. parete alle spalle della sorgente): le prime riflessioni sono poco ritardate rispetto al suono diretto e rappresentano un utile contributo ad elevare il suono utile.

Parete di fondo orientata in modo da rinviare il suono verso gli ultimi posti della sala, altrimenti va rivestita con materiale fonoassorbente in modo da non rinviare il suono in direzione della sorgente.

Adozione di riflettori che garantiscano un livello minimo uniforme nell'ambiente (pari a 65 dB), e un ritardo del suono riflesso contenuto entro i 30 ms.

Criteri generali di progettazione di una sala



Suono diretto, riflessioni precoci e riverberazione a lungo termine in una sala da concerto. Non sono mostrate le riflessioni dalle pareti laterali, importanti nel dare allo spettatore la sensazione di essere “avvolto” dal suono

Criteri generali di progettazione di una sala

Alla luce di quanto finora detto si possono enunciare alcuni criteri basilari da seguire nella progettazione della sala, in particolare nella definizione della sua volumetria.

Non superare le distanze massime che consentono all'onda diretta di raggiungere l'ascoltatore con sufficiente livello sonoro.

Ad esempio, attenzione alle balconate: comportano un aumento del volume della sala, con conseguente allungamento del tempo di riverberazione, e possono creare difetti acustici locali quali echi e zone d'ombra.

Attenzione alla differenza di percorsi tra onda diretta e onda riflessa per evitare ritardi eccessivi, vanno rese assorbenti tutte quelle superfici che darebbero luogo a onde riflesse con ritardo eccessivo. Vanno garantite delle prime riflessioni sufficientemente intense e provenienti da direzioni prevalentemente diverse da quella del suono diretto.

A tale scopo il soffitto della sala è in genere usato come riflettore nelle parti che possono dar luogo a riflessioni utili e viene inclinato verso il basso procedendo verso il fondo della sala per evitare eccessivi percorsi dell'onda riflessa, oppure può essere inclinato in senso contrario per indirizzare le riflessioni nocive fuori dell'area occupata dal pubblico.

Anche le pareti laterali vengono sfruttate come riflettori ma solo se le dimensioni della sala sono limitate in larghezza (inferiori ai 20-25 metri). Una pianta rettangolare consente in genere una buona distribuzione del suono riflesso, mentre una pianta a ventaglio tende a privilegiare le posizioni più lontane. Inoltre le sale piatte e larghe, soprattutto quelle a ventaglio, tendono a ridurre l'impressione spaziale, data la scarsa rilevanza delle prime riflessioni laterali.

Le pareti di fondo vengono in genere rese fonoassorbenti in quanto darebbero luogo a percorsi eccessivamente lunghi dell'onda riflessa.

Qualora pareti laterali e soffitto non possano dar luogo alle necessarie riflessioni utili, si può ricorrere, per ottenerle, a riflettori acustici (in genere sospesi) opportunamente posizionati e conformati, indicativamente il loro peso non dovrà essere inferiore a 15-20 kg / m².

Criteri generali di progettazione di una sala

Affinché il campo sonoro sia uniforme bisogna perseguire una forma compatta (una dimensione non deve eccedere troppo rispetto alle altre).

Rendere leggermente divergenti le pareti opposte (se riflettenti) per evitare l'effetto flutter ovvero le riflessioni multiple reciproche.

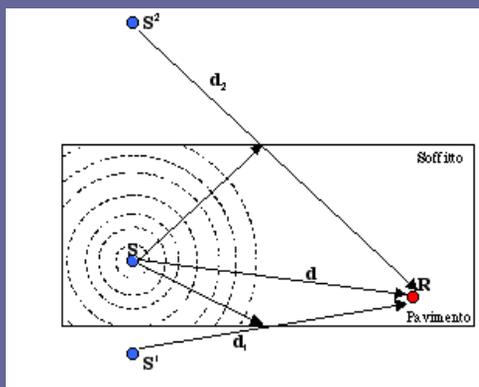
Le riflessioni dannose sono non solo quelle che arrivano all'ascoltatore con tempi di ritardo e contenuto energetico eccessivi, ma anche quelle che a causa della forma della superficie riflettente, tendono a focalizzare l'energia sonora in alcuni punti o a creare zone d'ombra provocando disuniformità del campo acustico. In questi casi si rendono fonoassorbenti le superfici che darebbero luogo a tali fenomeni oppure si introducono strutture diffondenti.

In fase di progettazione del rivestimento interno della sala, bisogna innanzitutto scegliere materiali con caratteristiche adeguate per le superfici individuate come riflettenti o assorbenti, si può quindi aggiustare il valore del tempo di riverberazione scegliendo opportunamente i materiali e le relative estensioni per le altre superfici.

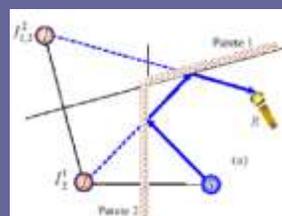
Va tenuto presente che nelle sale polivalenti, che debbono adattarsi all'esecuzione di musica di vario genere o addirittura anche all'ascolto del parlato, possono essere richiesti accorgimenti che consentano di variarne le caratteristiche acustiche; quali ad esempio l'uso di riflettori mobili o di pannelli di rivestimento interno in grado di cambiare le proprie caratteristiche di assorbimento ruotando su sé stessi. In tutti i casi va minimizzato con opportuni provvedimenti fonoisolanti il rumore di fondo, sia quello proveniente dall'esterno attraverso pareti ed aperture, sia quello generato all'interno dell'edificio dagli impianti e dalle eventuali macchine sceniche.

Metodi grafici per la progettazione acustica

Sorgenti immagine



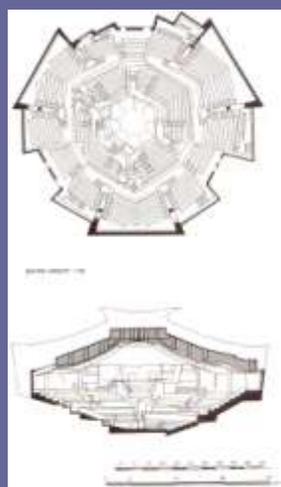
Il metodo delle sorgenti immagine (SI) consente di calcolare il campo sonoro in un punto come sovrapposizione dei contributi di sorgenti simmetriche della sorgente reale rispetto alle pareti (o ostacoli) presenti nell'ambiente.



Pareti non ortogonali

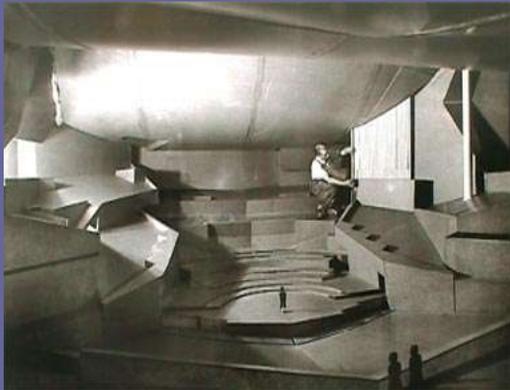
Casi di studio

Tipologia a Pianta centrale



Casi di studio

Berlino



Casi di studio

Berlino

- vineyard terracing
- 'music in the round':
"people always gather
in circles when
listening to music
informally"



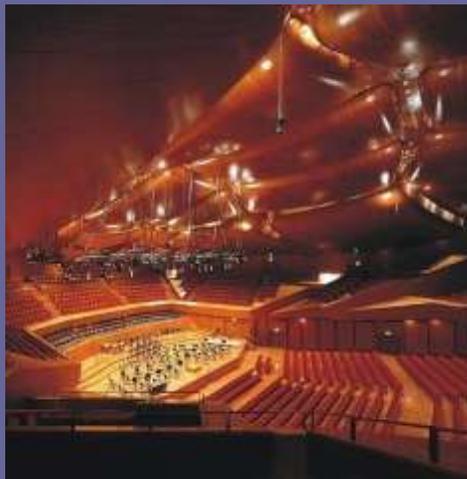
Casi di studio

Auditorium di Roma – R. Piano

Sala S. Cecilia ad anfiteatro

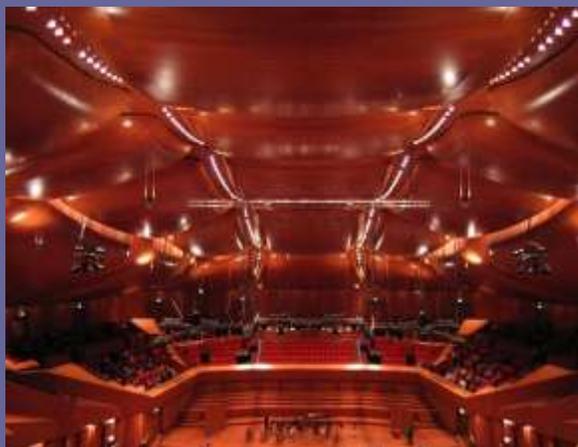
Si noti:

- a) il soffitto a cassettoni in ciliegio americano disegnato in modo da riflettere diffusivamente il suono, senza direzioni privilegiate;
- b) i riflettori orientabili sopra l'orchestra;
- c) le cavità introdotte dalle balconate laterali, così come la curvatura della parte alta delle pareti e la loro ricopertura in basso con pannelli inclinati, tutti elementi utili a minimizzare echi specifici provenienti dai fianchi



Casi di studio

Auditorium di Roma - Sala Santa Cecilia



Casi di studio

Roma

Riflettori acustici
mobili sul soffitto
sopra il palco



Casi di studio

Roma



I pannelli servono a più scopi, tra cui quello di tenere “raccolto” il suono attorno agli esecutori, favorendone la fusione, e di rafforzare la riverberazione precoce che, sommandosi al suono diretto, ne incrementa la chiarezza

Casi di studio

Roma

Pareti laterali rivestite con pannelli inclinati per favorire le prime riflessioni verso la platea. Tali contropareti integrano e accolgono in alcuni punti dei componenti impiantistici.



Casi di studio

Amburgo

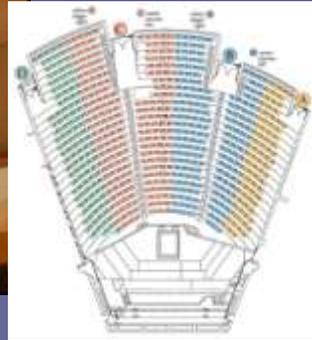


Casi di studio

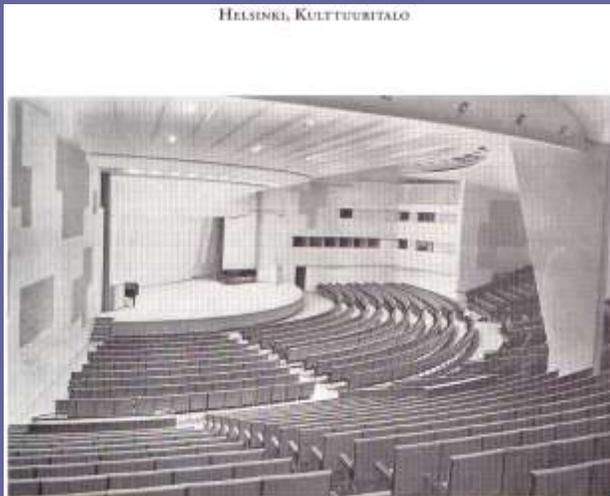
Tipologia a ventaglio



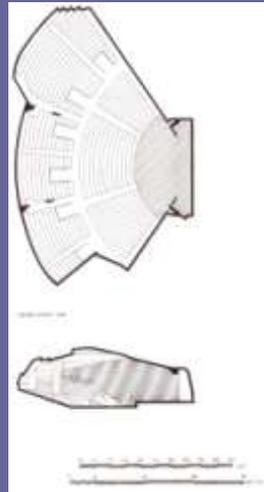
Finlandia Hall –
Helsinki
A. Aalto



Casi di studio

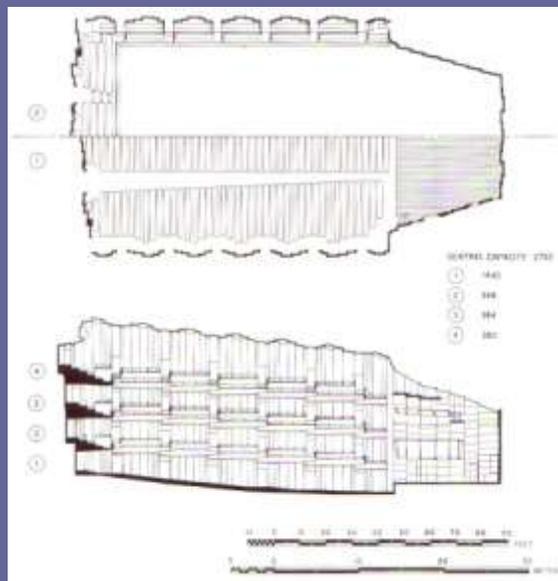


Kulttuuritalo–Helsinki
A. Aalto



Casi di studio

Tipologia a "shoe box"



Roma



Casi di studio

Casa Paganini

Palco e pavimentazione di platea: entrambi sono realizzati in legno su travetti con intercapedine semi-piena studiata per evitare risonanze indesiderate, favorire l'assorbimento acustico delle basse frequenze in eccesso .

Completano la correzione acustica della sala alcuni pannelli a membrana vibrante (intonacati ed invisibili alla vista) impiegati per il controllo delle prime riflessioni ed una serie di tendaggi mobili che consentono di controllare la riverberazione entro i valori ritenuti ottimali.



Casi di studio

Casa Paganini



Bibliografia

Barducci I. – Acustica applicata, Ed. ESA, 1981

Bianchi F., Carratù R. – L'acustica in architettura, Ed. Cittàstudi, 2007

Santoboni S., Moncada lo giudice G. - Acustica, Ed. Masson, 1995

Manuale di acustica applicata a cura di R. Spagnolo, Ed. UTET, 2001

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia 1- Stima delle prestazioni acustiche passive degli edifici e dei loro componenti

http://www.dpmpe.unifi.it/fisica_tecnica

Architecture for acoustics

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

Frova A., Nuovo Auditorium di S. Cecilia, anatomia di una megaopera