



UNIVERSITA' degli STUDI di PERUGIA

Facoltà di MEDICINA e CHIRURGIA

Corso di Laurea in Fisioterapia

Prof.ssa Cynthia Aristei

ULTRASUONI

Dott. Gianni Gobbi

S.C. di Fisica Sanitaria

Azienda Ospedaliera di Perugia

Moto Ondulatorio

Le onde dell'acqua e della corda sono due esempi comuni di moti ondulatori (ONDE MECCANICHE).

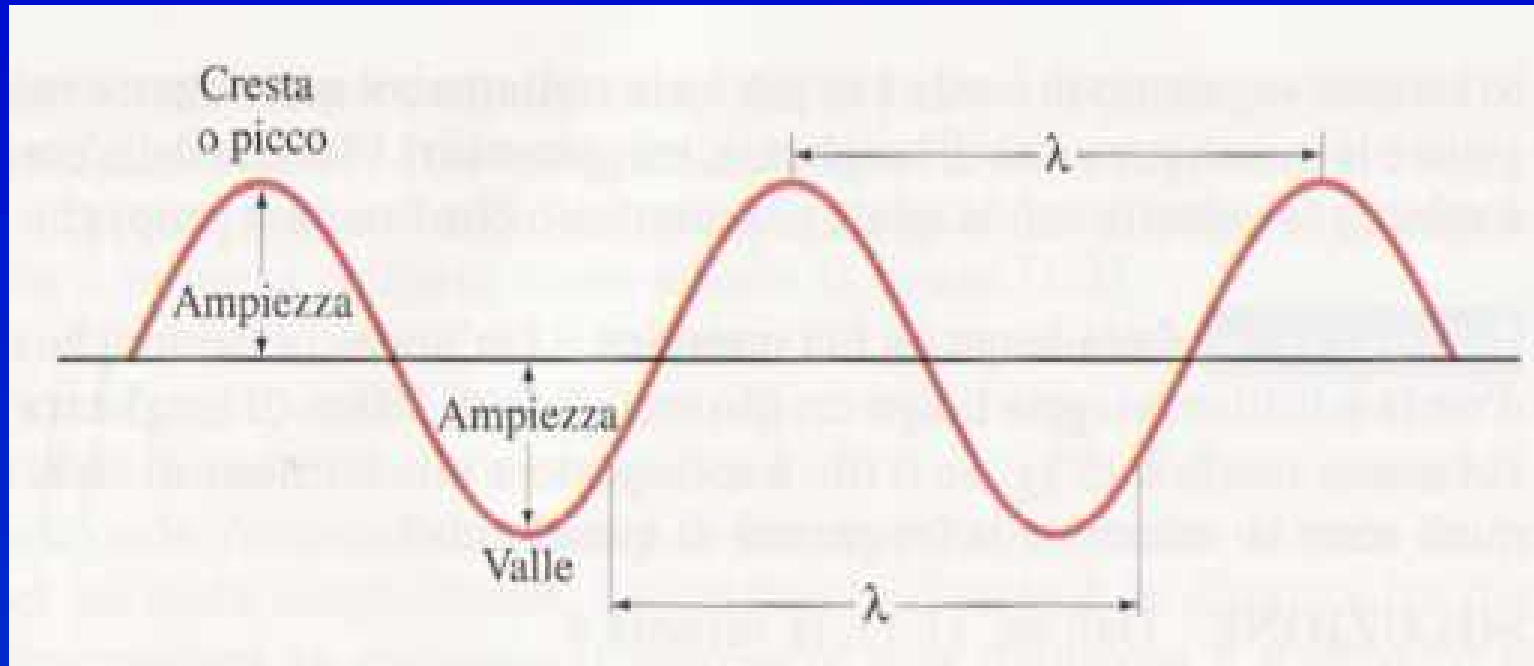
Un'onda consiste di oscillazioni che si muovono senza trasportare con sé la materia.

Le onde trasportano energia da un punto all'altro.

L'energia viene fornita ad un'onda d'acqua da un sasso gettato nell'acqua o del vento che spira sul mare.

La mano che fa oscillare la fune, trasferisce alla fune energia, etc

Onda Periodica Sinusoidale



Alcune importanti grandezze usate per descrivere un'onda periodica sinusoidale sono:

- **AMPIEZZA (A):** massima altezza di una cresta o profondità di una valle

- **LUNGHEZZA D'ONDA (λ , lambda):** la distanza tra due creste successive.
- **FREQUENZA (f):** è il numero di creste (o cicli completi) che passano per un determinato punto nell'unità di tempo.
- **PERIODO (1/t):** è il tempo che intercorre fra i passaggi di due creste successive per lo stesso punto nello spazio.
- **VELOCITA' D'ONDA (v):** è la velocità alla quale si muovono le creste d'onda.

$$v = \lambda * f$$

Tipi di onde : Trasversali e Longitudinali

Quando un'onda si muove lungo una corda, da sinistra verso destra, le particelle della corda vibrano su e giù in direzione trasversale (o perpendicolare) al moto dell'onda stessa.

Tale onda viene detta **Onda Trasversale**.

In natura esiste un altro tipo di onda detta Onda Longitudinale.

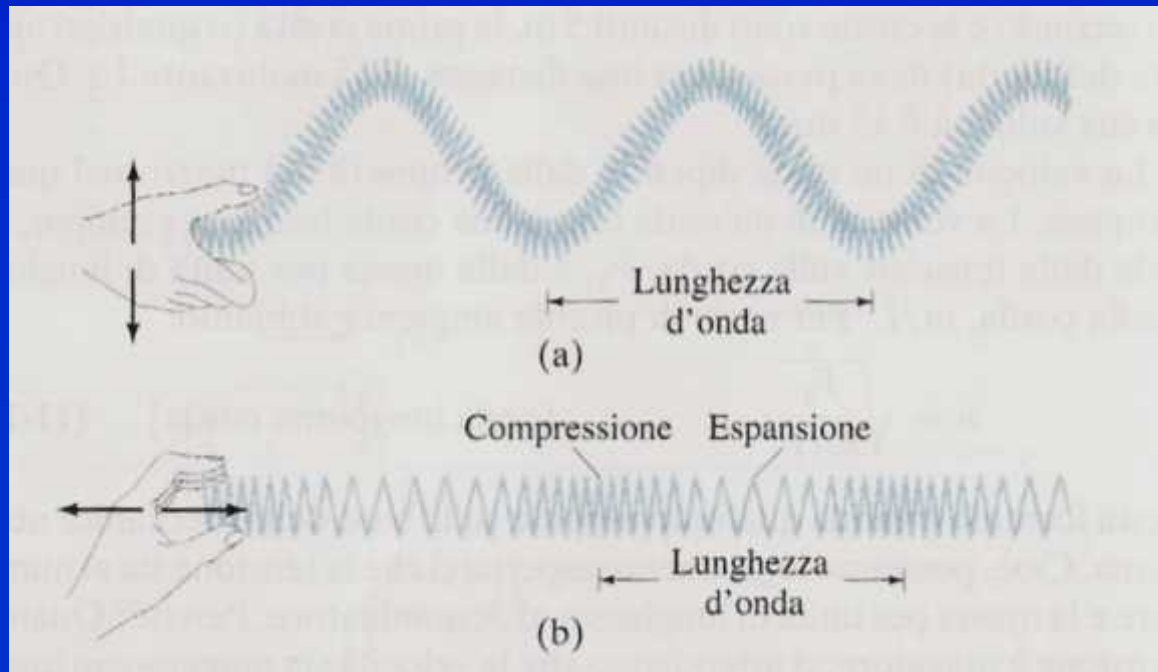


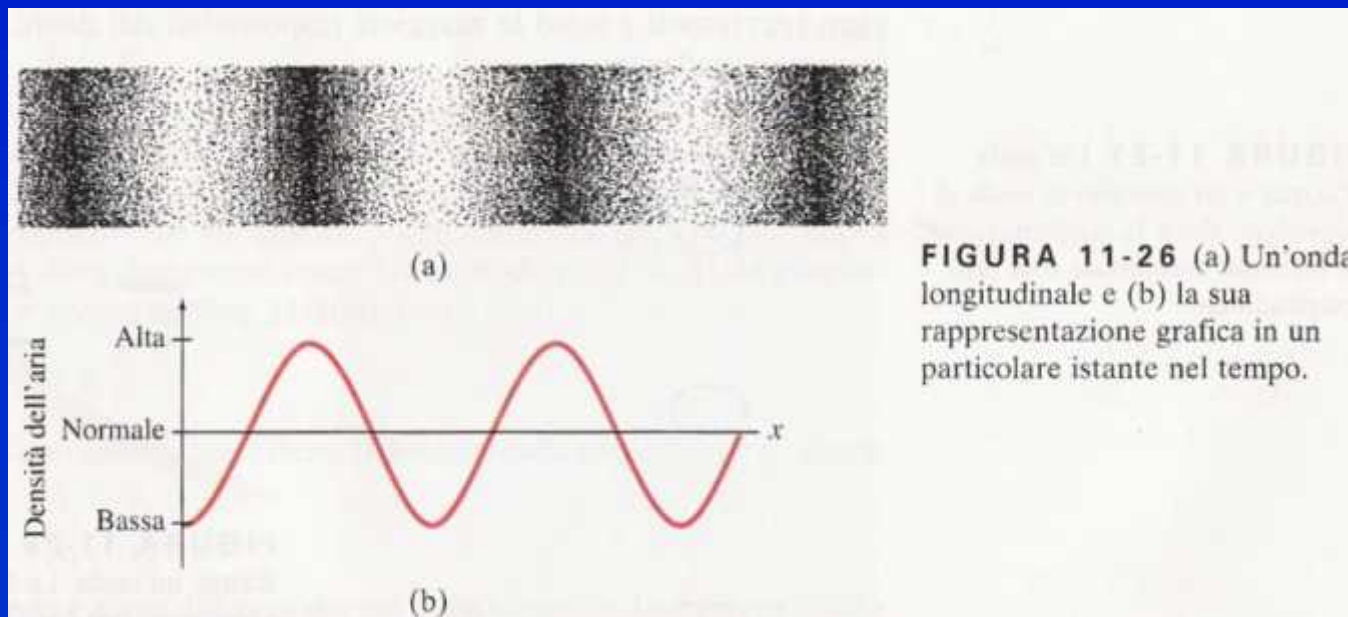
FIGURA 11-24

(a) Onda trasversale;
(b) Onda longitudinale.

In un'onda longitudinale, la vibrazione delle particelle del mezzo avviene lungo la stessa direzione del moto dell'onda.

Si formano facilmente lungo una molla tesa comprimendo ed espandendo alternativamente un'estremità.

Un esempio di onda longitudinale è un'onda sonora nell'aria, prodotta dalla membrana vibrante di un tamburo .

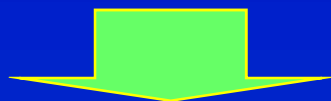


Quando si verificano terremoti vengono prodotti sia onde trasversali che longitudinali.

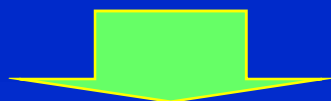
Energia trasportata dalle onde

Le onde trasportano energia da un punto a un altro.

Mentre le onde viaggiano attraverso il mezzo, l'energia viene trasferita sotto forma di energia vibrazionale da una particella all'altra del mezzo



Ciascuna particella ha una Energia $\propto$ (ampiezza)²



L'energia trasportata da un'onda è proporzionale al quadrato dell'ampiezza.

$$E_{\text{onda}} \propto A^2$$

Suono

Il concetto di suono e di onda sonora è collegato ad un patto fisiologico soggettivo costituito dalla possibilità di percepire le vibrazioni elastiche in un mezzo.

Le **ONDE SONORE** sono delle vibrazioni periodiche delle particelle di un mezzo materiale, vibrazioni che si propagano nel mezzo con una velocità finita.

Possiamo distinguere 3 aspetti del suono:

- Deve esistere una **SORGENTE**, ad es. oggetto vibrante
- Trasferimento sotto forma di **onde sonore longitudinali**
- Il suono viene rivelato da un orecchio o da uno strumento

I CARATTERI DEL SUONO

INTENSITA': proporzionale al quadrato dell'ampiezza (A) dell'onda $I \propto A^2$

ALTEZZA: dipende dalla grandezza delle vibrazioni

TIMBRO: dipende dalla forma della vibrazione e quindi dal numero e dalla ampiezza delle vibrazioni che compongono il suono

VELOCITA' DI PROPAGAZIONE DEL SUONO: dipende dal mezzo in cui avviene la propagazione e dalla temperatura.

Nell'aria a 20°C , $V \approx 340$ m/s nell'acqua ≈ 1400 m/s

TONO: è determinato dalla frequenza del suono; più alta è la frequenza, tanto più alto è il tono.

INTERVALLO UDIBILE: va da circa 20 Hz a 20.000 Hz (1Hz = 1 ciclo per secondo)

Intensità del Suono: decibel

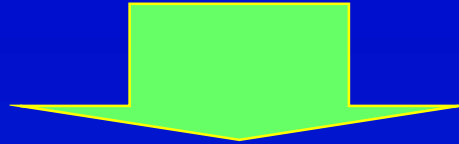
La sensazione sonora (l'intensità è soggettiva) è correlata ad una quantità fisicamente misurabile, l'INTENSITA' dell'onda

$$I \propto A^2$$

Poiché l'orecchio umano può udire suoni di bassa intensità (10^{-12} W/m²) fino ad intensità elevate pari a 1w/m².

Intervallo di intensità incredibilmente alto (10^{12})

Questo ha comportato che:



I livelli di intensità sono specificati in scala logaritmica.

L'unità di misura è il bel o piu' comunemente il decibel (dB)

I livelli di intensità, β , di ogni suono è definito in termini della sua intensità, I , nel seguente modo:

$$\beta \text{ (dB)} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

dove I_0 è l'intensità di riferimento, solitamente assunta pari a 10^{-12} W/m^2

In medicina, le onde ultrasoniche sono utilizzate sia nella diagnosi che nella cura (distinzione di tessuti o oggetti indesiderati all'interno del corpo- tumori o calcoli).

Si utilizzano ultrasuoni di altissima intensità ,
(sino a 10^7 W/m²), i quali vengono focalizzati nel materiale da eliminare.

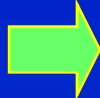
FISIOTERAPIA = riscaldamento locale dei muscoli (tessuti danneggiati).

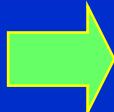
ECOGRAFIA

- Un impulso sonoro ad alta frequenza viene diretto nel corpo, e la sua riflessione dovuta a superfici e interfacce tra organi e altre strutture, o da lesioni presenti nel corpo, sono rivelate
- Studi cardiaci, crescita di un feto, fegato, reni, etc..

EFFETTO DOPPLER

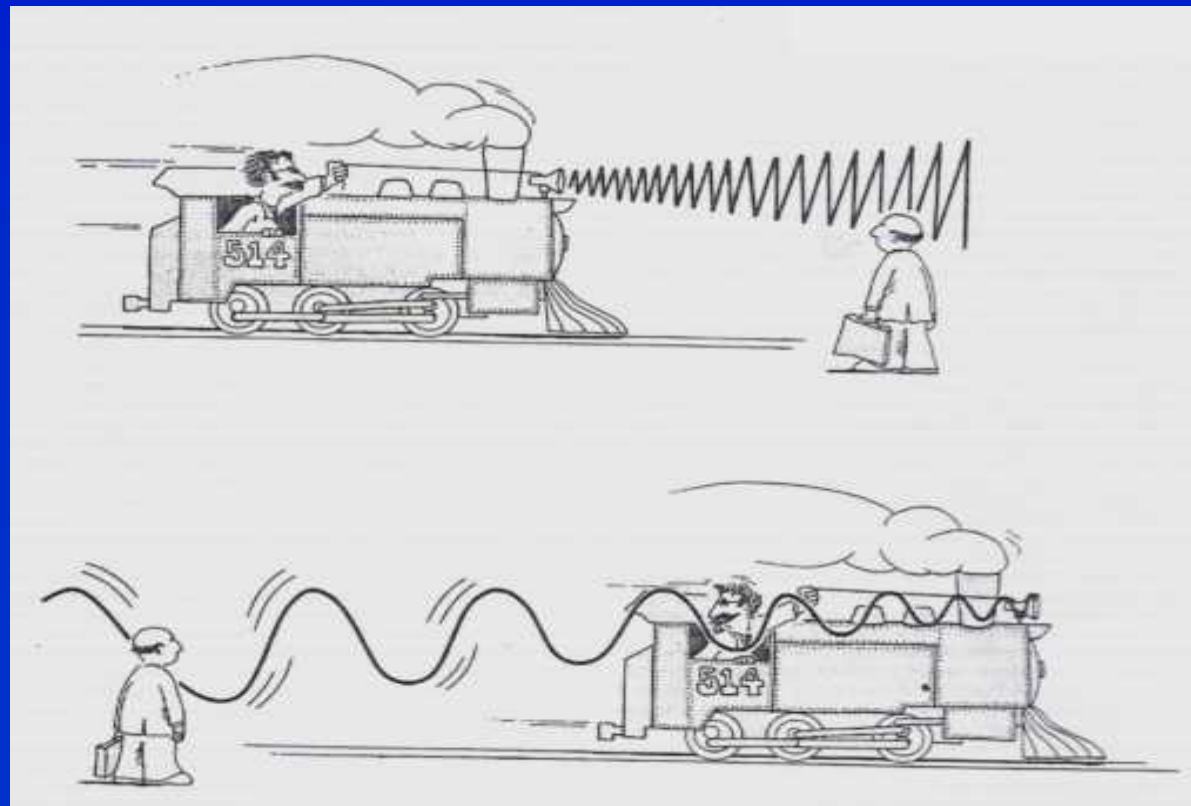
Con **EFFETTO DOPPLER** si intende la variazione di tono dovuta al moto dell'ascoltatore o della sorgente.

Se si avvicinano  il tono risulterà piu' ALTO

Se si stanno allontanando  il tono risulterà piu' BASSO

Una manifestazione familiare dell'effetto Doppler è quello che si ha al passaggio del treno.

Il suono del fischio del treno sembra di tonalità molto acuta (alta frequenza, breve lunghezza d'onda) al suo avvicinarsi, quando il treno passa il tono cambia bruscamente (passa a una frequenza più bassa).



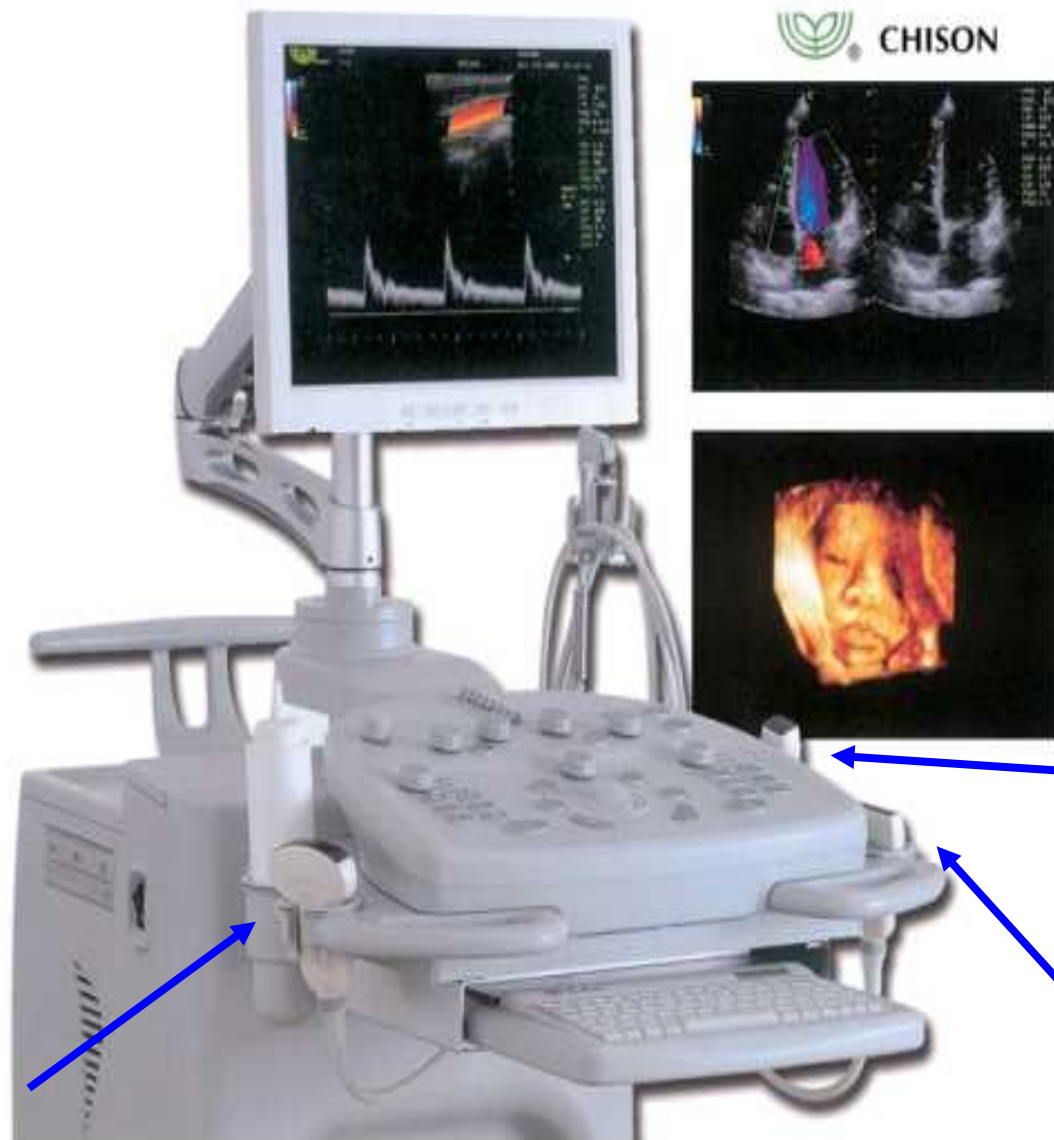
Esiste una relazione matematica tra il *cambiamento di frequenza del suono percepito* e la *velocità relativa della sorgente rispetto all'osservatore*: questa relazione permette di ricavare, nota la frequenza rilevata, la velocità, la velocità della sorgente che emette il segnale e se questa sorgente si sta avvicinando o allontanando dall'osservatore.

Notevole applicazione si ha in medicina con la *flussimetria doppler*, che permette di ricavare velocità e scorrimento del sangue nei vasi usando proprio il sangue come sorgente che riflette gli ultrasuoni generati da una sonda opportuna.

La frequenza dell'onda incidente e di quello riflesso rientra nell'ordine degli ultrasuoni (2 MHz – 10 MHz); al contrario lo spostamento di frequenza (Δf) rientra nell'ambito dell'udibile.

Δf = frequenza trasmessa – frequenza riflessa

Durante l'esecuzione dell'esame l'operatore ascolta dei suoni la cui frequenza, variabile nel tempo, è in diretto rapporto alla velocità di scorrimento dei globuli rossi all'interno dei vasi



Rosso = sangue arterioso

Blu = sangue venoso



Sebbene gli ultrasuoni non possono sostituire i raggi x, possono tuttavia essere molto utili per certi tipi di diagnosi. Alcuni tipi di tessuto o di fluido **NON** vengono rivelati dai raggi x mentre, al contrario, riflettono le onde ultrasoniche. Gli ultrasuoni sono quindi considerati come una tecnica non invasiva per lo studio del corpo umano.

Le frequenze utilizzate nelle diagnosi ecografiche sono comprese nell'intervallo che va da 1 a 10 MHz (1MHz=10⁶Hz)

La velocità del suono nei tessuti del corpo umano è di circa 1540 m/s

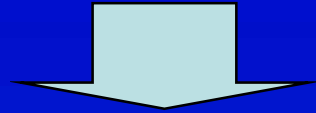
Quindi la lunghezza d'onda alla frequenza di 1 MHz è

$$d = \frac{v}{f} = \frac{(1540 \text{ m/s})}{(10^6 \text{ s}^{-1})} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.5 \text{ mm}$$

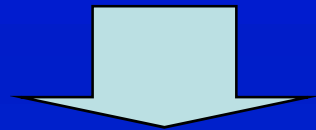
a 10 MHz $d = 0.15 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.15 \text{ mm}$

Valori che pongono un limite al' più piccolo oggetto che può essere rivelato

Frequenze più alte  lunghezze d'onde inferiori

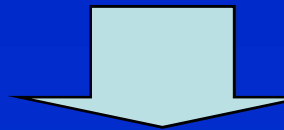


Visualizzazione dei dettagli più fini (elevata risoluzione)



Comporta

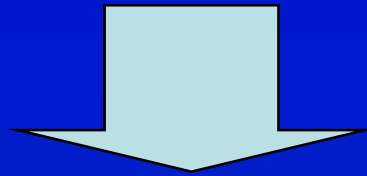
>> è la frequenza >> assorbimento dell'onda da parte del corpo



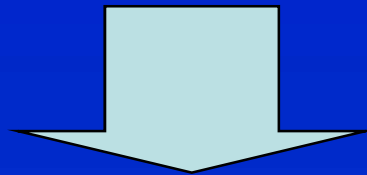
Pertanto

Le riflessioni provenienti da profondità maggiori all'interno del corpo  vengono perse

TRASDUTTORE (dispositivo che trasforma un impulso elettrico in impulso sonoro)

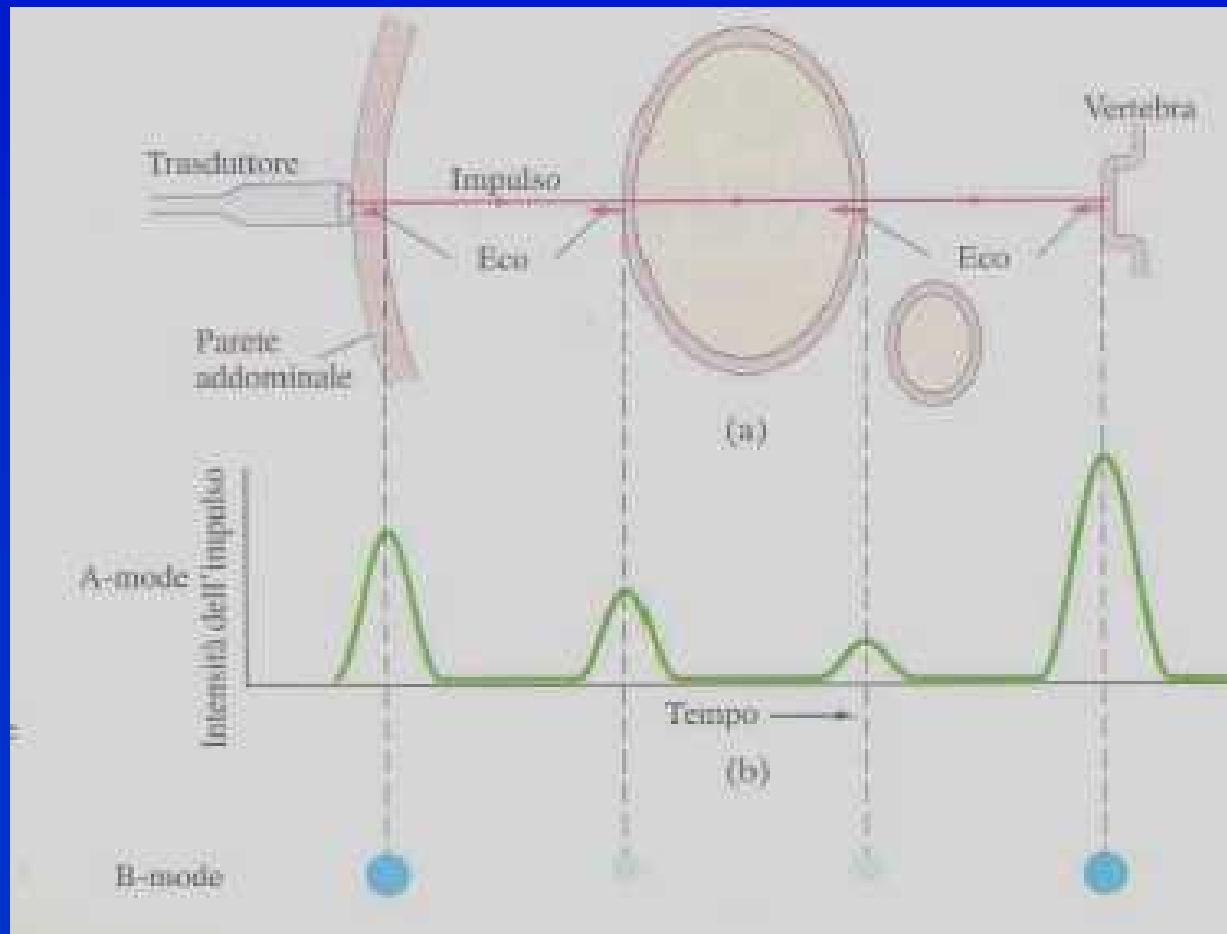


Invia un breve impulso ultrasonico



Parte dell'impulso è riflesso dalle varie superfici e interfacce presenti nel corpo e parte prosegue.

L'impulso riflesso viene rivelato dallo stesso trasduttore
trasforma gli impulsi sono in impulsi elettrici
IMMAGINE VISUALIZZATA SU MONITOR



Il tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso e la rivelazione dell'impulso riflesso (ECO) è proporzionale alla distanza della superficie riflettente.

Ad es. distanza tra trasduttore e tessuto : 25 cm

L'impulso compie un viaggio di andata e ritorno : 50 cm

Il tempo impiegato è

$$t = \frac{d}{v} = \frac{0.50 \text{ m}}{1540 \text{ m/s}} = 3.2 \times 10^{-4} \text{ s} = 320 \mu\text{s}$$

GLI ULTRASUONI SONO RADIAZIONI MECCANICHE NON IONIZZANTI.

Tali radiazioni vengono generate dalle proprietà piezoelettriche di alcune ceramiche(quarzo) che trasformano una tensione alternata, posta ai capi del cristallo,in un'onda acustica di pressione.

Gli ultrasuoni sono *oscillazioni di pressione* con frequenze superiori a 20 KHz.

Quando un fascio ultrasonoro penetra nella materia,in particolare nel corpo umano,incontra diversi strati di tessuto,ognuno caratterizzato da una propria massa specifica e da una diversa velocità di propagazione del suono.

Ogni organo si comporta in maniera diversa rispetto agli ultrasuoni, perchè diversa è l'impedenza acustica.

Come per qualsiasi onda meccanica che si propaghi in un mezzo, anche gli Ultrasuoni subiscono una diminuzione dell'intensità lungo il percorso attraverso il corpo umano e tale attenuazione è attribuibile :

- alle condizioni geometriche del contorno (fenomeni di *riflessione, diffusione, rifrazione*).
- fenomeni dissipativi (*assorbimento*).

La propagazione di un'onda implica una propagazione di energia.

La rapidità con cui viene trasferita energia viene espressa come **INTENSITA'**.

L'Intensità è la quantità di energia trasportata nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie.

Poiché il rapporto energia/tempo rappresenta una **POTENZA**, l'Intensità è anche uguale al rapporto fra potenza emessa e superficie:

$$I = P/A = \text{POTENZA}/\text{SUPERFICIE} = \text{W}/\text{cm}^2$$

Essendo nota la possibilità che si verifichino effetti collaterali maneggiando alte intensità, ci si propone qui di capire se si debba temere il verificarsi di alcuni effetti anche utilizzando range diagnostici (0.001-1 W/cm²).

**VALORI TIPICI DI ALCUNI PARAMETRI UTILIZZATI
NELL'APPLICAZIONE DEGLI ULTRASUONI IN CAMPO MEDICO.**

	Frequenza(MHz)	Potenza (Watt)	Intensità massima(Watt/cm ²)
Pulse Echo	1-20	0.05	1.75
Doppler PW	1-20	0.15 (x 3)	15.7 (x 9)

Vari esperimenti sono stati condotti per determinare quali siano le condizioni non a rischio per la salute umana in termini di Intensità,Frequenza e Durata dell'esposizione (*concetto di SOGLIA*).

Nell'analisi dei meccanismi di danneggiamento fisico distinguiamo:

- effetti termici (riscaldamento)
- effetti non termici (cavitazione stabile e/o transitoria,effetto delle onde stazionarie,effetti non lineari).

E' sbagliata quindi l'accettazione incondizionata all'uso degli Ultrasuoni.

- EFFETTI SULLA SALUTE
- - EFFETTI EXTRAUDITIVI
PSICOSOMATICI (effetto
- accumulo)
- - EFFETTI GENERALI DI DISTURBO
- - EFFETTI SULLA CUTE