

# TRASPORTO DI ENERGIA:

## I FENOMENI OSCILLATORI

### ESEMPI DI FENOMENI OSCILLATORI

PROP. IN UN "MEZZO"	<ul style="list-style-type: none"><li>• ONDE IN UNA CORDA</li><li>• ONDE SULLA SUPERFICIE DELL'ACQUA</li><li>• ONDE SISMICHE</li><li>• ONDE SONORE</li></ul>	ONDE MECCANICHE
PROP. NEL "VUOTO"	<ul style="list-style-type: none"><li>• LUCE</li><li>• SEGNALI RADIO</li><li>• RAGGI X</li><li>• ...</li></ul>	ONDE ELETTROMAGNETICHE

- TUTTI QUESTI FENOMENI HANNO DUE CARATTERISTICHE COMUNI

i) MOTO PERIODICO

ii) TRASPORTO DI ENERGIA  
(SENZA TRASPORTO DI MATERIA)

# MOTO PERIODICO

- UN MOTO PERIODICO E' UN MOTO CHE SI RIPETE UGUALE A SE STESSO DOPO UN CERTO INTERVALLO DI TEMPO.
- QUESTO INTERVALLO DI TEMPO RESTA COSTANTE DURANTE LO SVOLGIMENTO DEL MOTO E VIENE DETTO PERIODO

## • ESEMPI

L'ALTALENA

IL PENDOLO

LE LANCETTE DELL'OROLOGIO

LA GIOSTRA

etc... -- etc...

IN GENERALE QUALSIASI VIBRAZIONE

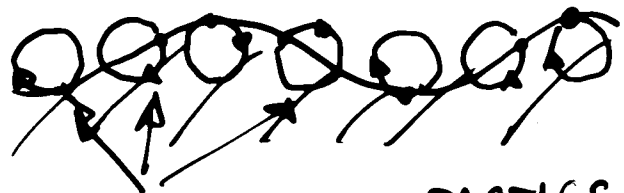
# TRASPORTO DI ENERGIA

LE ONDE HANNO LA CARATTERISTICA DI NON TRASPORTARE MATERIA O ALTRO BENSÌ ENERGIA

ONDE  
IN  
MARE



MOTO DELL'ONDA  
→



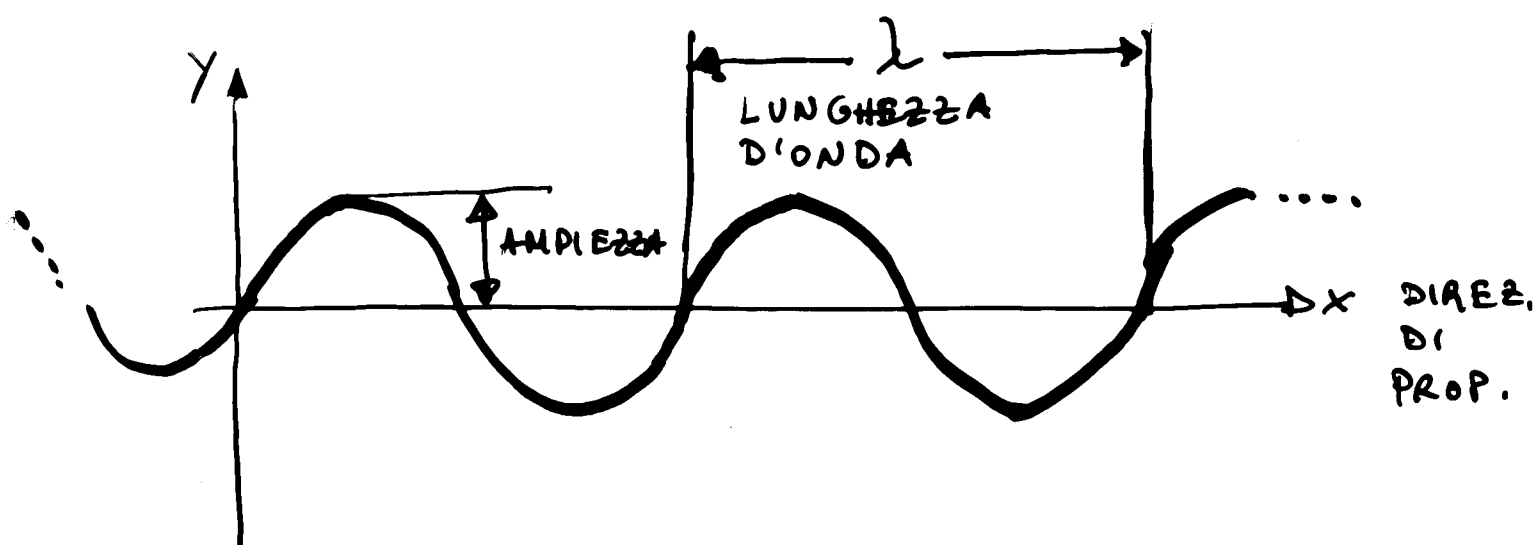
MOTO DELLE PARTICELLE  
DI ACQUA

# PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE ONDE

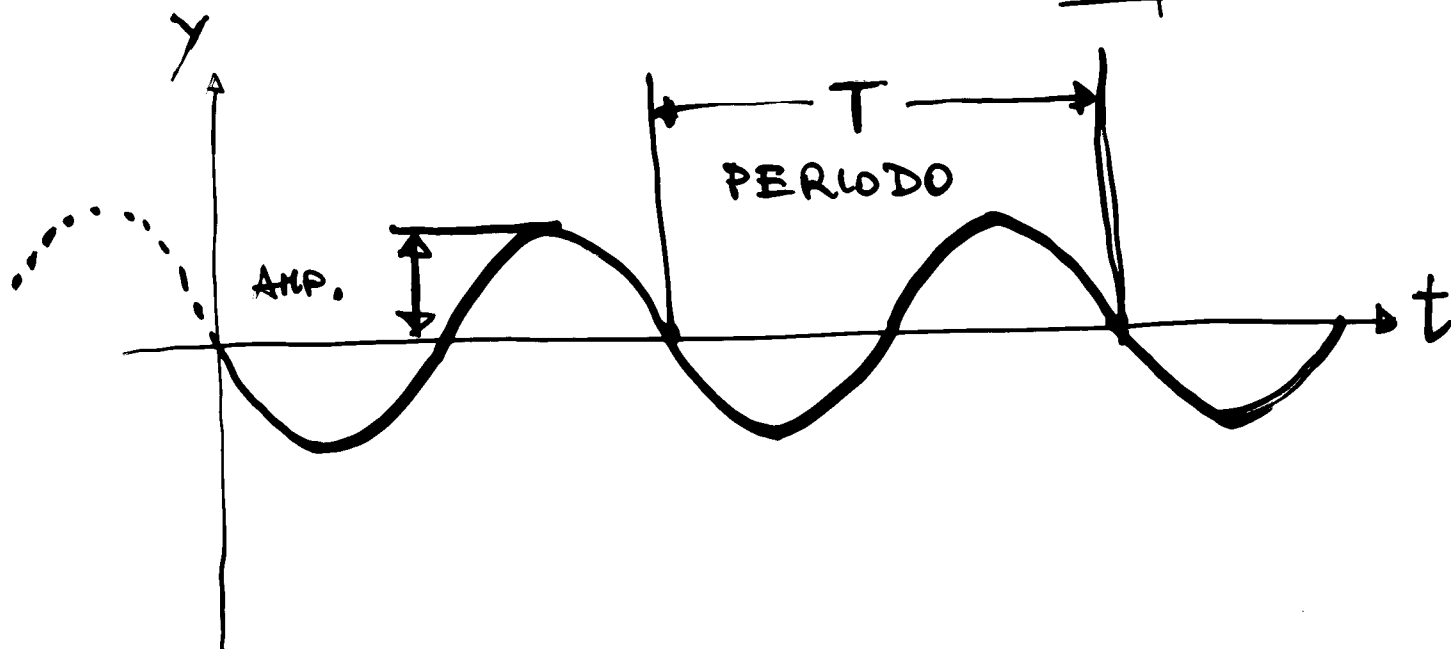
3.

- IMMAGINIAMO DI PORRE IN OSCILLAZIONE UNA CORDA TESA

a) "ISTANTANEA" DELLA CORDA AD UN CERTO  
ISTANTE FISSATO *Tempo congelato*



b) POSIZIONE DI UN ELEMENTO DELLA CORDA  
PER  $x=0$  IN FUNZIONE DEL TEMPO  
 *$x$  fissato*



# PARAMETRI DELLE ONDE

4

• SE

$T [s]$  E' IL PERIODO ALLORA

$$\nu = \frac{1}{T} [Hz] \text{ E' LA FREQUENZA}$$
$$1 Hz = \frac{1}{s} = s^{-1}$$

• SE LA VELOCITA' DELL'ONDA E'  $v$

ALLORA

$$v = \lambda \nu \rightarrow \lambda = v \cdot T$$

$\lambda =$  LUNGHEZZA D'ONDA

$$\nu = \frac{1}{T}$$

LA QUANTITA'  $k = \frac{1}{\lambda} [m^{-1}]$  SI

DICE NUMERO D'ONDA

# ONDE LONGITUDINALI ED ONDE TRASVERSALI

## • ONDE LONGITUDINALI

LA VIBRAZIONE DEL MEZZO AVVIENE  
NELLA STESSA DIREZIONE DELLA  
PROPAGAZIONE DELL'ONDA

ESEMPI :

- ONDE SONORE
- ONDE SISMICHE

-----

## • ONDE TRASVERSALI

LA VIBRAZIONE AVVIENE  
PERPENDICOLARMENTE ALLA  
DIREZIONE DI PROPAGAZIONE  
DELL'ONDA

ESEMPI :

- ONDE SISMICHE
- ONDE IN UNA CORDA
- ONDE  
ELETTROMAGNETICHE

# ACUSTICA

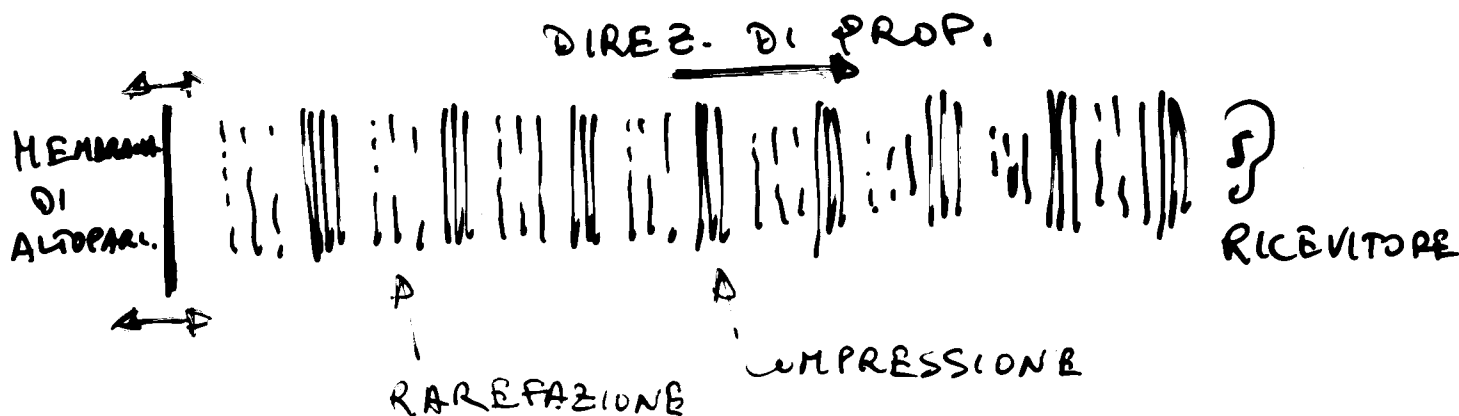
6.

## NATURA DEL SUONO

IL SUONO È LA SENSAZIONE PERCEPITA DALL'ORECCIA UMANO CHE RISULTA DA RAPIDE FLUTTUAZIONI NELLA PRESSIONE DELL'ARIA

IN PRATICA UN SUONO CHE SI PROPAGA CONSISTE IN UNA SERIE DI RAREFAZIONI E DI COMPRESSIONI DEL MEZZO ATTRAVERSO IL QUALE AVVIENE LA PROPAGAZIONE

ESEMPIO DEL SUONO IN ARIA



IL SUONO SI PUÒ PROPAGARE IN QUALSIASI MEZZO MATERIALE ABBASTANZA ELASTICO, PERÒ CON **DIVERSE VELOCITÀ**

# VELOCITA' DEL SUONO

7.

MEZZO	VELOCITA' (m/s)
ARIA (0°C)	331
ARIA (20°C)	343
ELIO	965
IDROGENO	1284
ACQUA (0°C)	1402
ACQUA (20°C)	1482
ACQUA DI MARE (20°C)	1522
ALLUMINIO	6420
ACCIAIO	5941
GRANITO	6000

SE RESTIAMO IN ARIA POSSIAMO  
SCRIVERE

$$V_s = \sqrt{\frac{1.4 P_0}{\rho}}$$

$P_0$  = PRESSIONE  
ATMOSFERICA

$\rho$  = DENSITA'  
DELL'ARIA

SE SI CONSIDERA L'ARIA UN GAS IDEALE SI  
PUO' DIRE APPROSSIMATIVAMENTE CHE

$$V_s = 332 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

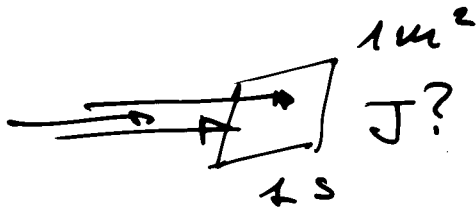
$V_s$  IN m/s

$t$  = TEMP. IN °C

# CLASSIFICAZIONE DEI SUONI

8.

## ● INTENSITA' SONORA



• ENERGIA CONVOGLIATA DALL'ONDA SONORA PER UNITA' DI TEMPO ED UNITA' DI SUPERFICIE

• SI MISURA IN  $\frac{W}{m^2} = \frac{J}{s m^2}$

• L'INTENSITA' SI MISURA ANCHE IN DECIBEL:

$$\beta (\text{decibel o dB}) = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

DOVE  $I$  = INTENSITA' CHE SI STA MISURANDO

$I_0$  = INTENSITA' DI RIFERIMENTO,

$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$  (MINIMA INT. UDIBILE)

## ● ALTEZZA DEL SUONO



FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SUONO

✓ ALTA → SUONO "ACUTO"

✓ BASSA → SUONO "GRAVE"

✓  $0 \div 16 \text{ Hz}$  → INFRA SUONI

✓  $16 \text{ Hz} \div 20 \text{ kHz}$  → SUONI UDIBILI

✓  $> 20 \text{ kHz}$  → ULTRASUONI



# ALCUNE DEFINIZIONI

## PRESSIONE SONORA

LA MINIMA INTENSITA' SONORA PERCEPIBILE DALL'ORECCHIO UMANO CORRISPONDE AD UNA PRESSIONE DI

$$\approx 2 \times 10^{-5} \frac{N}{m^2} \approx 10^{-10} \text{ atm}$$

## DENSITA' DI ENERGIA

$$E \left[ \frac{J}{m^3} \right] = \frac{(P/\sqrt{2})^2}{\rho v^2}$$

P = pressione sonora  
maxima

$\rho$  = densita'  
dell'aria

v = velocita'  
del suono

## INTENSITA' SONORA

$$I = \frac{(P/\sqrt{2})^2}{\rho v} \Rightarrow I = vE$$

## SCALE LOGARITMICHE (DECIBEL)

SONO COMODE PER

i) GRANDI INTERVALLI DI VARIAZIONE

$$\text{MIN. INT. PERC.} \approx 10^{-12} \frac{W}{m^2} \Leftrightarrow \text{MAX. INT. PERC.} \approx 10 \frac{W}{m^2}$$

ii) L'ORECCHIO UMANO GIUDICA IL VOLUME (LOUDNESS) RELATIVO DI DUE SUONI ATTRAVERSO IL RAPPORTO DELLE INTENSITA'  $\rightarrow$  .....

# LIVELLO DI PRESSIONE SONORA 2.

$$SPL (dB) = 2.0 \text{ Log}_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 \text{ [Pa]}$$

SI NOTI CHE

$$SPL (dB) = IL (dB)$$

LIVELLO DI INTENSITA'

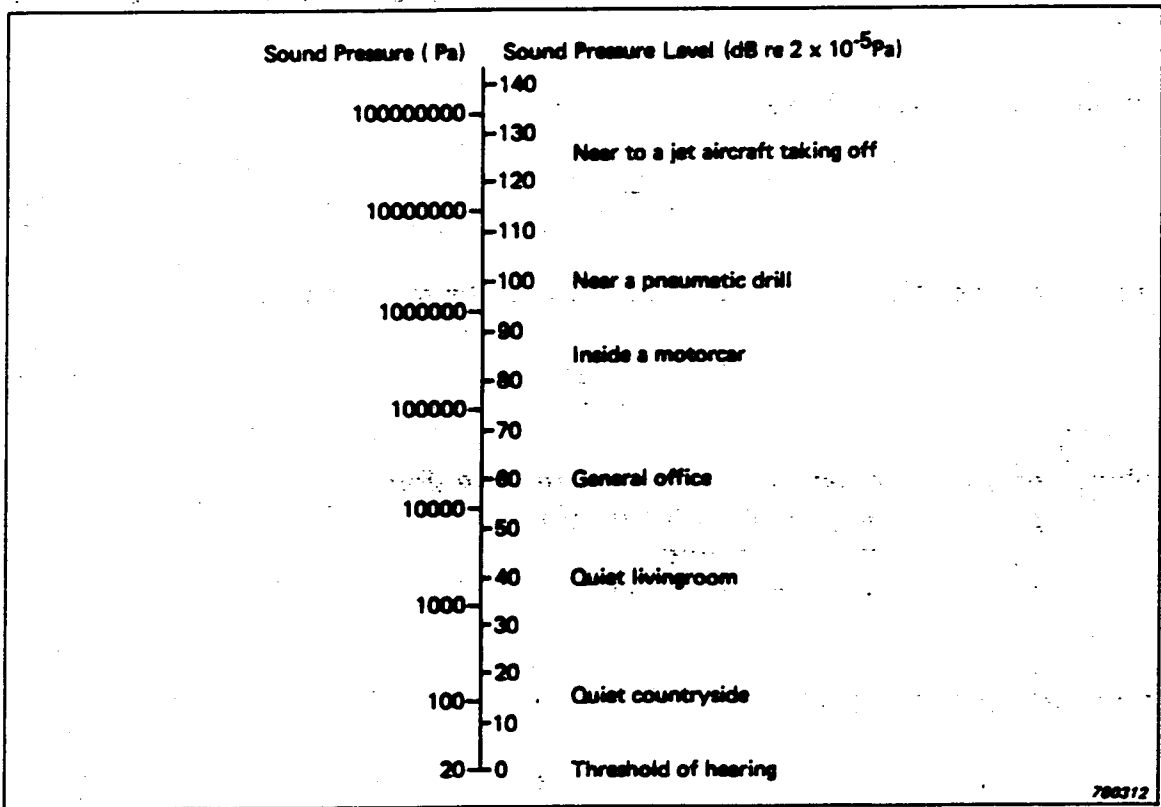


Fig.1.5. Some typical sound pressure levels

$$\text{Log } X^2 = 2 \cdot \text{Log } X$$

# LIVELLO DI POTENZA SONORA

$$SWL (dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_0} \right)$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

SWL M. S. I. A. L'UNITA' DI ENERGIA  
DA UNA SORGENTE SONORA

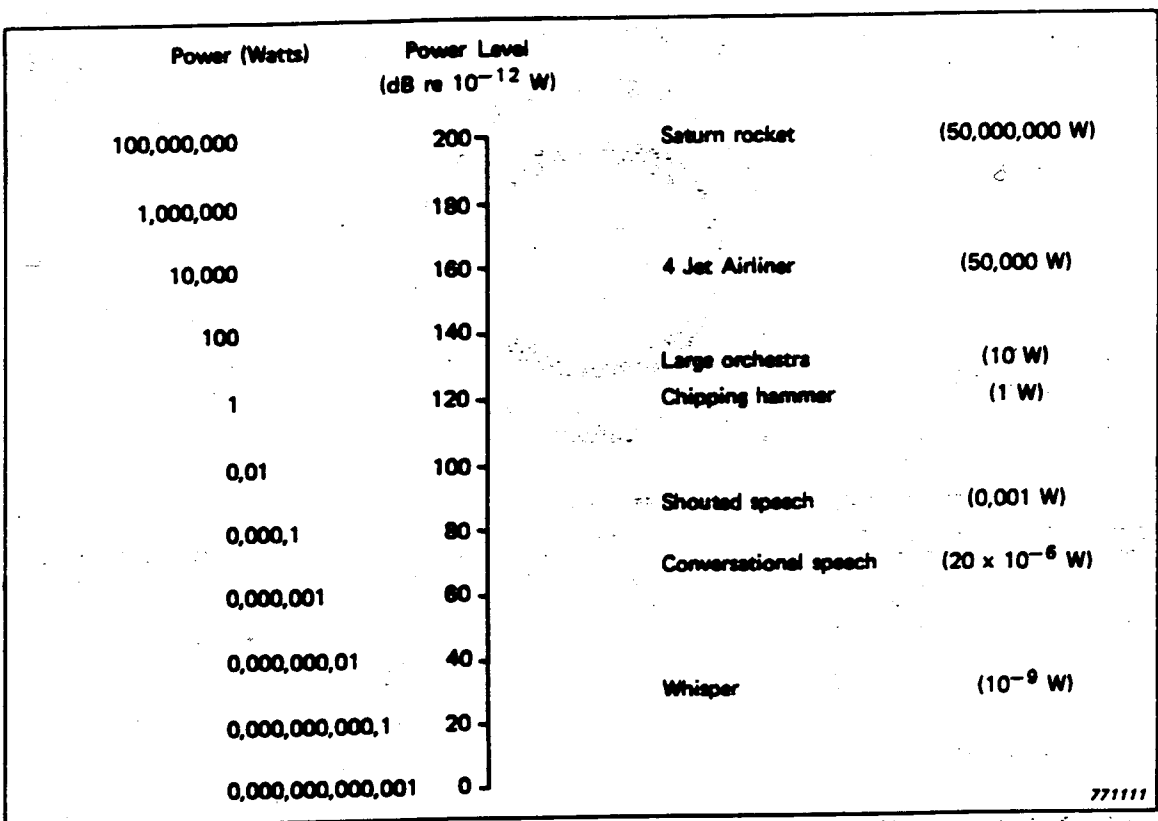


Fig. 1.6. Some typical sound power levels

# ALLINE CARATTERISTICHE DELL'ORECCHIO UMANO

- SOPPORTA PRESSIONI FINO A  $100 P_e$
- PUO' PERCEPIRE PRESSIONI FINO A  $10^{-5} P_e$

TRA 1 E 5 KHz (INTERVALLO D. MASSIMA  
SENSIBILITA' PER IL RICONOSCIMENTO QUESTE  
VIBRAZIONI. PRODUCAVO UNO SPACIAMENTO  
D.  $10^{-11}$  M DEL TEMPERAIO

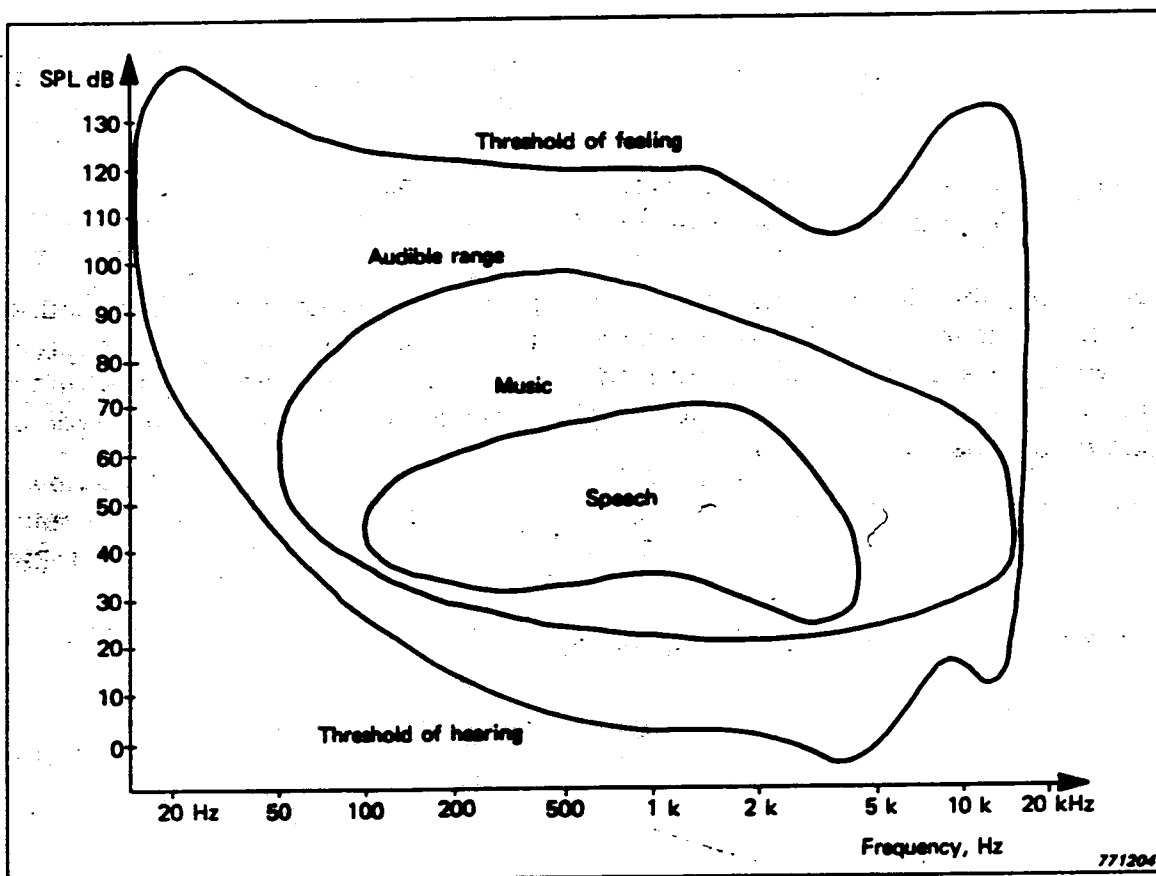


Fig. 1.14. Audible range of frequencies and sound pressure levels bounded by threshold of hearing and the threshold of feeling together with approximate regions for speech and music.



# ACUSTICA ARCHITETTONICA

- L'ACUSTICA ARCHITETTONICA È UN'ESEMPIARE  
 CRISTALLINA COME LO STUDIO DELLA CENTRALE  
 PROPAGAZIONE E TRASMISSIONE DEI SUONI IN  
 AMBIENTI, ABITAZIONI ED ALTRI EDIFICI.
- LA CORRETTA APPLICAZIONE DEI PRINCIPI  
 DELL'ACUSTICA ARCHITETTONICA CONTRIBUISCE  
 A MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLA VITA.  
 È UNO DEI FATTORI CHE DISTINGUE UN EDIFICIO  
 DALL'ALTRO. È UNO DEI FATTORI CHE DISTINGUE  
 UNO SPAZIO DALL'ALTRO. È UNO DEI FATTORI  
 CHE DISTINGUE UNO SPAZIO DALL'ALTRO. È UNO  
 DEI FATTORI CHE DISTINGUE UNO SPAZIO DALL'ALTRO.  
 (MOLTA UN  
 MA SALA DA CONCERTO, VIDE IN UNA SALA  
 MONTANI...), MENTRE I SUONI INDESIDERATI  
 (RUMORI!) DEBBOUC ESSERE RIDOTTI O ELIMINATI!
- UN'ATTENTA CONSIDERAZIONE DELLE PROPRIETÀ  
 ACUSTICHE DI UN EDIFICIO AL MOMENTO DEL  
 PROGETTO, ACCOPPIATA SPESSO A MISURAZIONI  
 ACUSTICHE SU MATERIALI E MODELLI IN SCALA,  
 CONSENTE DI RISPARMIARE TEMPO, LAURO  
 E COSTI DI EVENTUALI SUCCESSIVI  
 INTERVENTI.

# ACUSTICA DEGLI AMBIENTI

- IL SUONO DI UNA SORGENTE SONORA IN UN AMBIENTE SI PROPAGHERA' DALLA SORGENTE VERSO LE PARETI DALLE QUALI VERRA' RIFLESSO. IL SUONO SI PROPAGHERA' IN TUTTE LE DIREZIONI E VERRA' RIFLESSO DALLE PARETI. IL SUONO SI PROPAGHERA' IN TUTTE LE DIREZIONI E VERRA' RIFLESSO DALLE PARETI.
- IL SUONO SI PROPAGHERA' DALLA SORGENTE VERSO LE PARETI DALLE QUALI VERRA' RIFLESSO. IL SUONO SI PROPAGHERA' IN TUTTE LE DIREZIONI E VERRA' RIFLESSO DALLE PARETI. IL SUONO SI PROPAGHERA' IN TUTTE LE DIREZIONI E VERRA' RIFLESSO DALLE PARETI.

## ACUSTICA "GEOMETRICA"

- SE LE DIMENSIONI DELL'AMBIENTE SONO GRANDI RISPETTO ALLA LUNGHEZZA D'ONDA DEI SUONI\* ALLORA LO STUDIO DELLE RIFLESSIONI PUO' ESSERE CONDOTTO CON IL METODO DEI RAGGI, COME NELL'OTTICA GEOMETRICA.

\* PER SUONI CON FREQUENZA  $\nu \leq 1 \text{ kHz}$  IN ARIA  
LA VELOCITA' DEL SUONO E'  $v = 340 \text{ m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{340 \text{ m/s}}{10^3 \text{ s}^{-1}} = 0.34 \text{ m} = 34 \text{ cm}$$

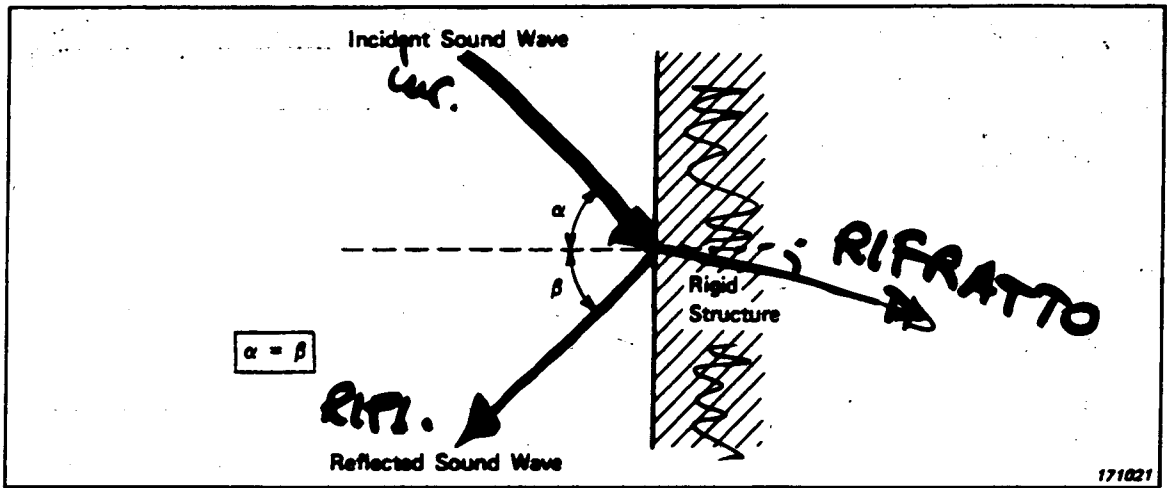


Fig.2.1. Laws of reflection

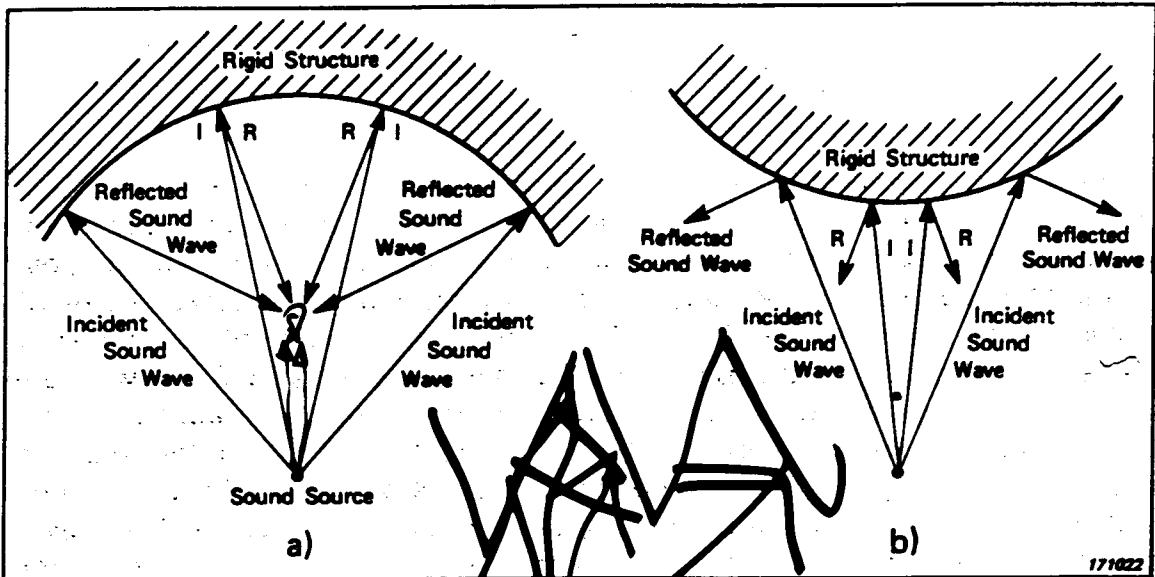


Fig.2.2. Reflections of sound rays

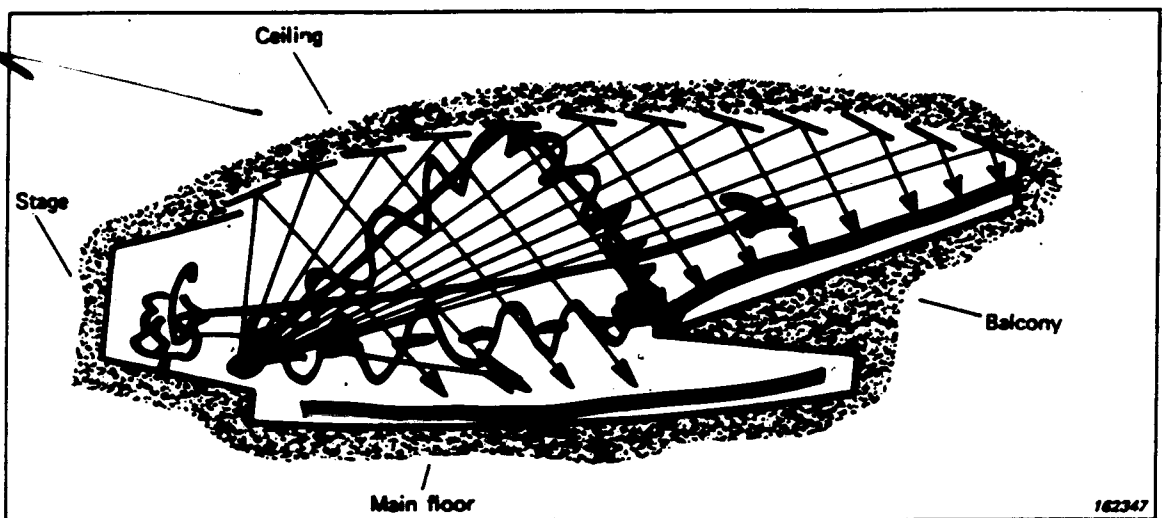


Fig.2.3. Graphical construction of the first reflections of the sound waves in a concert hall



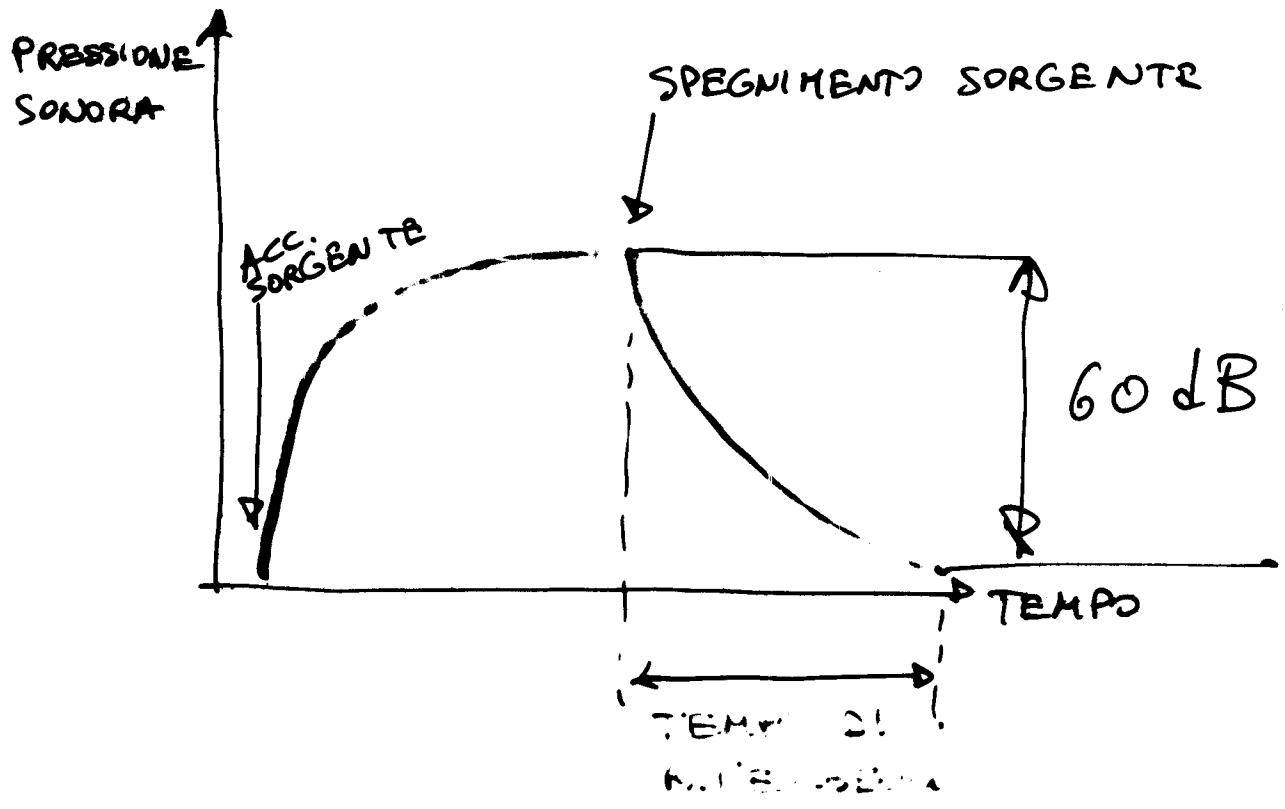
# RIVERBERO

Il riverbero è l'effetto che si produce in un ambiente chiuso, quando un suono si riflette sulle pareti, sul soffitto e sul pavimento, e si sovrappone al suono diretto, prolungandone l'ascolto.

La durata del riverbero dipende dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente, in particolare dal volume e dall'assorbimento acustico delle superfici.

La formula empirica di Sabine, che lega il tempo di riverbero al volume e all'assorbimento totale, è uno dei modelli più utilizzati per progettare ambienti con determinate caratteristiche acustiche.

## RIVERBERO



## FORMULA EMPIRICA DI SABINE

$$RT = \frac{0.164 V}{A}$$

RT → tempo di riverbero (tempo necessario decibel di 60dB)

V → volume in m<sup>3</sup> dell'ambiente

A → assorbimento totale

# ACUSTICA DEGLI EDIFICI

- IN EDIFICI COSTITUITI DA MOLTI AMBIENTI TUTTE LE SORGENTI SONORE DEVONO ESSERE CONSIDERATE RUMORE E QUINDI I LORO EFFETTI DEVONO ESSERE SOPPRESSI.

- I TIPI DI RUMORE SONO:
  - RUMORI CONVOGLIATI ATTRAVERSO L'ARIA (AIRBORNE)
  - RUMORI CONVOGLIATI ATTRAVERSO LA STRUTTURA (STRUCTURE BORNE)

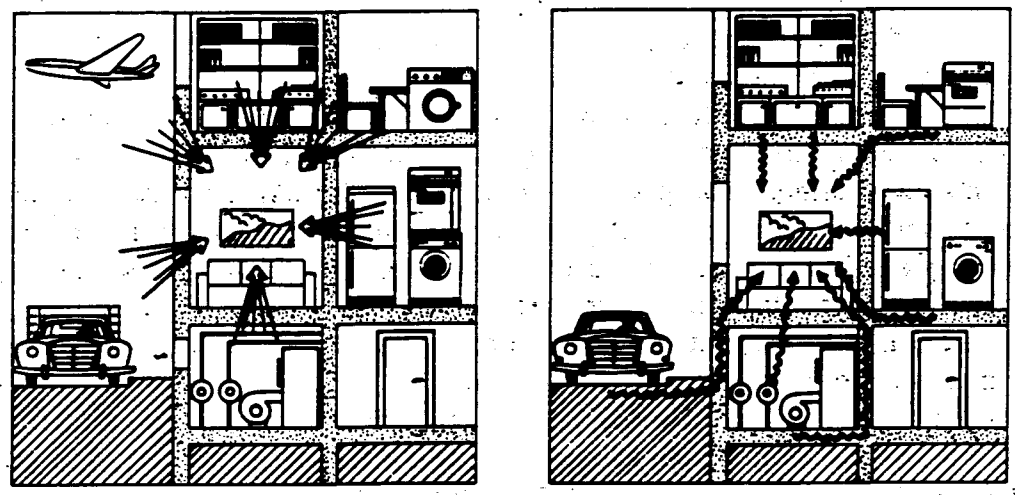
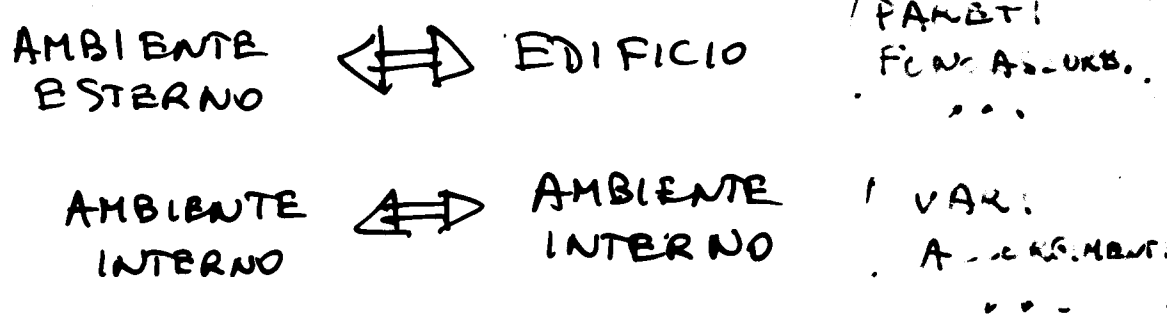


Fig.3.1. Intrusive noise due to  
a) airborne noise b) structure borne noise

- DUE TIPI DI ISOLAMENTO



# TRASMISSIONE DEL RUMORE TRA AMBIENTI

— AIRBORNE

— STRUCTURE Borne.

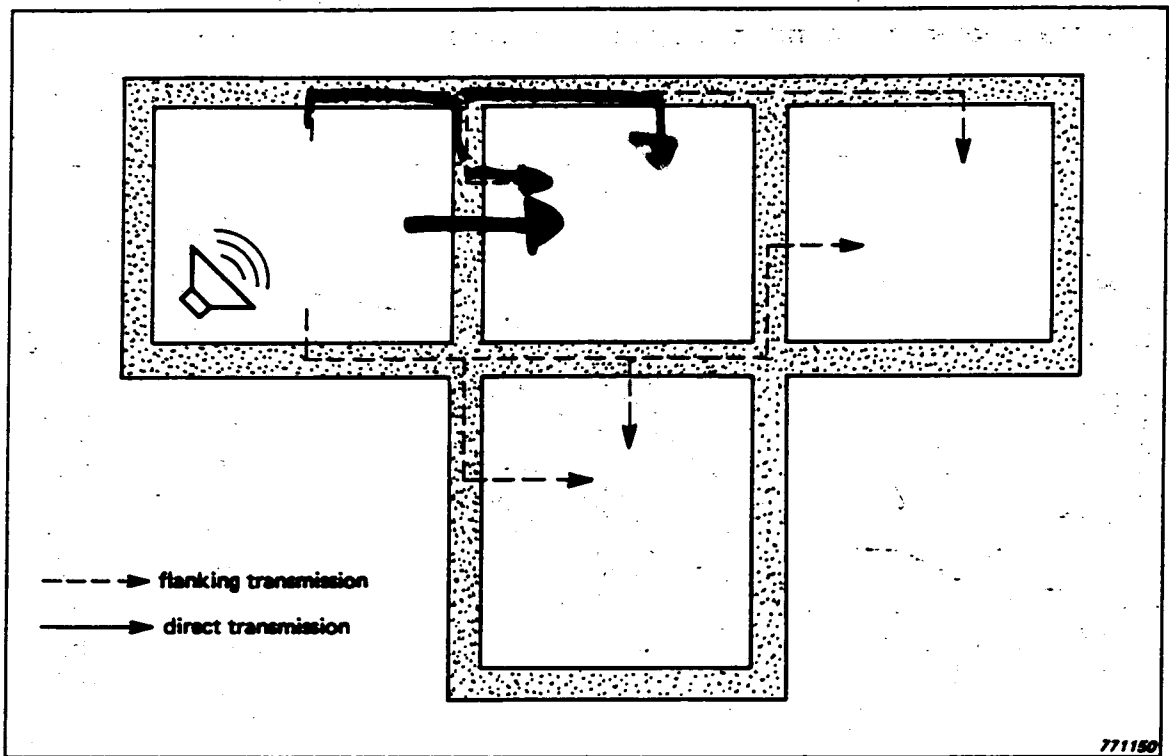


Fig.3.3. Transmission paths between rooms

# SERIE DI ACCORGIMENTI PER LA REALIZZAZIONE DI UN AMBIENTE ACUSTICAMENTE ISOLATO

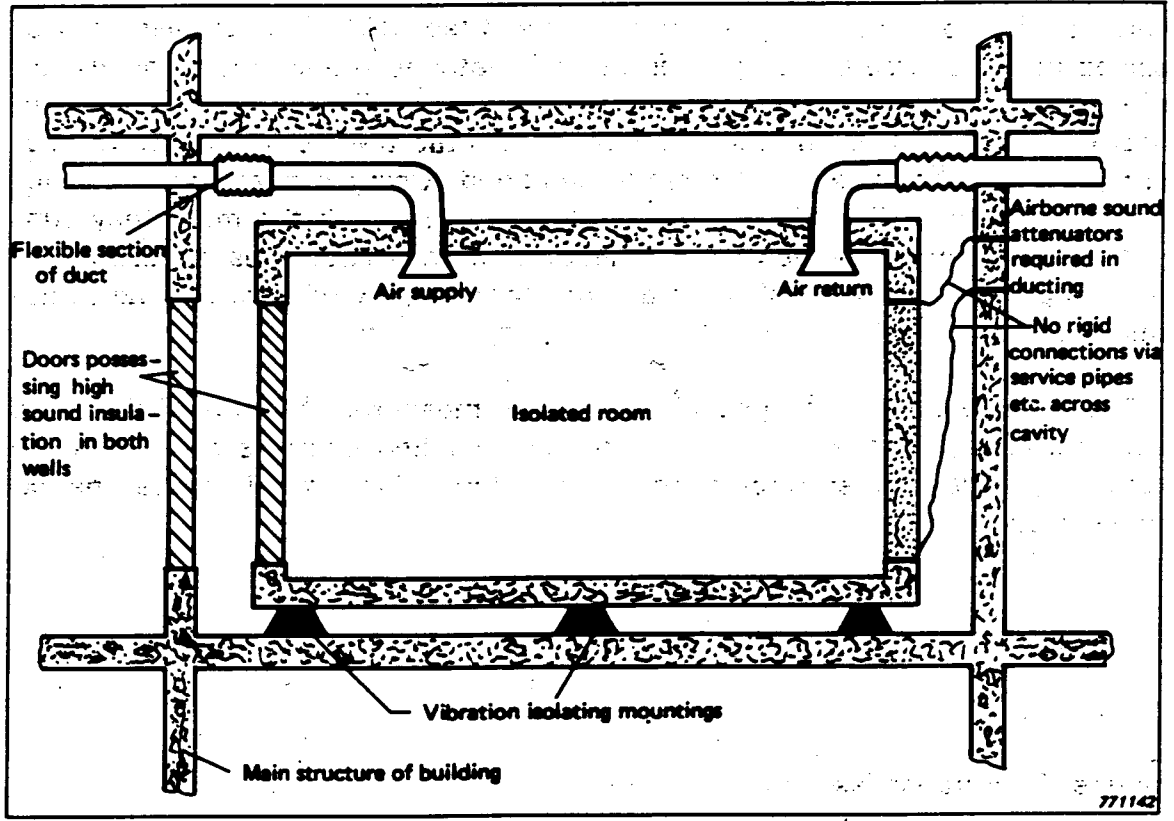


Fig.3.13. Discontinuous construction: vertical section through an isolated room