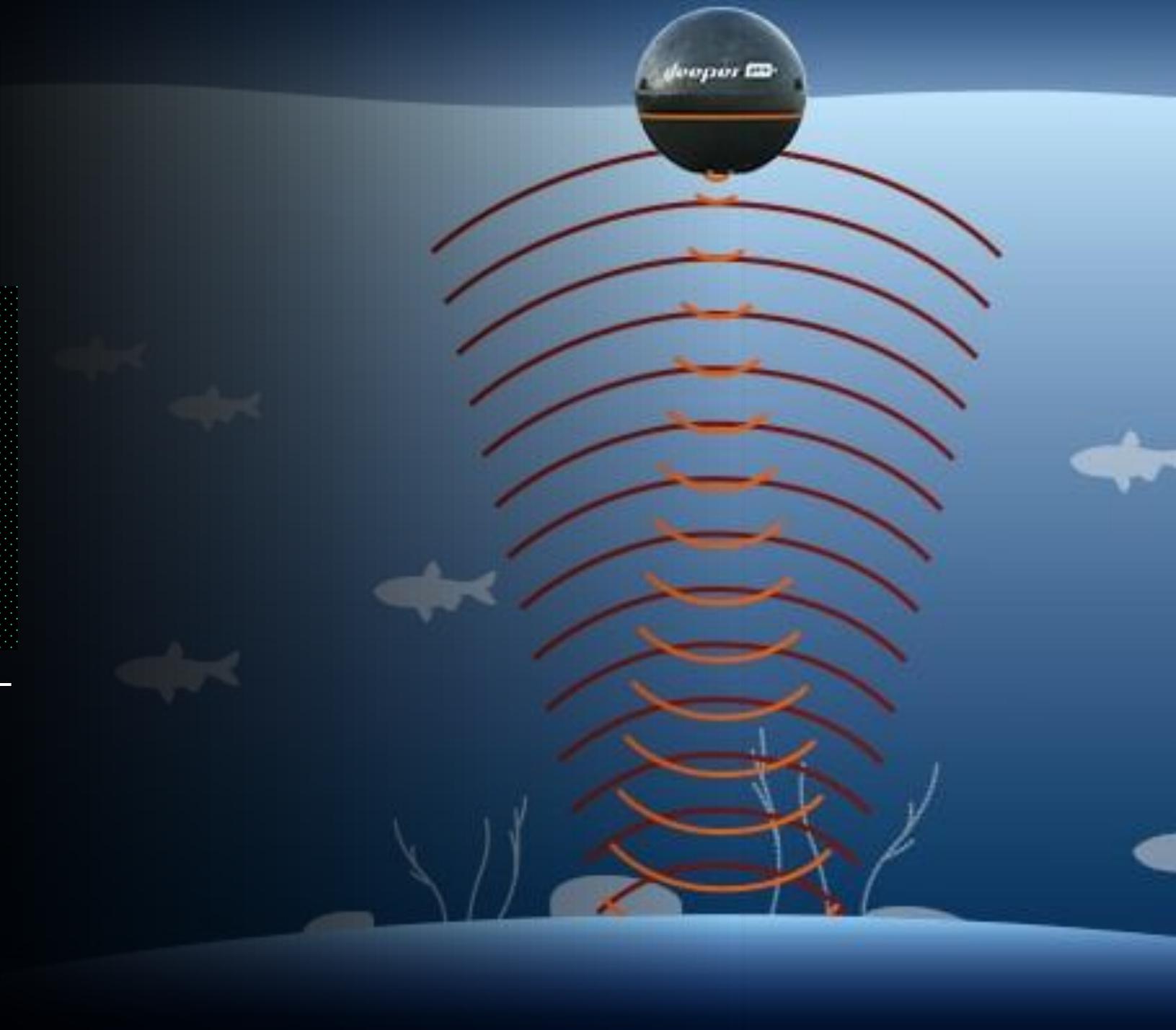


# CONCETTI DI FISICA DEGLI ULTRASUONI

Dott. Francesco Scaravelli  
Radiologo, Pediatra  
Ospedale Valduce, Como



# ECOGRAFIA

- **E' una tecnica che si basa sull'impiego di onde acustiche appartenenti alla banda degli ultrasuoni**
- **queste onde vengono riflesse dalle strutture del corpo umano in maniera caratteristica e diversa a seconda della loro composizione**



# ECOGRAFIA

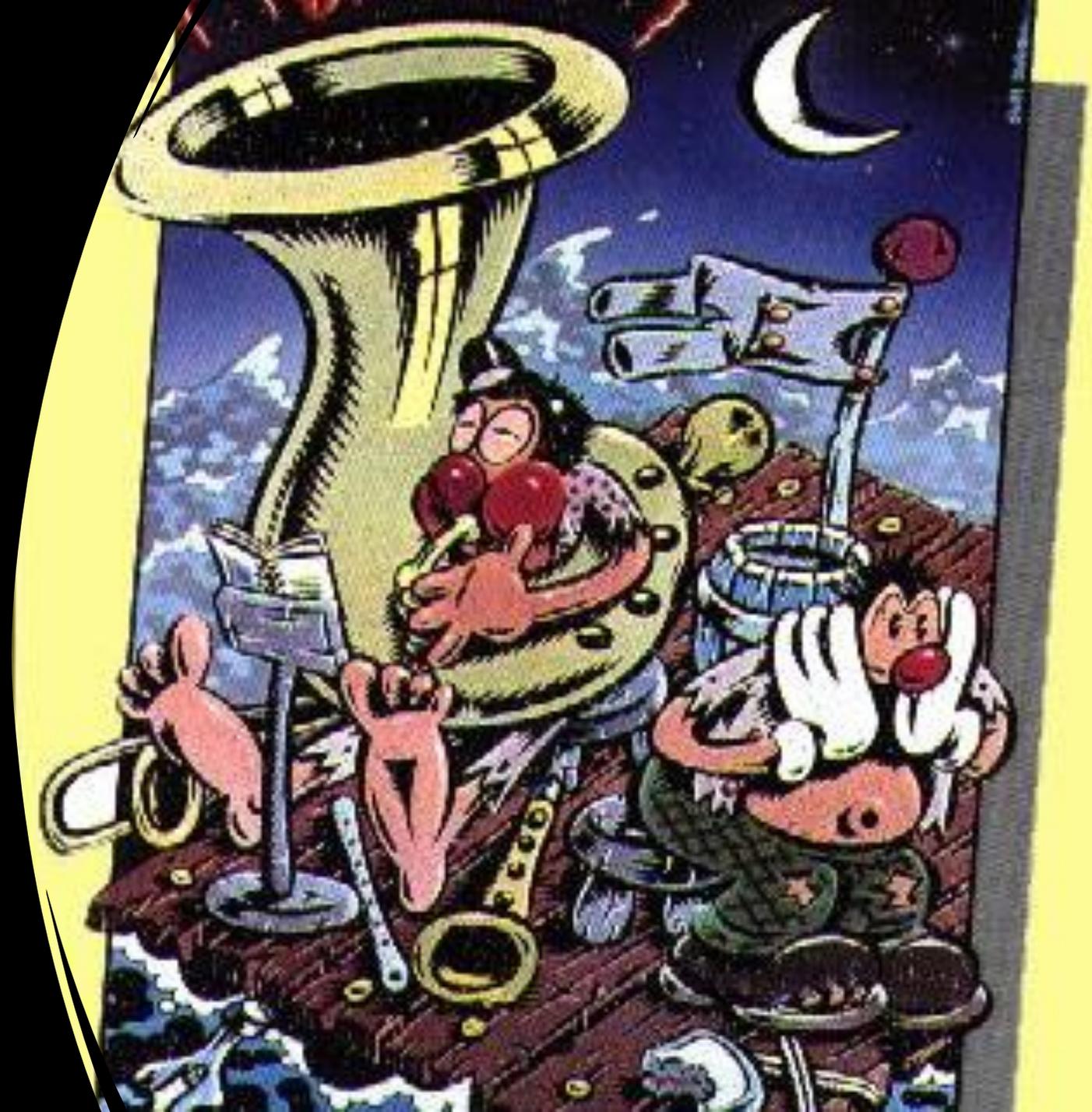
- non fa uso di radiazioni ionizzanti
- e' una tecnica semplice non invasiva
- e' una tecnica a basso costo
- consente uno studio morfologico, dinamico e funzionale



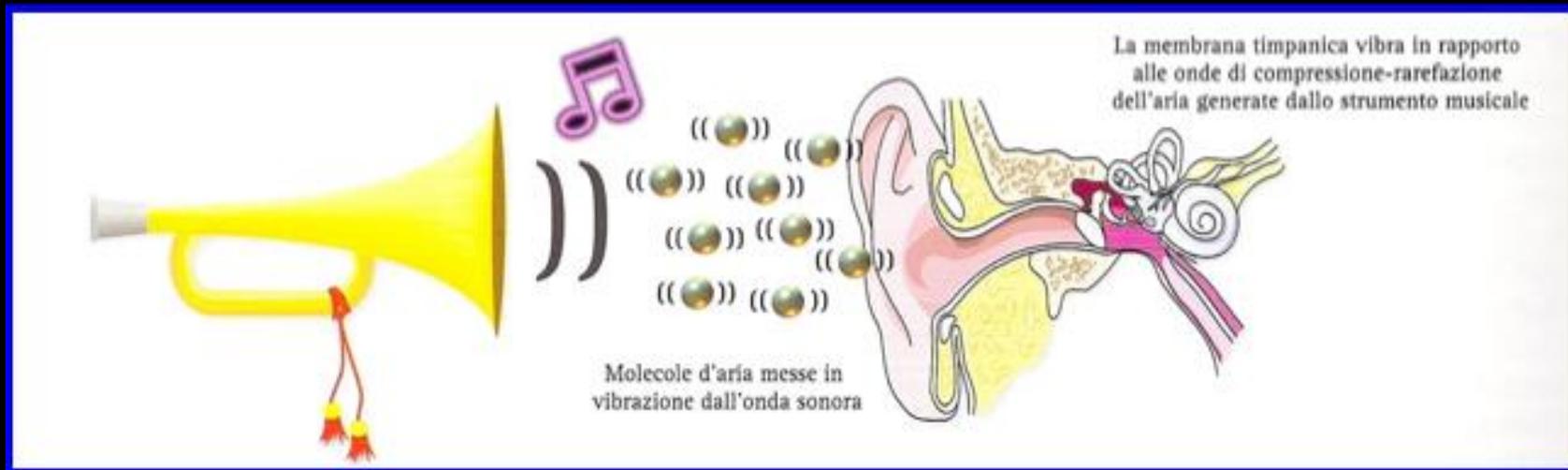
# Natura del suono

---

- Il suono è la propagazione dell'energia nella materia attraverso un'onda meccanica, costituita dalla vibrazione delle particelle che compongono il mezzo attraversato

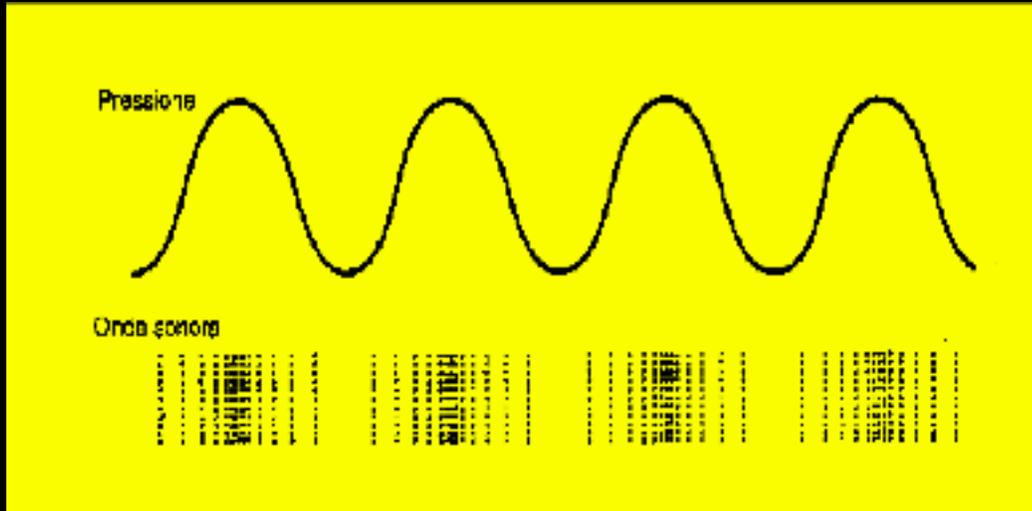
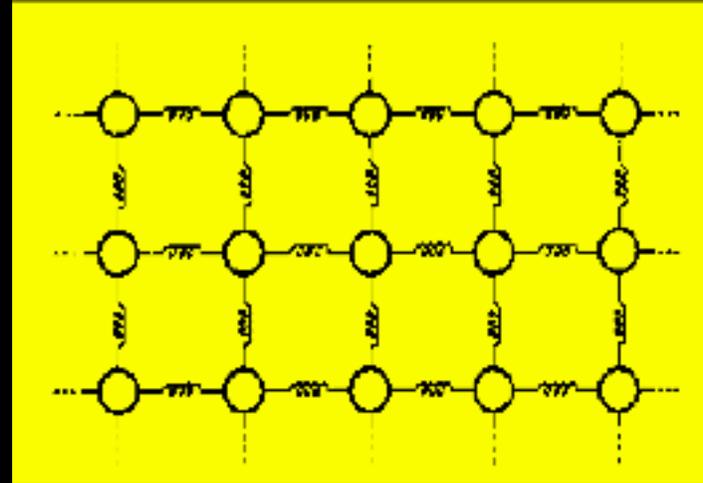


# Percezione del suono



**Il suono prodotto da uno strumento musicale viene percepito come “suono” perché le vibrazioni delle molecole d’aria generano un’onda meccanica che raggiunge l’orecchio, fa vibrare il timpano, la catena degli ossicini, il liquido del condotto uditivo ed i recettori ciliari, da cui parte l’impulso nervoso.**

# Organizzazione della materia



Ciò che le orecchie umane percepiscono come suono è la modificazione pressoria a livello dei timpani, generata dalle onde meccaniche, trasmesse attraverso l'aria

Niente  
suono nel  
vuoto!

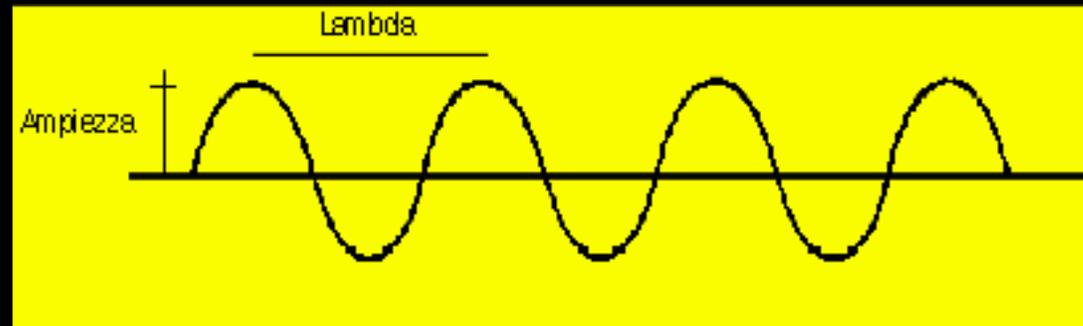
---

Assenza di molecole da  
spostare



# Caratteristica dell'onda sonora

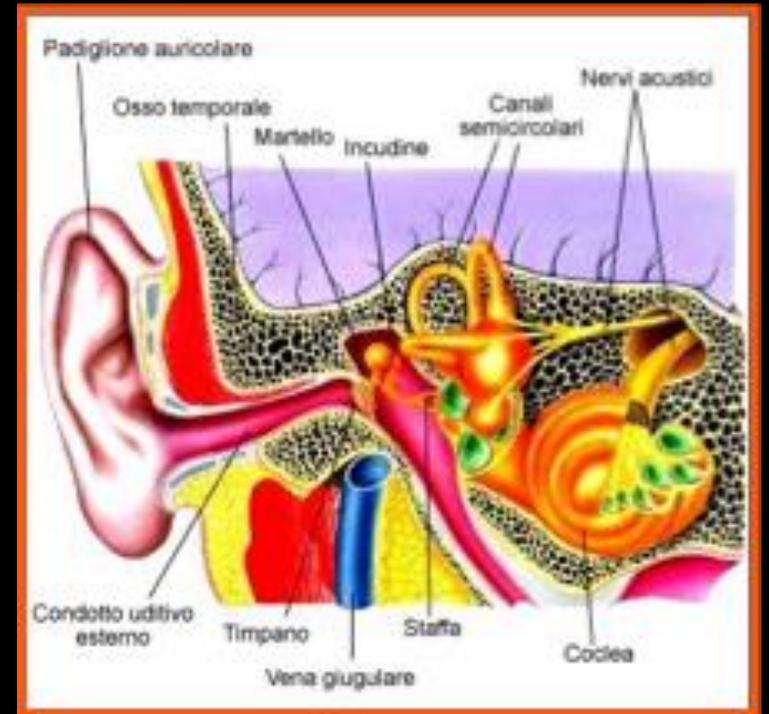
- **Frequenza (f)**: numero di onde che passa per un punto in un secondo (unita di misura: Hertz (Hz) = 1 ciclo al secondo; un milione di HZ = 1 MHz)
- **Lunghezza d'onda ( $\lambda$ )**: distanza fra i due punti più vicini dell'onda aventi la stessa fase
- **Periodo (t)**: tempo necessario all'onda per percorrere la distanza di una lunghezza d'onda
- **Ampiezza (a)**: massimo spostamento delle molecole rispetto alla loro posizione d'equilibrio
- **Velocità di propagazione (v)** : dipende dalla densità ed elasticità del mezzo, mantenendosi costante nello stesso mezzo



$$v = f \times \lambda$$

# Caratteristica dell'onda ultrasonora

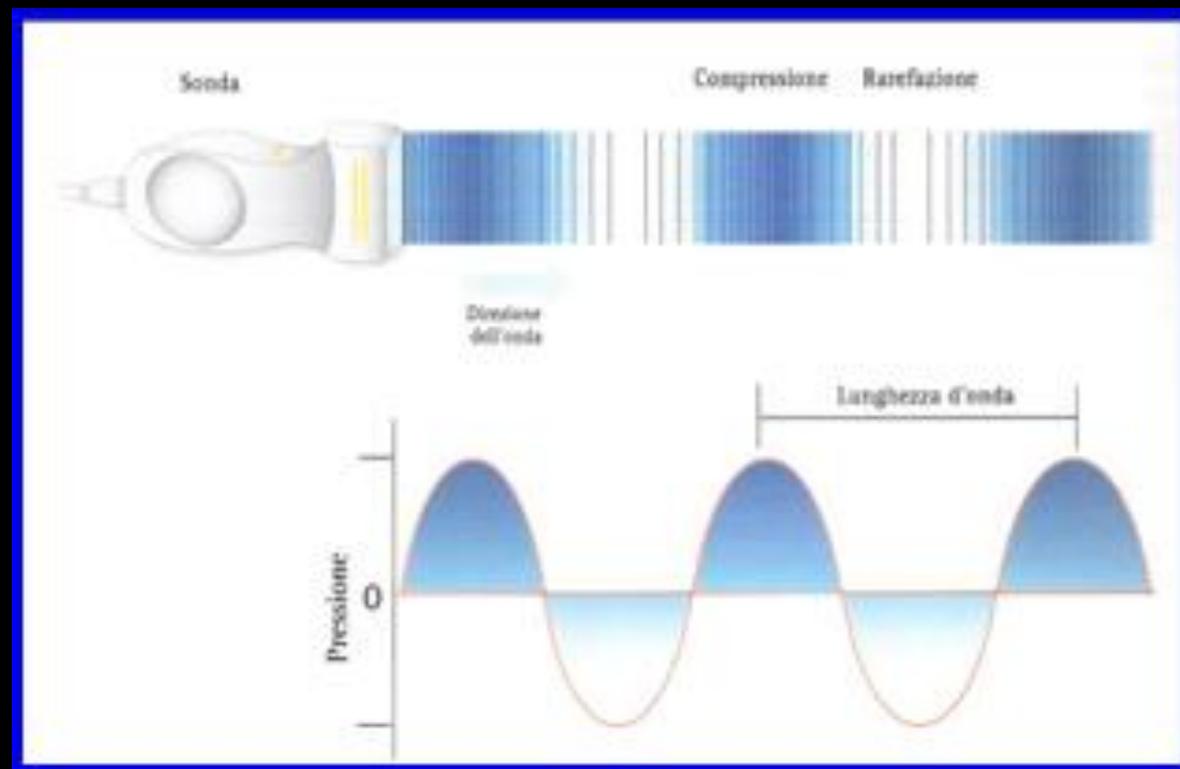
- L'orecchio umano è in grado di percepire frequenze comprese tra 16 e 20.000 cicli/sec. Gli US, per definizione, sono al di là del range udibile e, quindi, hanno una frequenza superiore a 20.000 Hz.
- *Le vibrazioni ultrasonore, a differenza di quelle udibili, hanno la proprietà di propagarsi attraverso i materiali elastici (in particolare attraverso i solidi ed i liquidi) in fasci ben delimitati, come la luce, tanto meglio quanto più elevata è la frequenza. Ciò avviene perché la lunghezza d'onda degli US è molto più piccola di quella dei suoni. Se a 10.000 Hz è dell'ordine dei metri, ad un MHz è dell'ordine dei millimetri.*



# Caratteristiche dell'onda ultrasonora

- Se, come usualmente si verifica nei tessuti biologici, la velocità acustica nel mezzo attraversato è costante, all'aumentare della frequenza la lunghezza d'onda diminuisce in maniera direttamente proporzionale.
- *La lunghezza d'onda è di estrema importanza, poiché da essa dipende il limite teorico di risoluzione del sistema di imaging: due strutture che siano tra loro più vicine del valore di lunghezza d'onda non verranno riconosciute come due entità separate all'esame ecografico.*

$$v = f \times \lambda$$



# Velocità acustica in tessuti diversi

Dipende dalla densità molecolare e dalla compressibilità del tessuto

- Aria 330 m/sec
- Grasso 1450 m/sec
- Acqua 1480 m/sec
- Encefalo 1540 m/sec
- Fegato 1550 m/sec
- Rene 1550 m/sec
- Sangue 1570 m/sec
- Muscolo 1580 m/sec
- Osso 4080 m/sec



**Se la velocità acustica nel materiale attraversato è costante, all'aumentare della frequenza la lunghezza d'onda diminuisce (quindi la risoluzione spaziale migliora)**

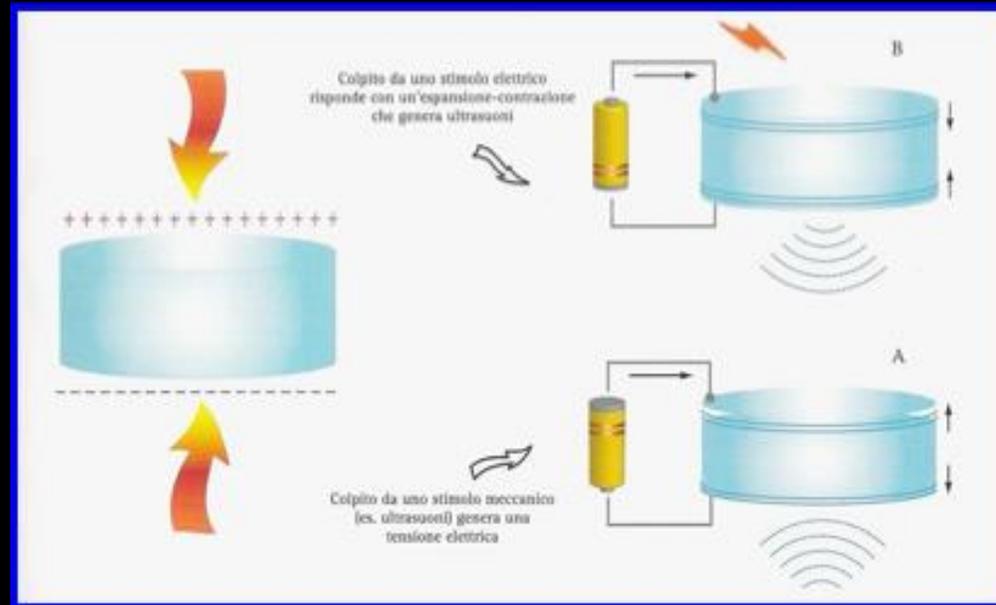
# Principi di fisica degli ultrasuoni

- ❖ Per generare gli ultrasuoni sono usati dei **materiali piezoelettrici** (cristalli naturali di quarzo, ceramiche artificiali o polimeri plastici)
- ❖ questi sono *in grado di trasformare l'energia elettrica in energia meccanica e viceversa.*
- ❖ questa trasformazione *permette di generare un campo elettrico misurabile.*

# ULTRASUONI

- **Effetto piezoelettrico:**  
produzione di una differenza di potenziale quando un cristallo viene compresso

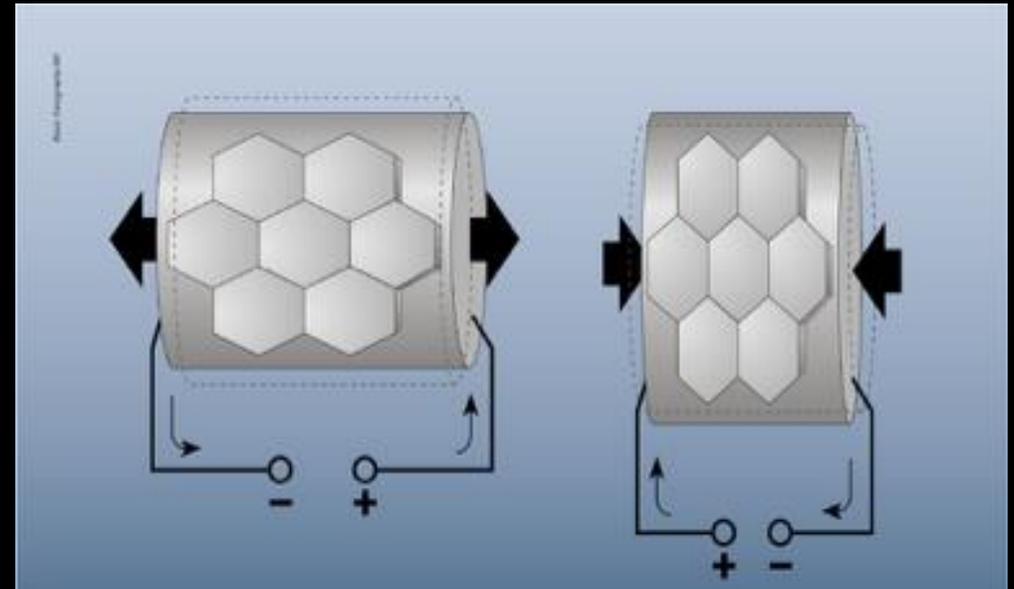
*Fratelli Curie 1870*



**Effetto piezoelettrico inverso:** compressione o espansione di un cristallo causata dall'applicazione di un certo voltaggio.

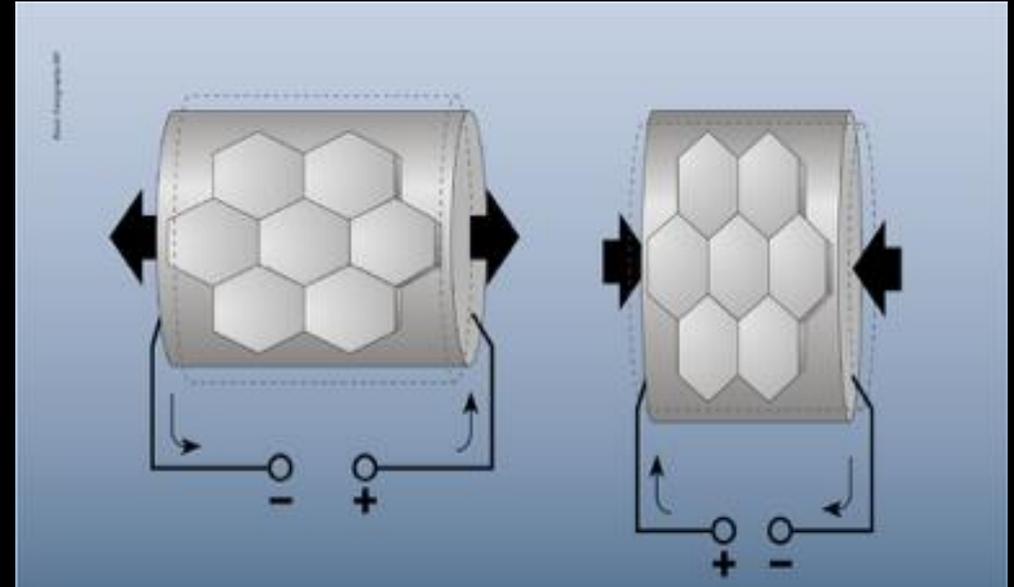
# Principi di fisica degli ultrasuoni

- Quando al cristallo di quarzo viene applicata una corrente elettrica con polarità che cambia rapidamente (energia elettrica), **questo cambia continuamente forma**, divenendo prima spesso e poi sottile.

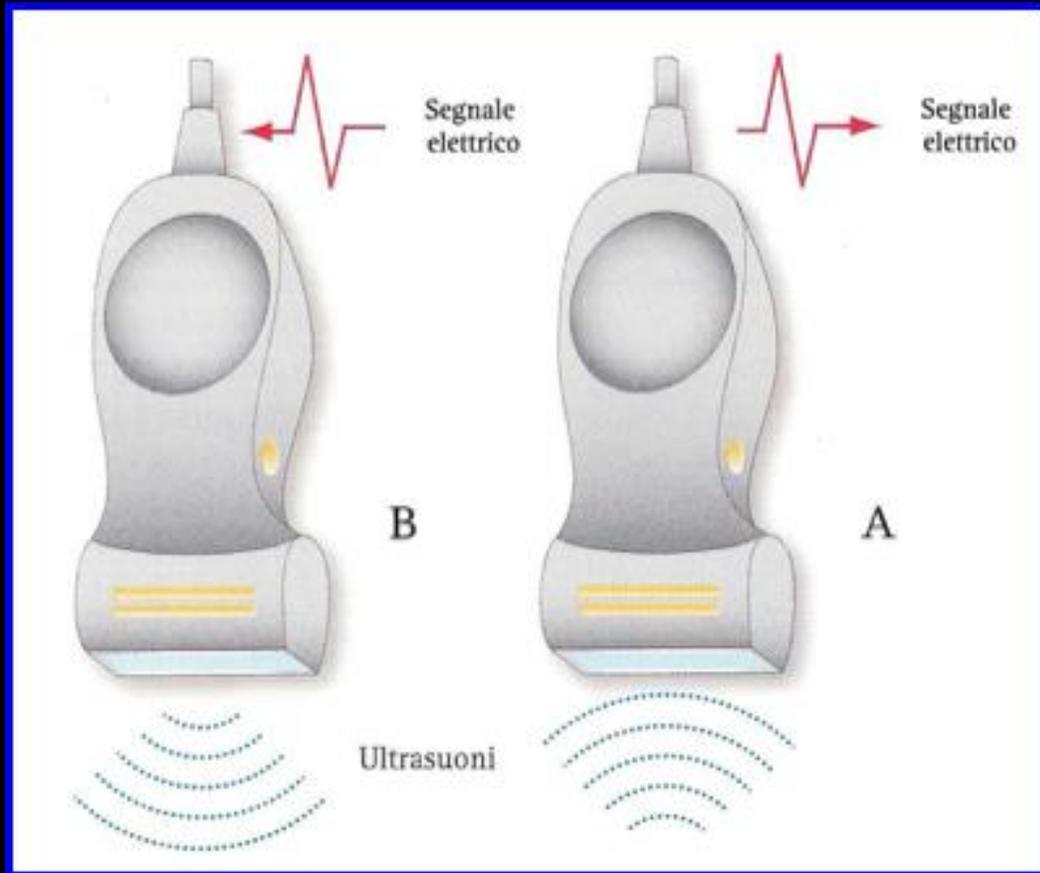


# Principi di fisica degli ultrasuoni

- Questi **continui cambiamenti di forma generano delle vibrazioni** che danno origine agli ultrasuoni (energia meccanica)
- Quando gli ultrasuoni di ritorno colpiscono il cristallo di quarzo questo **trasformerà l'energia meccanica in energia elettrica** (effetto piezoelettrico)



# Effetto piezoelettrico



**I cristalli piezoelettrici sono in grado di rispondere fedelmente all'applicazione di impulsi elettrici generando onde ultrasonore e, viceversa, di convertire onde ultrasonore in impulsi elettrici.**

# Il fascio ultrasonoro

- Il fascio ultrasonoro può essere descritto come un “pennello”.
- In effetti, i peli di questo pennello **tendono ad allargarsi poco dopo essere fuoriusciti dalla sonda**.
- Essi restano paralleli fra loro solo per un breve tratto: **il fascio resta coerente (cioè, con diametro pari a quello del cristallo) fino ad una distanza che è proporzionale al diametro del cristallo**.
- Il tratto nel quale il fascio è coerente viene detto “zona di Fresnel”; quello successivo, “zona di Fraunhofer”.

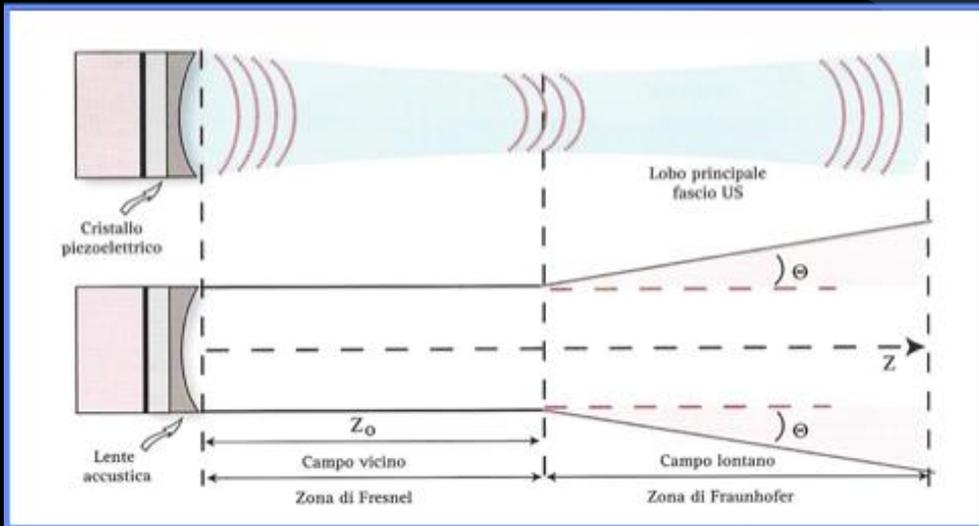


# Morfologia del fascio ultrasonoro

- La **zona di Fresnel** ha un diametro costante ed è caratterizzata da un percorso lineare delle onde sonore; *maggiore è la sua lunghezza, migliori sono le caratteristiche del fascio.*

La lunghezza della zona di Fresnel è direttamente proporzionale al diametro del cristallo ed alla frequenza (quindi inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda).

- Nella **zona di Fraunhofer** le onde sonore assumono un percorso divergente, con conseguente rapido decadimento del potere informativo del fascio US.



# interazione degli ultrasuoni con i tessuti

- Propagazione delle onde
  - Quando un'onda ultrasonora **attraversa un corpo**, una parte dell'energia trasportata è **assorbita** dal mezzo
  - Quando **incontra un'interfaccia** tra due elementi di diversa struttura, viene in parte **riflessa** ed in parte **rifratta**
  - La componente riflessa in particolare, dà luogo agli echi di ritorno che vengono captati dalla sonda ecografica
  - Il principio che determina il funzionamento degli apparecchi ecografici è quindi quello della formazione di echi riflessi

# Interazione degli ultrasuoni con i tessuti

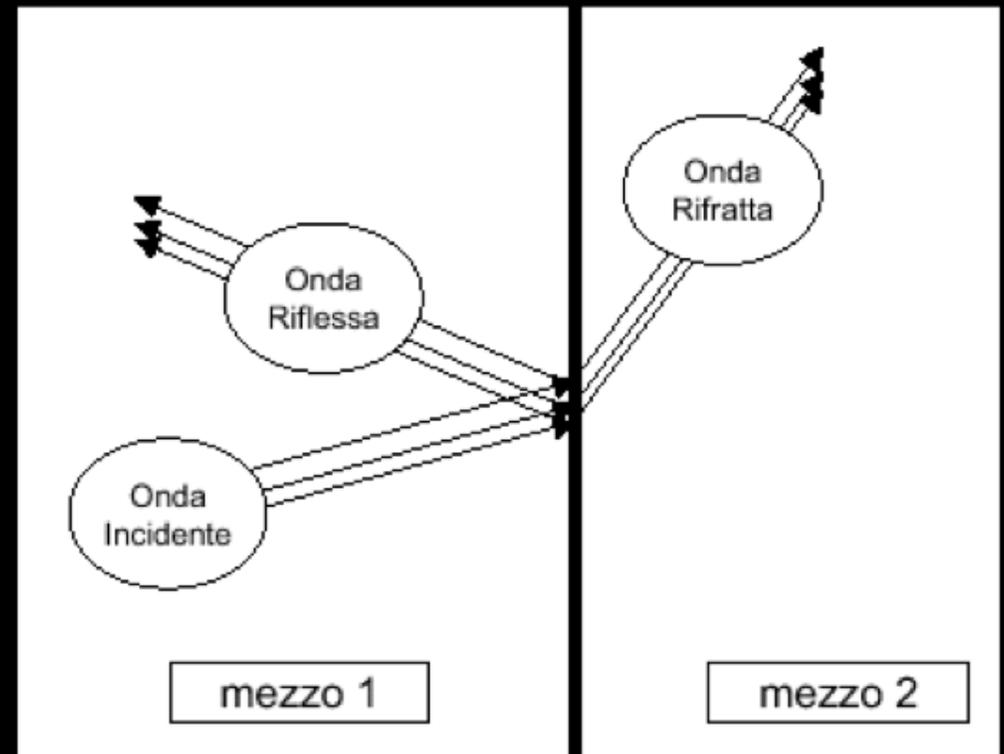
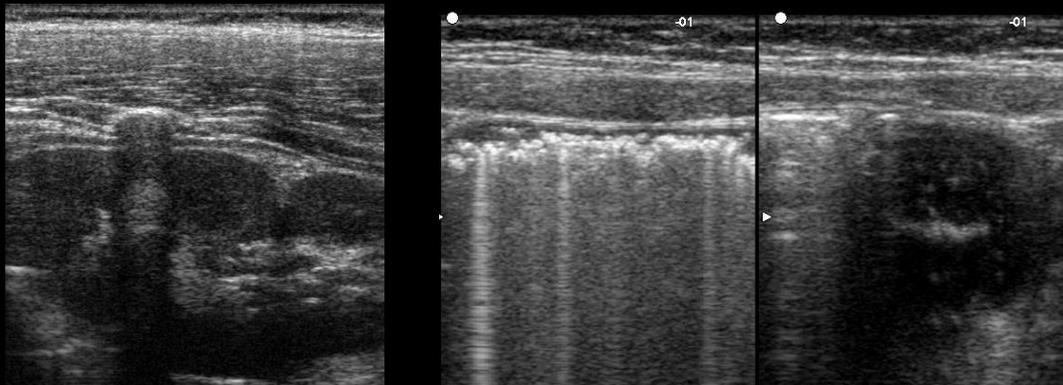
- Riflessione
- Assorbimento
- Rifrazione
- diffusione

L'insieme di questi fenomeni determina la progressiva diminuzione dell'intensità del fascio US (**Attenuazione**); più alta è la frequenza, tanto più rapida è l'attenuazione del fascio US nei tessuti.

# Interazione degli ultrasuoni con i tessuti

- RIFLESSIONE

Un impulso sonoro viene riflesso (con formazione di un eco) ogni volta che esso passa da un tessuto con una certa impedenza acustica ad un altro di **impedenza acustica** diversa.

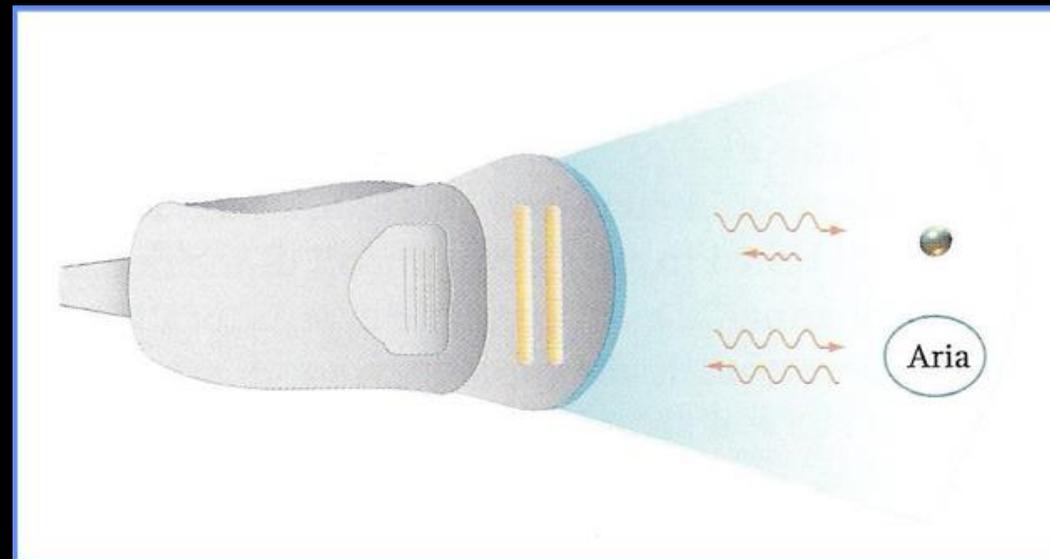


# Impedenza acustica

- L'impedenza acustica esprime la resistenza che una struttura offre al passaggio degli US e viene calcolata come prodotto della densità della struttura per la velocità del suono al suo interno.
- Quando due tessuti di diversa impedenza acustica si trovano a contatto si viene a creare una interfaccia acustica, responsabile del fenomeno della riflessione.

<b>aria</b>	<b>0.0004</b>
<b>grasso</b>	<b>1.38</b>
<b>acqua</b>	<b>1.48</b>
<b>sangue</b>	<b>1.61</b>
<b>reni</b>	<b>1.62</b>
<b>fegato</b>	<b>1.65</b>
<b>muscolo</b>	<b>1.70</b>
<b>osso</b>	<b>7.80</b>

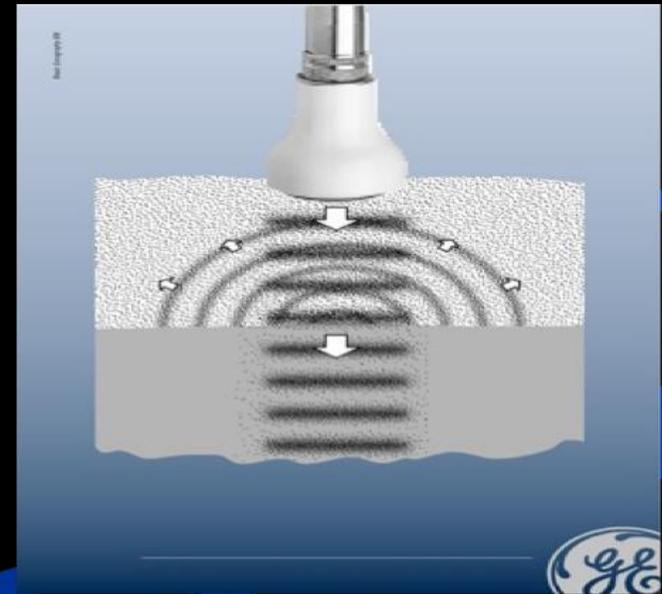
INTERFACCIA	Coeff. Di riflessione
Aria-tessuto molle	99.9%
Tessuto molle-polmone	52%
Tessuto molle-osso	43%
Tessuto molle-grasso	0.69%
Tessuto molle-muscolo	0.04%



# riflessione

la % di riflessione è direttamente  
proporzionale alla frequenza e alla  
impedenza dei tessuti

La parte dell'onda meccanica riflessa  
provoca un'onda di  
ritorno mentre la parte rimanente viene  
trasmessa.



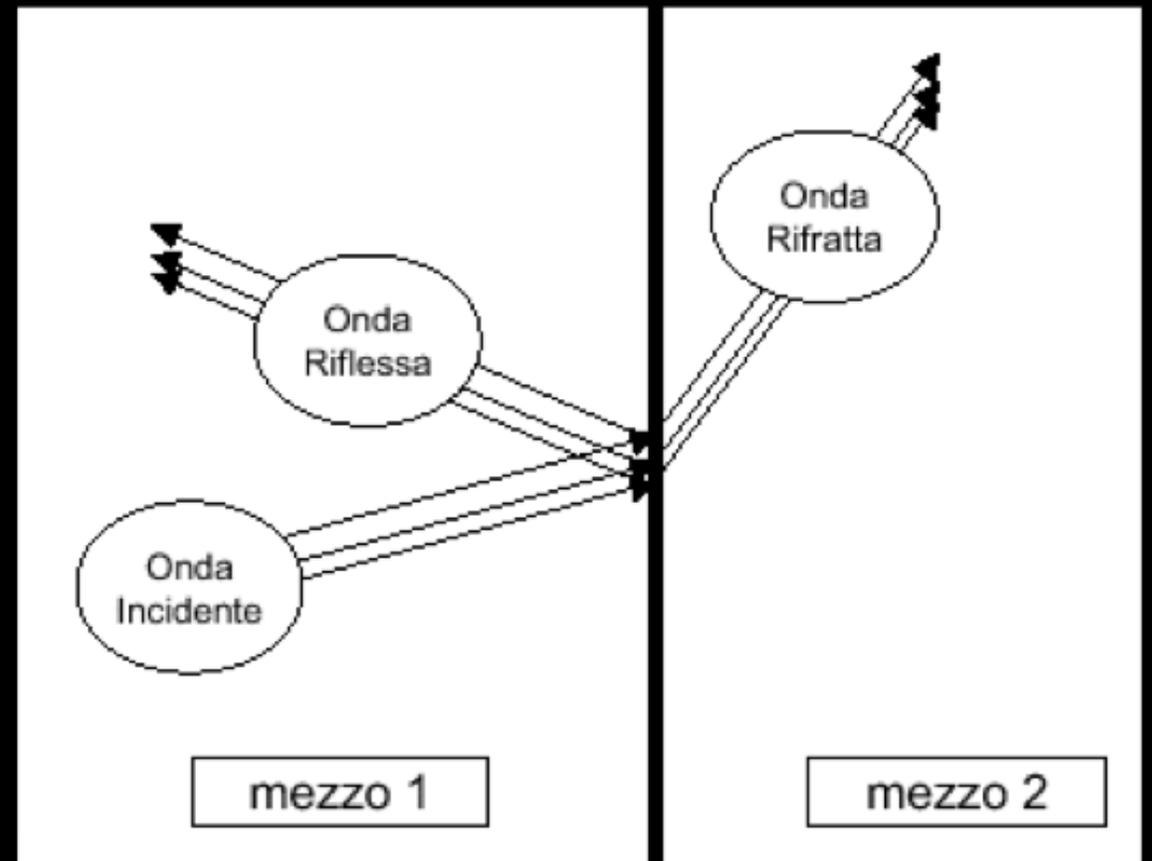
alla base dell'elevato coefficiente di riflessione dell'aria rispetto ai tessuti da esplorare , in ecografia abbiamo la necessità di usare il "GEL" , soluzione di acqua e sali, che permette di ovviare a questo problema



# Interazione degli ultrasuoni con i tessuti

- RIFRAZIONE

Quando l'onda incontra la **superficie di separazione** tra due mezzi aventi **impedenza acustica diversa**, parte dell'onda continua a propagarsi nel secondo mezzo con una **direzione diversa** da quella dell'onda incidente e prende il nome di **onda rifratta**, un'altra parte invece viene riflessa nel primo mezzo (es cisti in tessuto molle)



Per la legge di Schnell, il fascio trasmesso è deviato verso l'interno, con formazione di una banda priva di echi, bilateralmente, a livello dello spazio posterolaterale della cisti ("ombra acustica laterale").

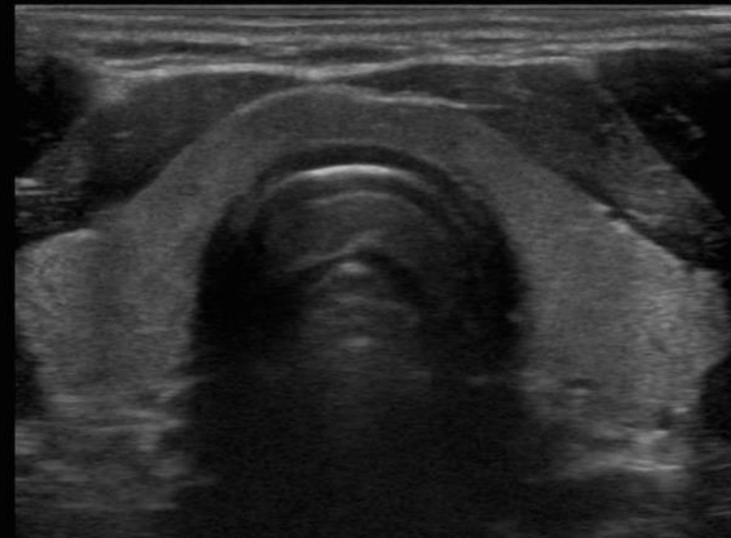
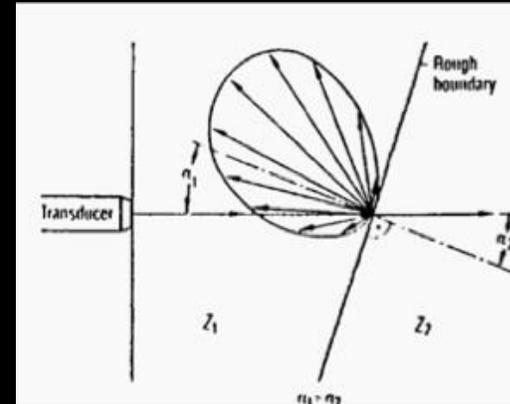


# Interazione degli ultrasuoni con i tessuti

- **DIFFUSIONE**

Nel caso in cui il fascio incida su una miriade di superfici piccole e diverse, queste si comportano come generatori puntiformi di echi di riflesso.

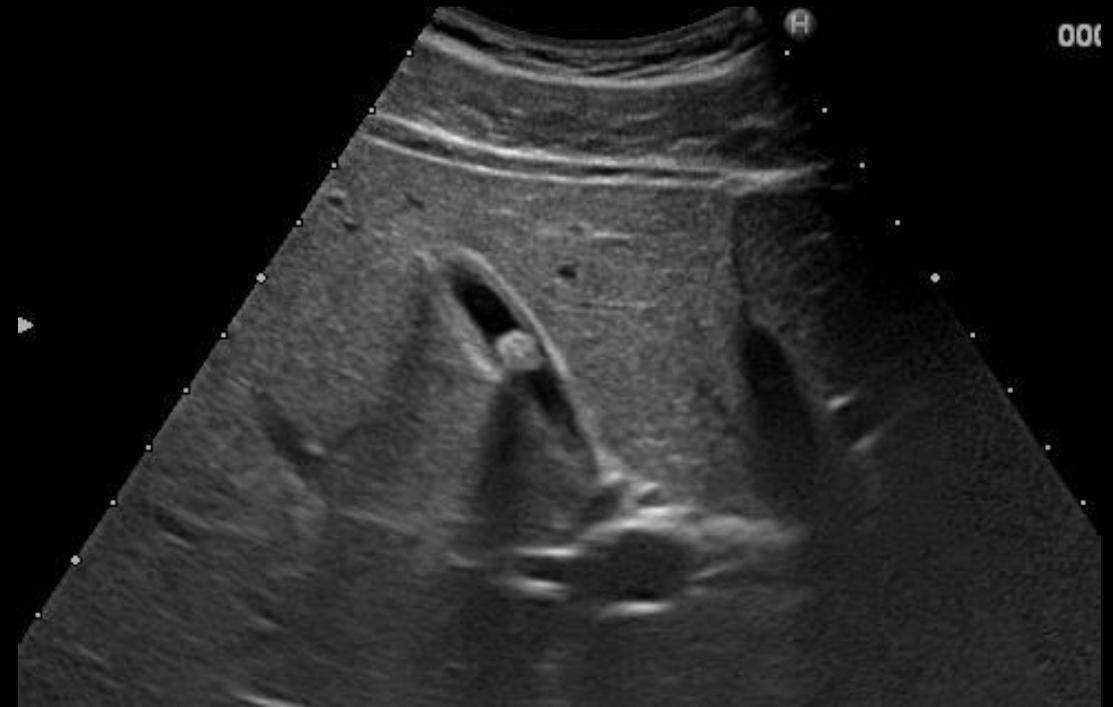
Questo comporta **non** un fascio di ritorno ma una **diffusione** dell'energia in tutte le direzioni (fenomeno dello **Scattering**). L'energia che viene rimandata alla sonda è molto bassa (immagine di parenchima)



# Interazione degli ultrasuoni con i tessuti

- **ASSORBIMENTO**

processo attraverso il quale l'energia ultrasonora è dissipata nel mezzo attraversato e trasformata in calore; tanto più grande quanto più elevata è la frequenza del fascio US.



L'assorbimento, associato alla riflessione, causa la formazione del cosiddetto "cono d'ombra pulito", che si verifica tipicamente in corrispondenza dell'interfaccia tessuto molle/tessuto calcifico (calcoli, ossa).

# Potere risolutivo degli ultrasuoni

Capacità di distinguere come separati due oggetti molto vicini

Dipende da:

- Risoluzione assiale
- Risoluzione laterale

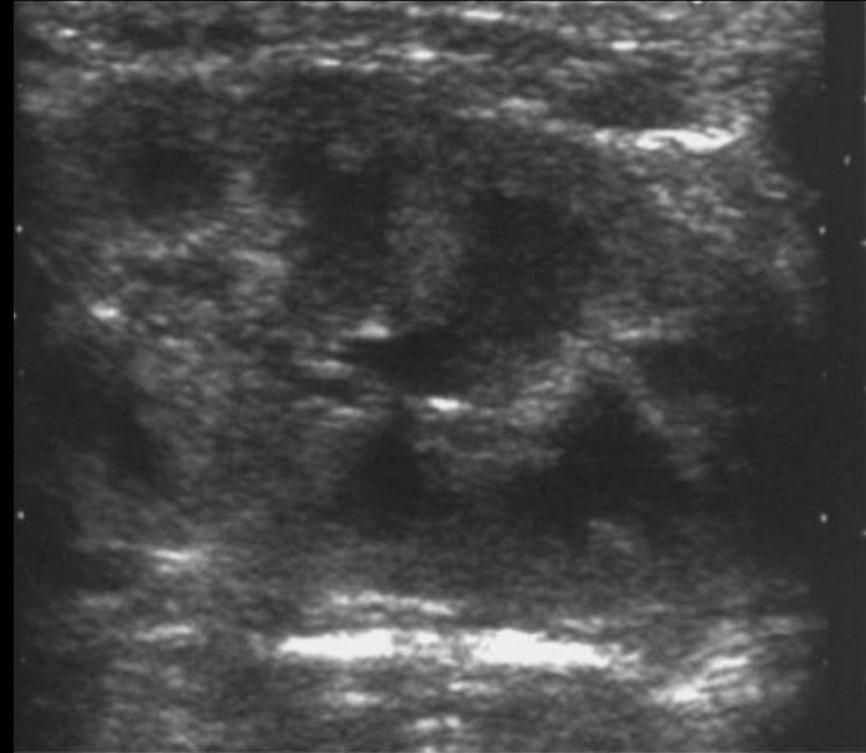
Risoluzione assiale



Risoluzione laterale



- Il potere di risoluzione, sia assiale che laterale, migliora con l'aumento della frequenza del fascio US.
- L'aumento della frequenza accentua l'attenuazione del fascio US nel mezzo, riducendo l'estensione del volume corporeo esplorato in profondità.



# LA SEMEIOTICA ECOGRAFICA

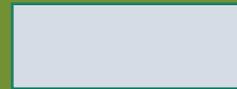
Permette di descrivere i diversi aspetti delle immagini ecografiche, che le strutture, normali o patologiche, possono provocare, quando attraversate dall'onda acustica

- In ecografia gli echi di ritorno possono essere
  - Assenti o numerosissimi
  - Appena percettibili o di alta luminosità
  - Dimensionalmente fini o grossolani
  - Distribuiti in modo omogeneo o grossolano

Una struttura viene definita **ECOGENA** quando è in grado di riflettere (in parte o totalmente) gli ultrasuoni, **ANECOGENA** quando il fascio sonico non viene riflesso

- Viene rappresentata nella scala di grigi come:

- IPERECOGENA



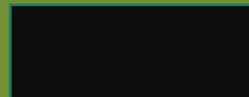
- ISOECOGENA

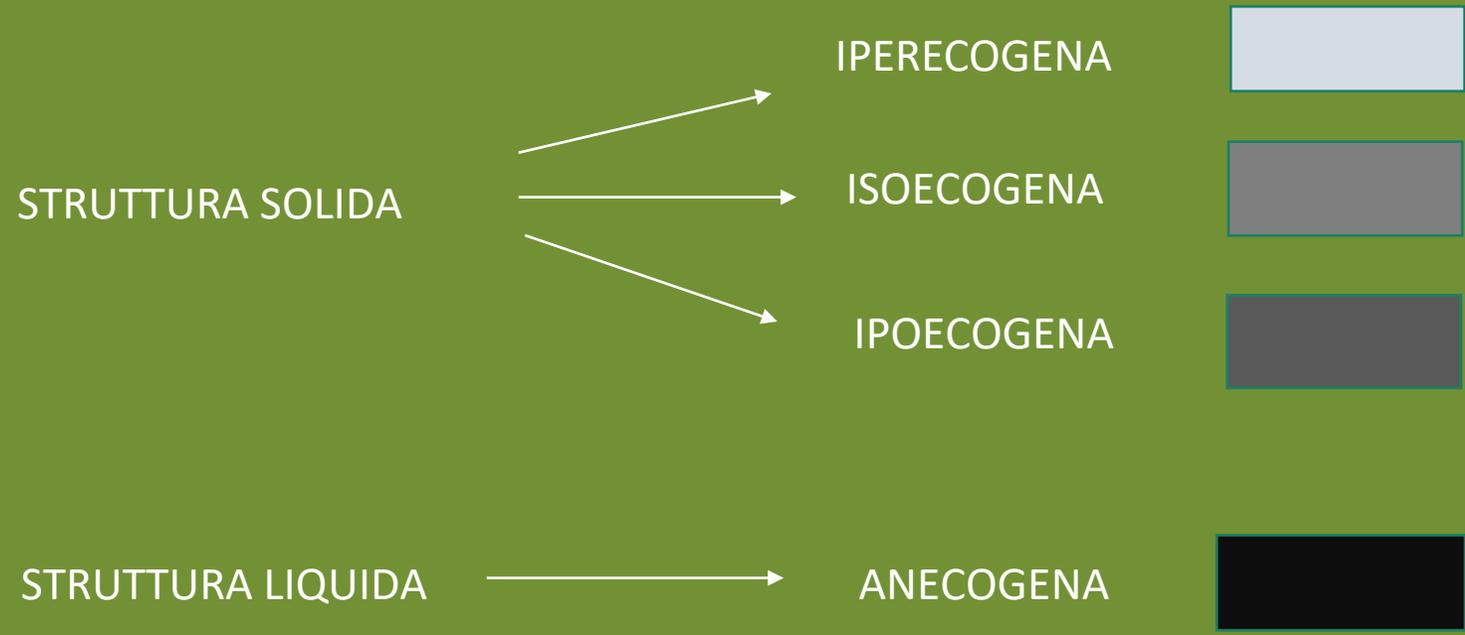


- IPOECOGENA

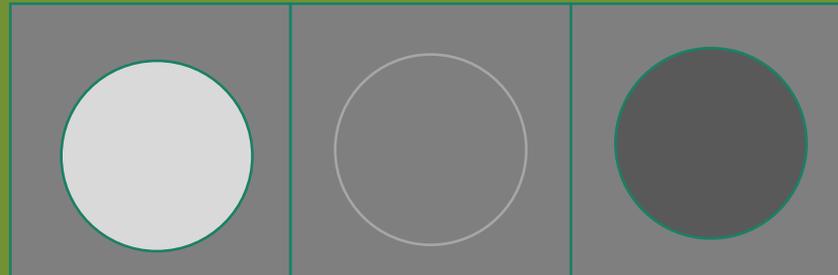


- ANECOGENA





Per definire l'ecogenicità, sarà necessario confrontare la struttura solida con un parametro di riferimento





RELAX  
TIME



# TECNICHE DIAGNOSTICHE IN ECOGRAFIA



# ecografo



- **Trasduttore** che genera fascio di US e riceve echi di ritorno
- **Sistema elettronico** che elabora il segnale
- **Convertitore di scansione**, che digitalizza e memorizza i dati, mentre procede la scansione
- **Sistema di visualizzazione e registrazione** dell'immagine

# Pannello di controllo ecografo

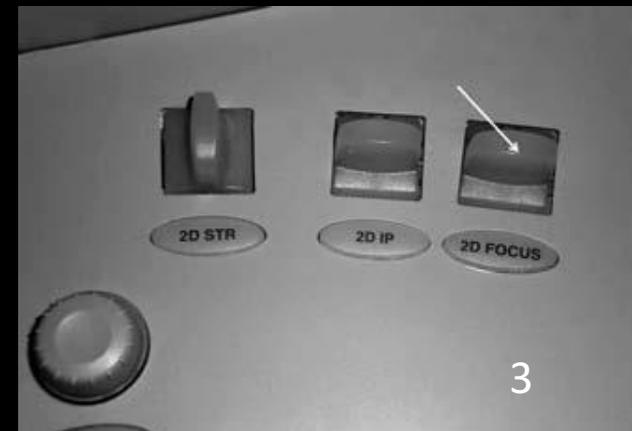
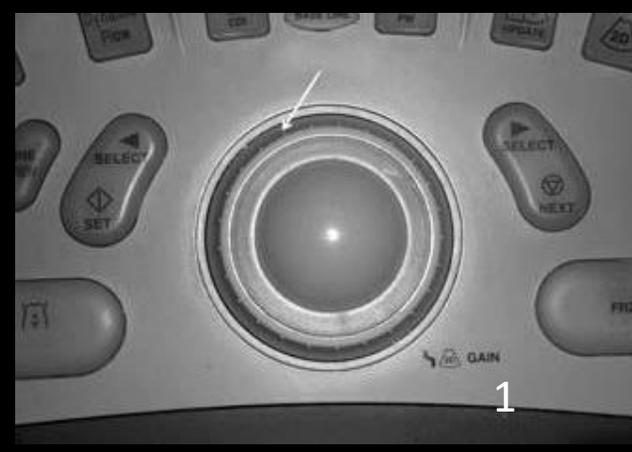
---

Fondamentale per acquisizione di immagini soddisfacenti da parte dell'operatore



# Principale comandi ecografo

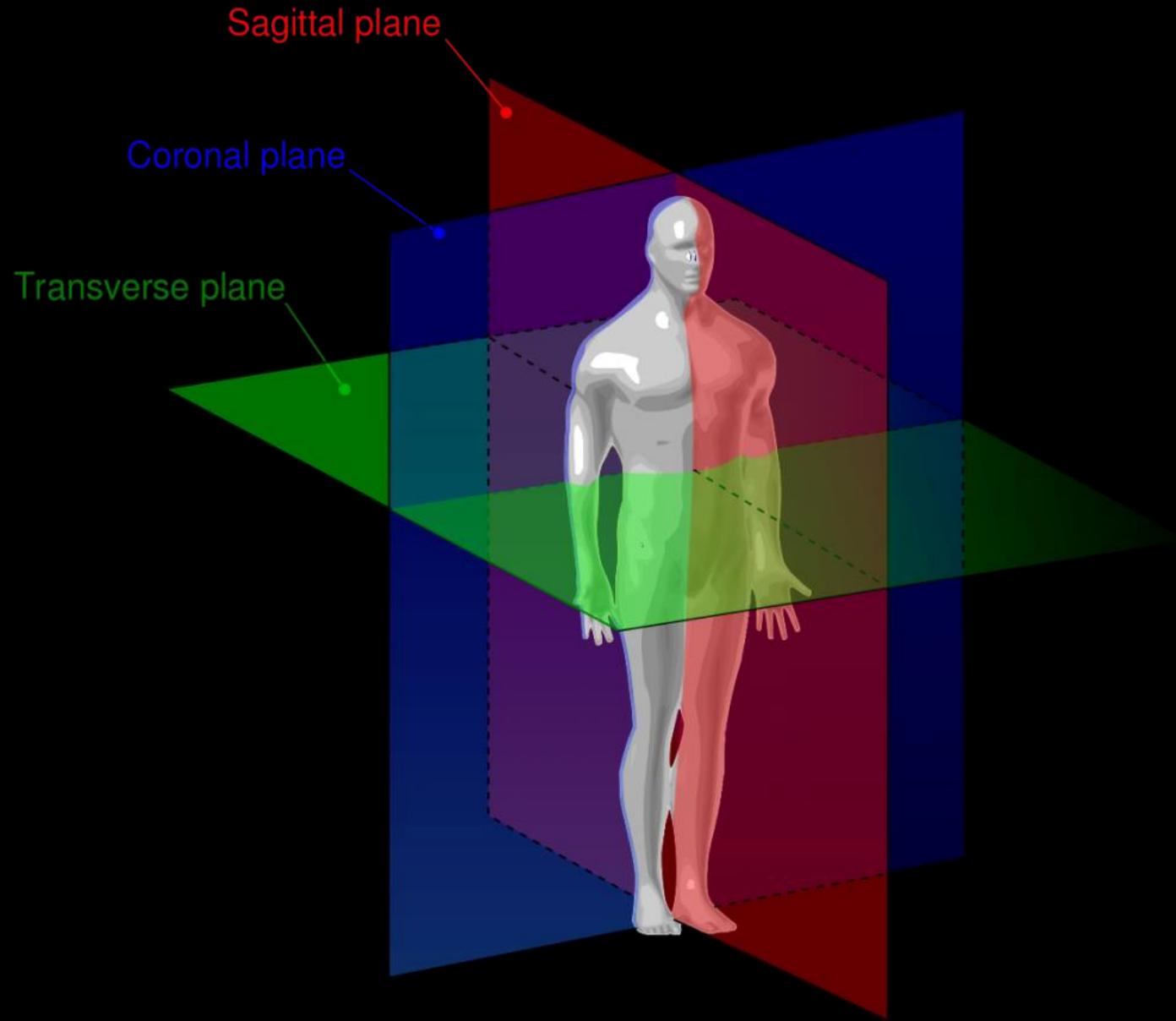
1. **Guadagno globale (gain control).** Incremento e decremento degli echi di ritorno alla macchina
2. **Profondità.** Permette di definire la profondità di scansione
3. **Posizione fuochi.** Permette di ottimizzare la focalizzazione del fascio ultrasonoro
4. **Freezing** . Congelamento dell'immagine sullo schermo, per effettuare misurazioni o stampe
5. **TGC Time Gain Compensation.** Permette di amplificare echi di ritorno a vari livelli di profondità

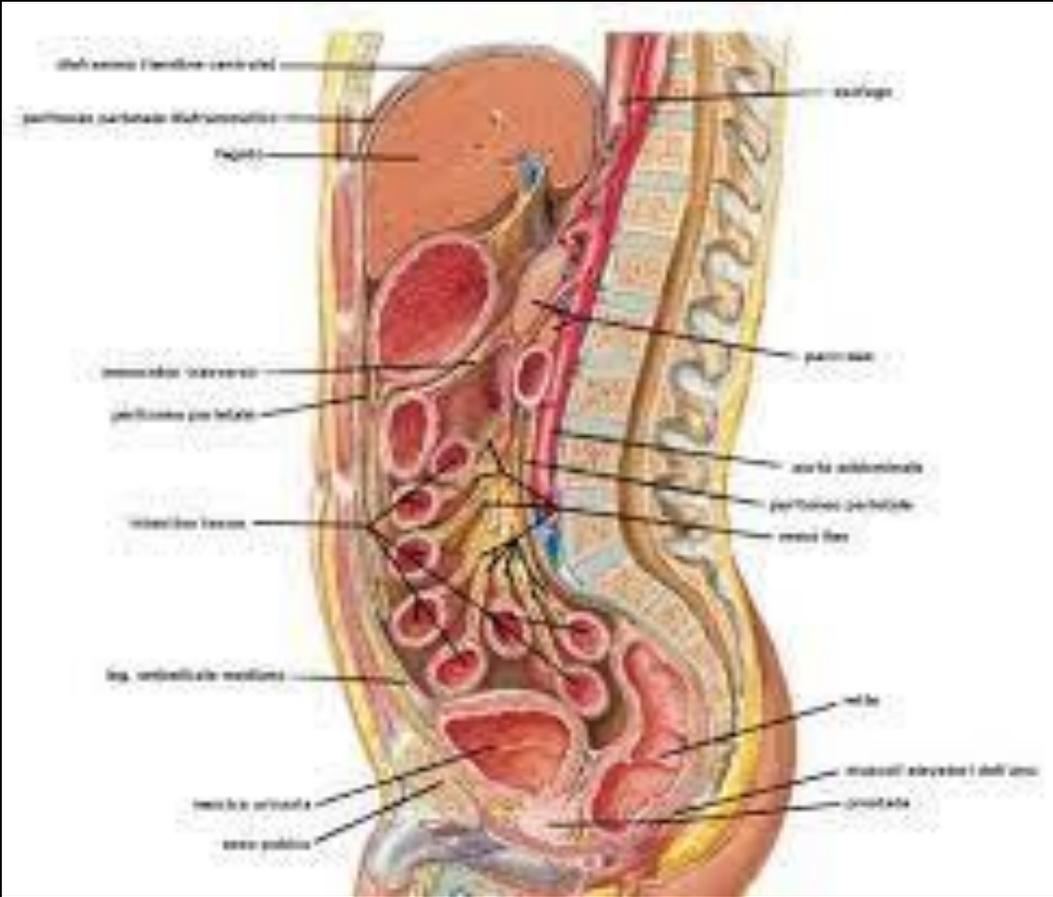


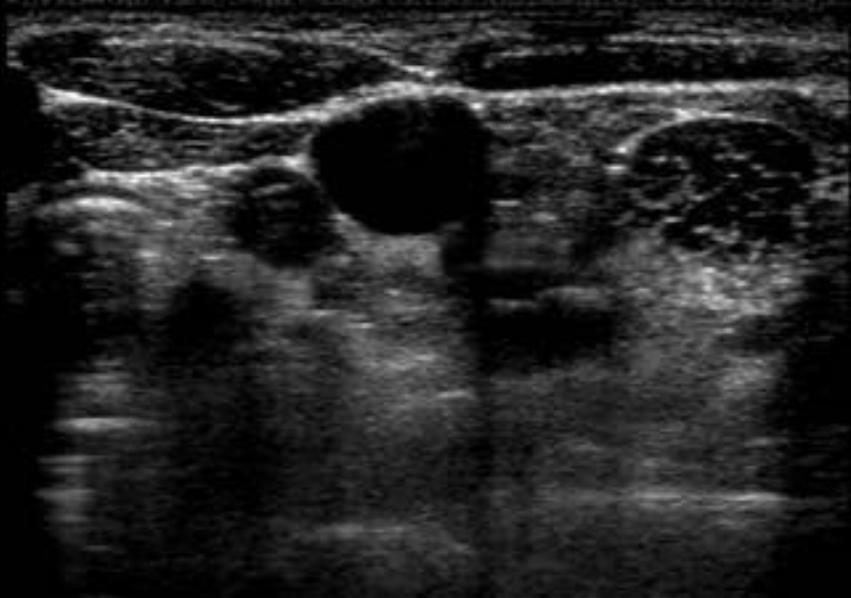
# Come eseguire scansione ecografica

- Sonda nella mano ds
- Corretto orientamento sul distretto da esplorare
  - Scansioni assiali
  - Scansioni longitudinali

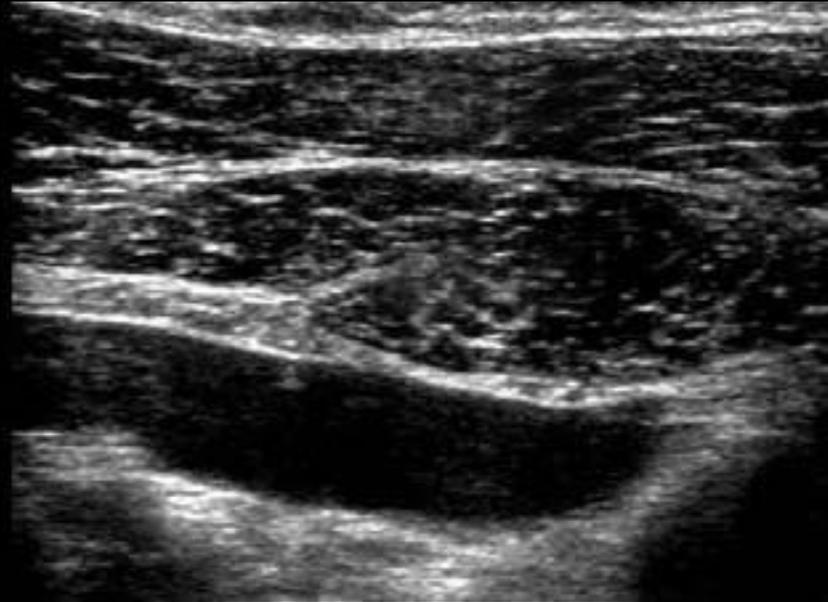








Scansione assiale vaso

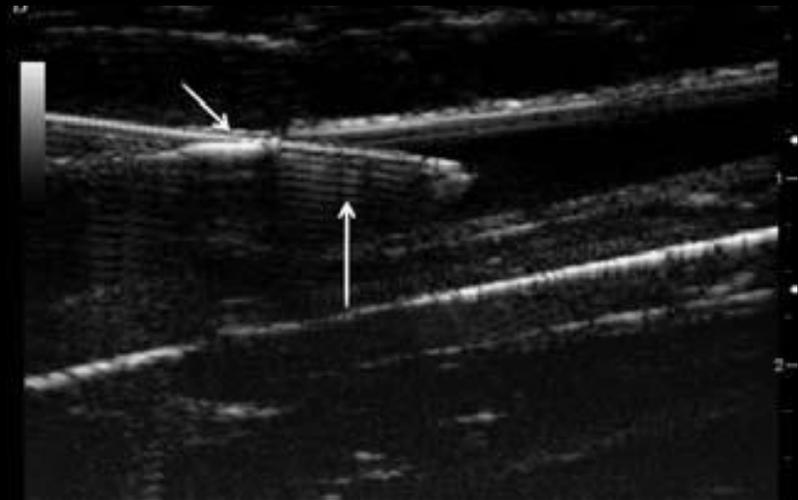


Scansione longitudinale vaso

- Strutture contenente fluido (vescica, vasi) hanno aspetto trasonico (anecogeno)



- I device che possono contenere (aghi, catateri) hanno aspetto iperecogeno





convex



lineare



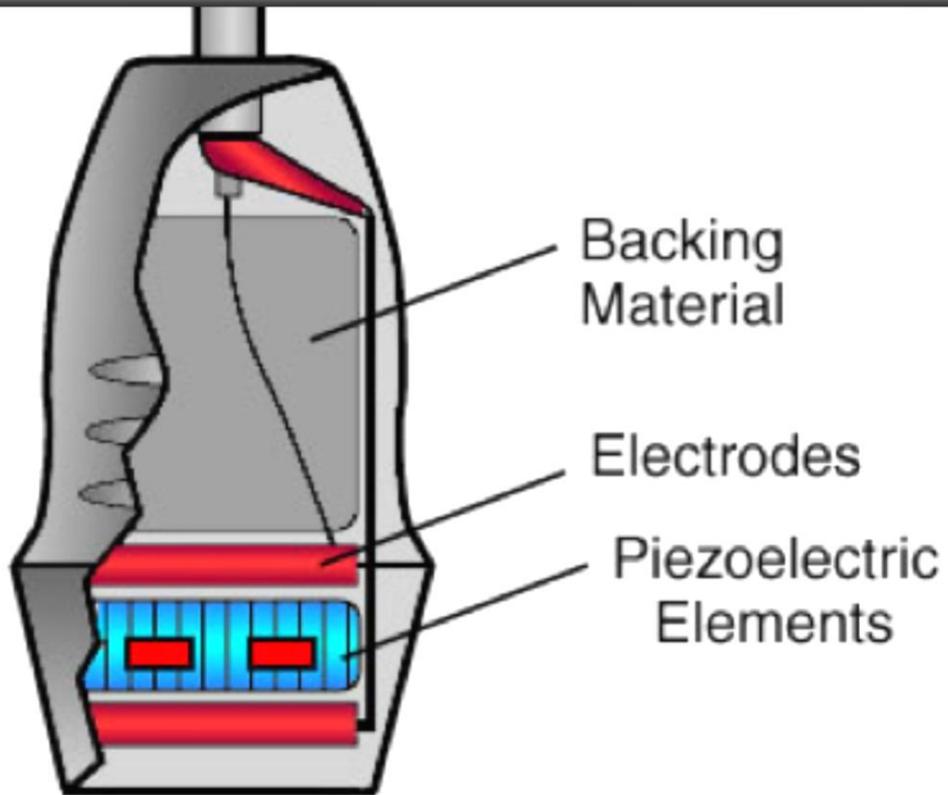
settoriale



endocavitaria

Le sonde

---



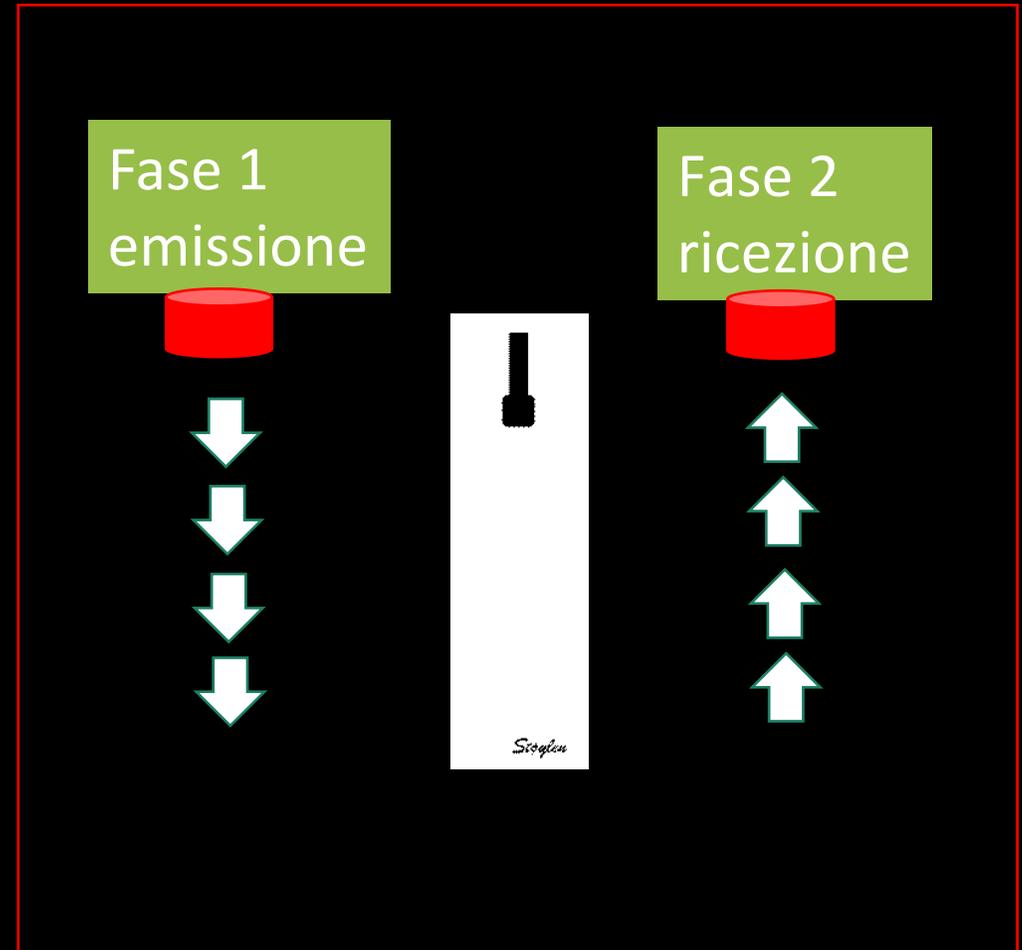
## Le sonde

- Il materiale piezoelettrico è accoppiato agli elettrodi e ad un blocco ammortizzatore che assorbe le onde retrograde. Emette ultrasuoni di frequenza diversa a seconda del tipo di utilizzo e rileva quelli di ritorno

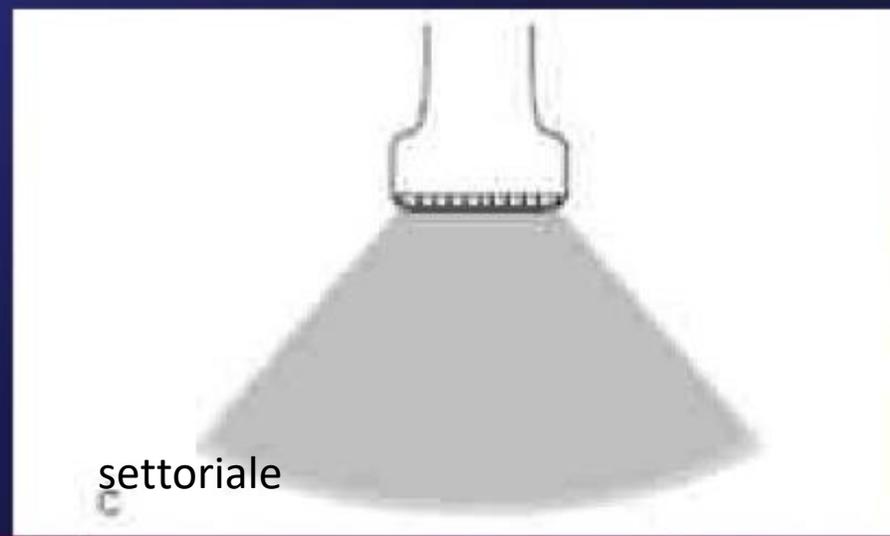
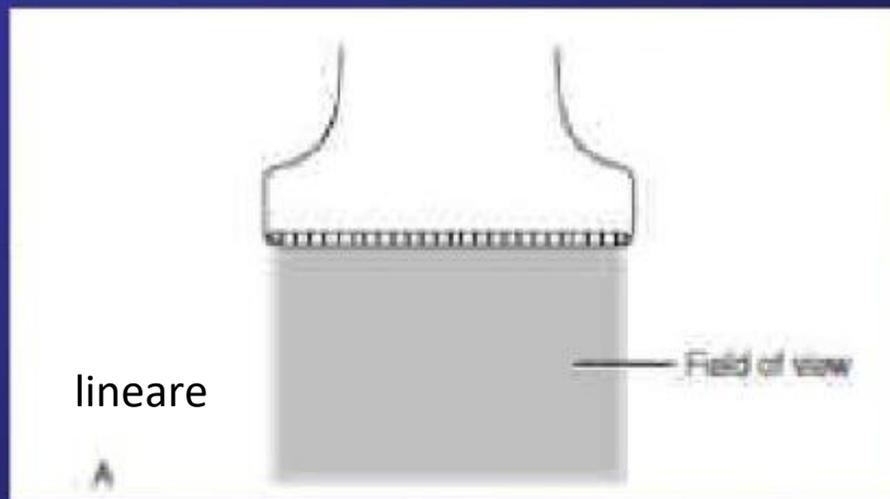
Appoggiando la 'pastiglia' (quarzo + elettrodi) al tessuto si generano US. Le onde si propagano come un fascio che nel suo tratto prossimale è di dimensioni costanti ma che poi tende progressivamente a divergere.



La sonda ecografica funziona, alternativamente, come **emettitore** e come **ricevitore** di ultrasuoni



# Forma dei trasduttori

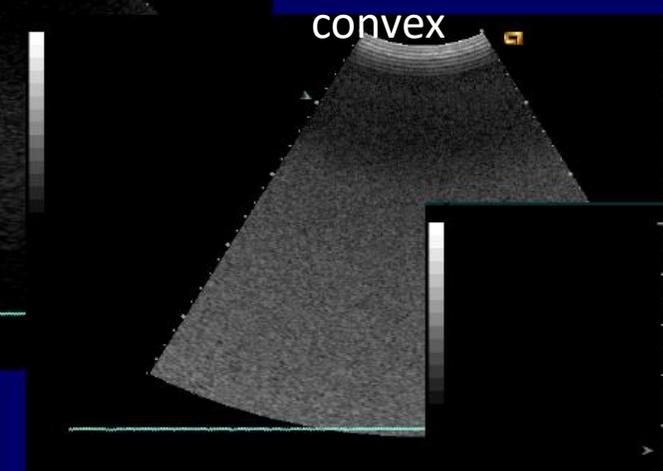


Sonda/immagini

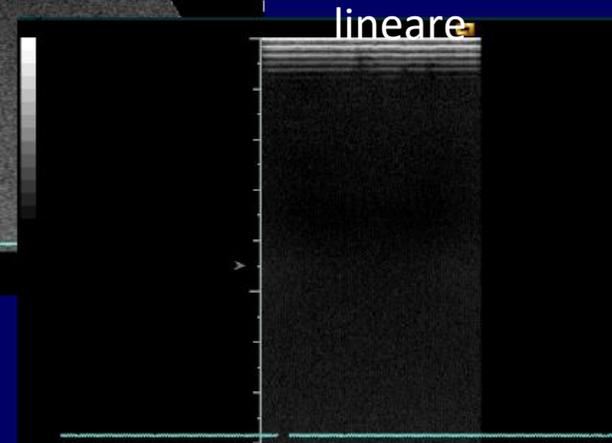
settoriale



convex



lineare



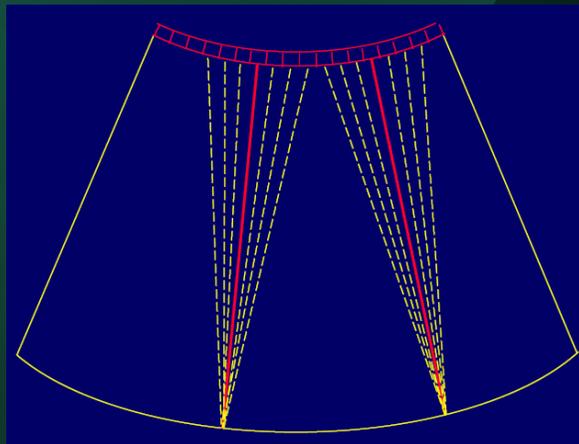
- ✓ Le sonde per **addome** hanno frequenza di **2,5-7 MHz**
- ✓ Le sonde per **parti molli e vascolari e intracavitarie** ( transvaginali, transrettali, transesofagei etc) hanno una frequenza variabile da **5 a 13**, le piu' recenti, fino a **20 MHz**
- ✓ Gli attuali trasduttori sono MULTIFREQUENZA

*La scelta della sonda ( e della frequenza) da utilizzare deve essere fatta in base alle strutture che si vuole studiare.*

Al *creocere delle frequenza* del fascio di US

- Aumenta l'attenuazione del fascio
- Aumenta la risoluzione
- Si riduce la profondità di campo

# Sonda convex 2,5 – 7Mhz



- Focalizzazione in profondità superiore al trasduttore lineare.
- Campo di vista superiore rispetto al trasduttore lineare (panoramica)
- Utilizzata per lo studio dei tessuti profondi (visceri)

# Sonda convex

- Ecografia addome
  - Studio parenchimi (fegato, milza, pancreas, reni)
  - Studio organi cavi (vescica)
  - Studio grossi vasi addominali (aorta)
  - Studio retroperitoneo

Steatosi  
epatica



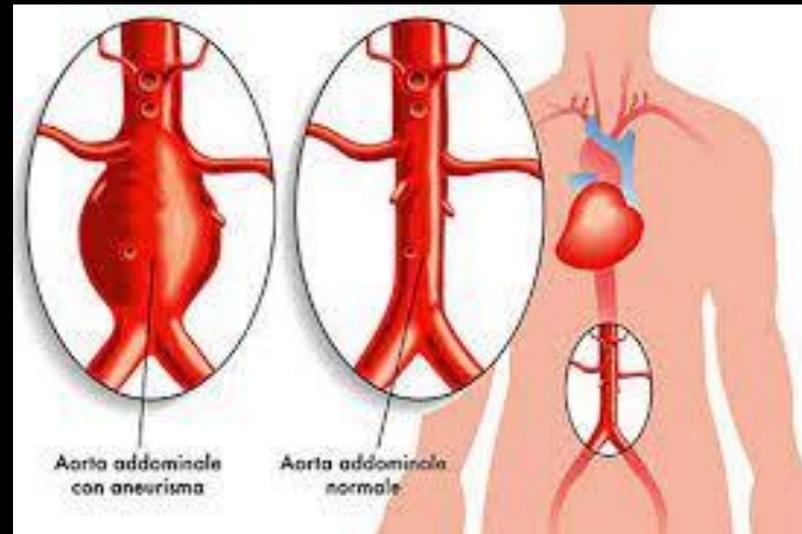


Angioma  
epatico

Calcolo  
colecisti



# Aneurisma aorta addominale



**ANEURISMA DELL'AORTA ADDOMINALE**



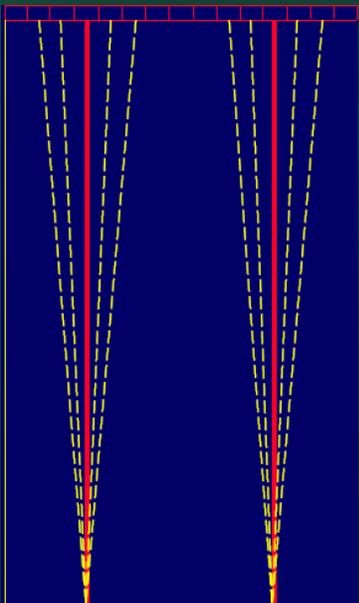
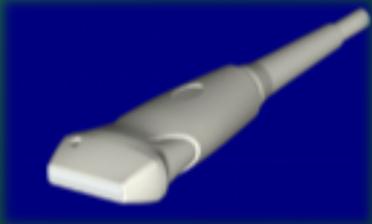
**Abdominal Aorta**



Cisti renale



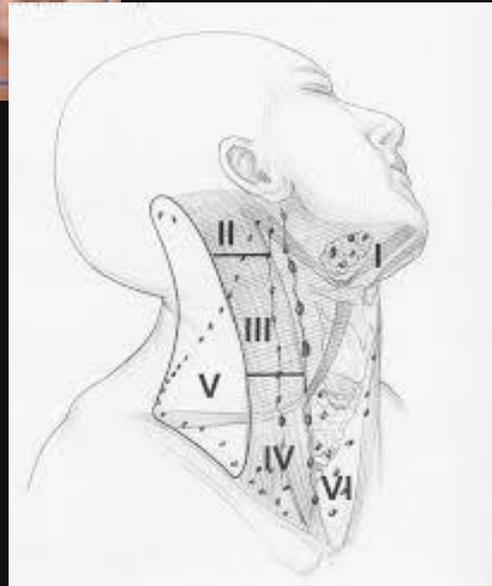
# Sonda lineare 7-20 MHz



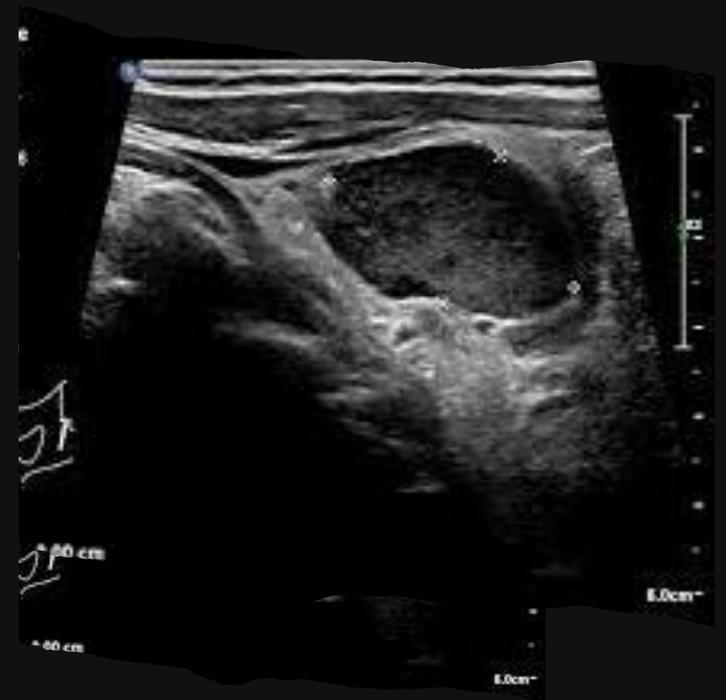
- Massima risoluzione a livello B-mode
- Focalizzazione ottimizzata in superficie
- in profondità, invece, inferiore ad altri trasduttori
- Campo di vista limitato dalle dimensioni del trasduttore (poco panoramica).
- Utilizzata per l'esplorazione dei **tessuti superficiali**

# Sonda lineare

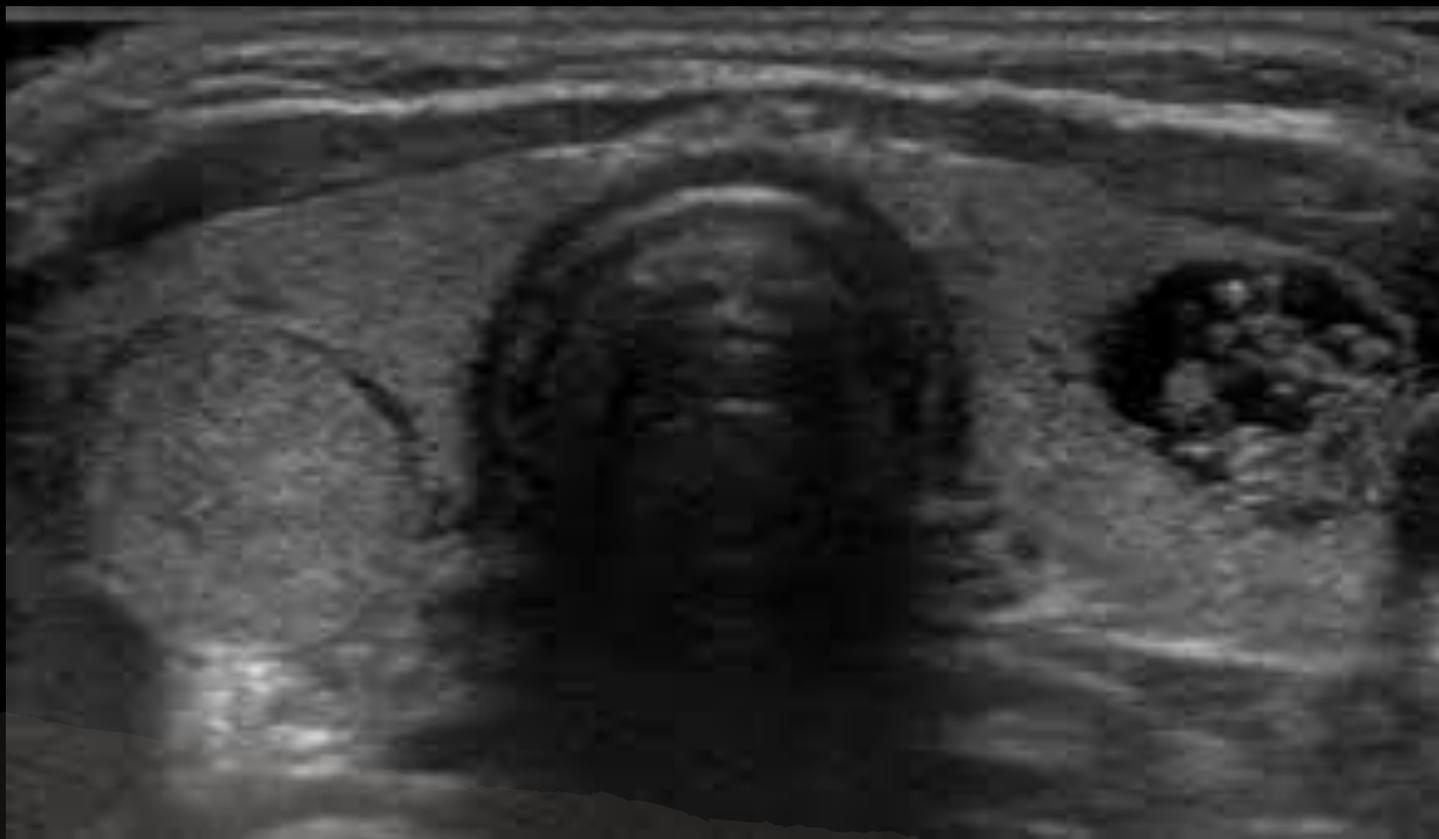
- Tessuti molli
  - Cute e sottocute
  - muscoli
- Tiroide
- Linfonodi
- Mammaria
- testicolare
- Osteo-articolare
- Studio anse intestinali
- Vascolare\color doppler\ ACCESSI VASCOLARI
- Ecografia pediatrica
- Ecografia polmonare

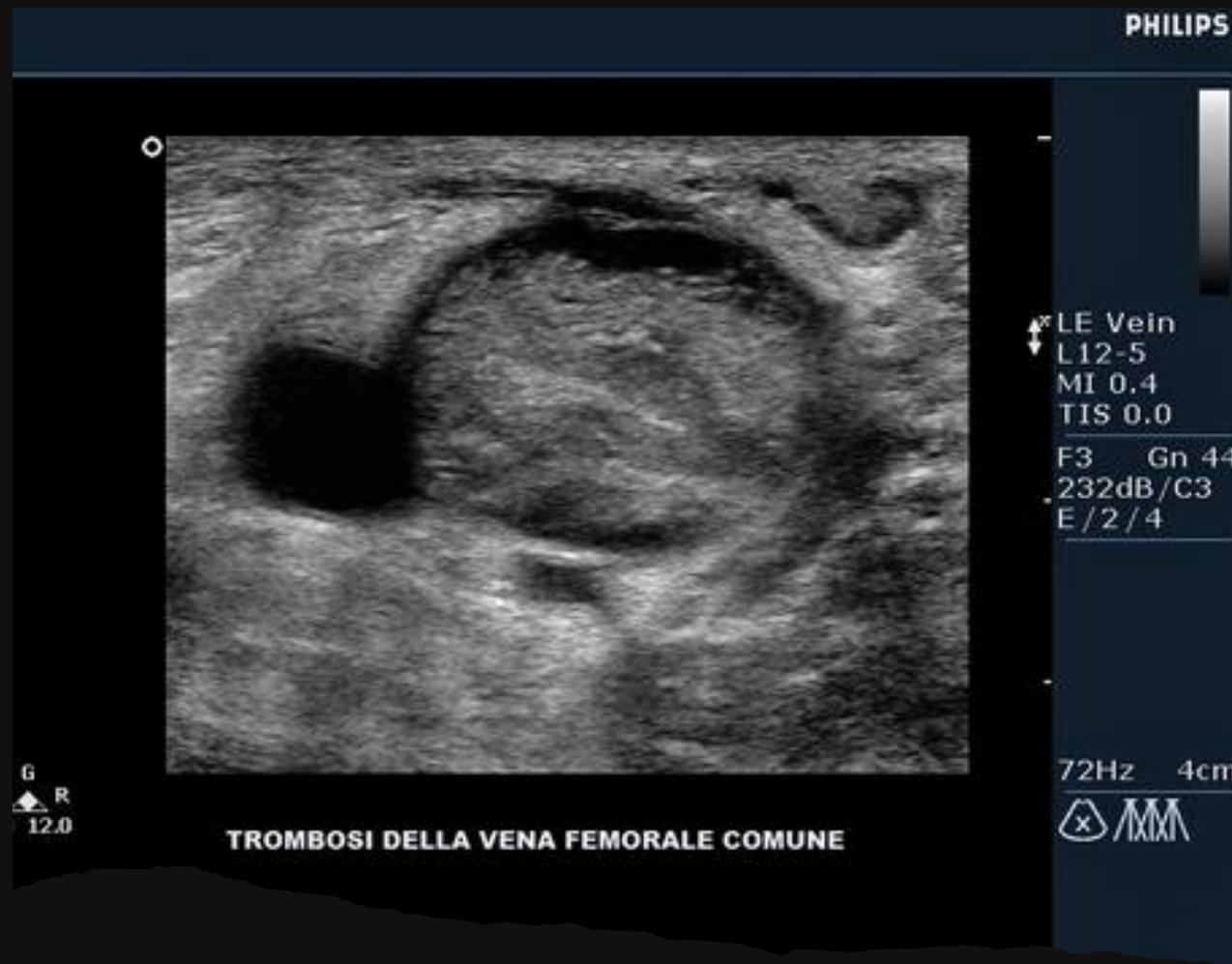
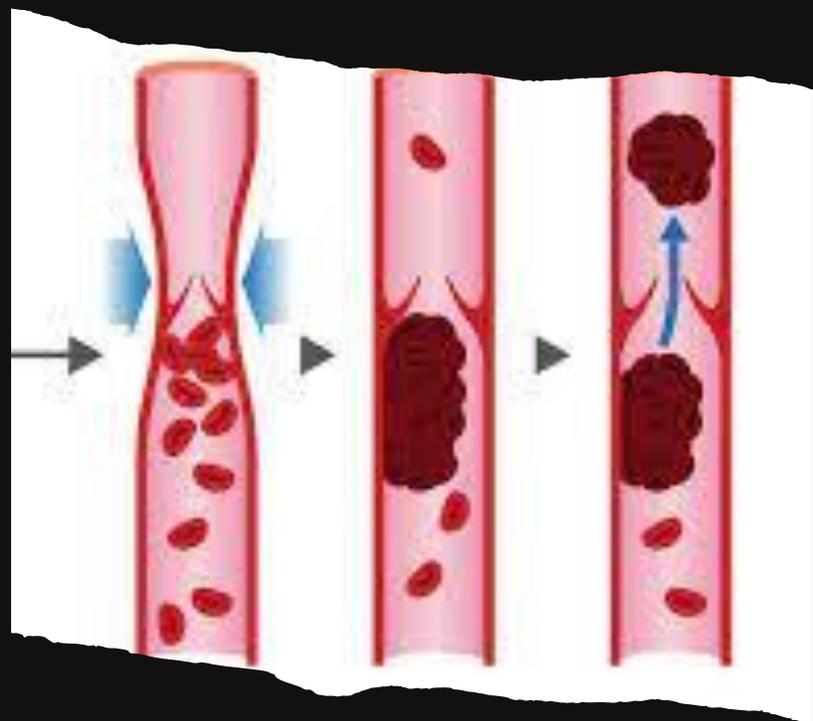


linfonodi



# Noduli tiroide

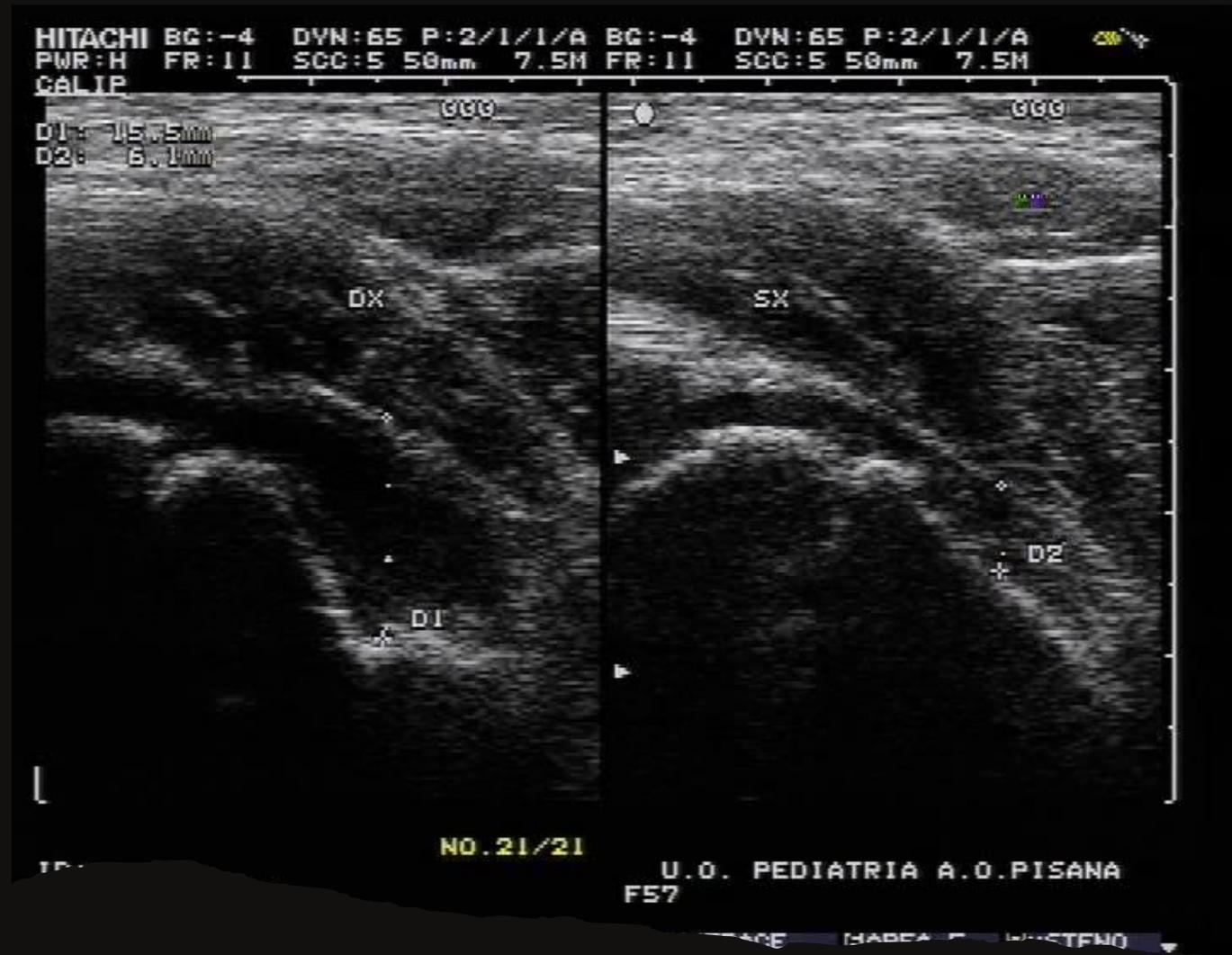




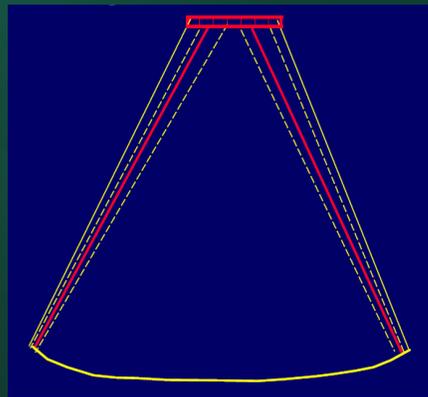
Trombosi venosa



Artro sinovite anca



# Sonda settoriale

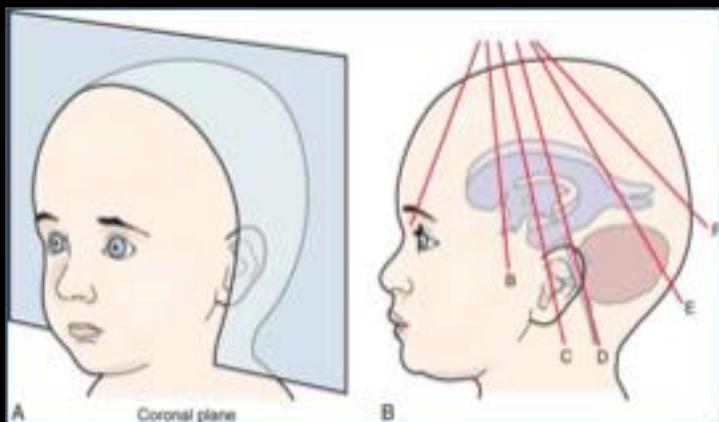


- **Risoluzione a livello Bmode inferiore ai precedenti ma con focalizzazione in profondità e con fascio US prossimale molto stretto .**
- **Campo di vista superiore ai trasduttori precedenti , nonostante la superficie di appoggio sia inferiore (molto panoramica).**

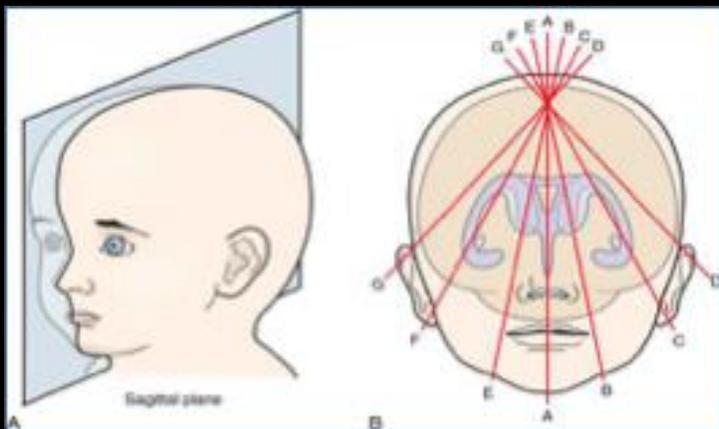
# Sonda settoriale

- Ecografia cerebrale
- Ecografia addome neonatale
- ecocardiografia

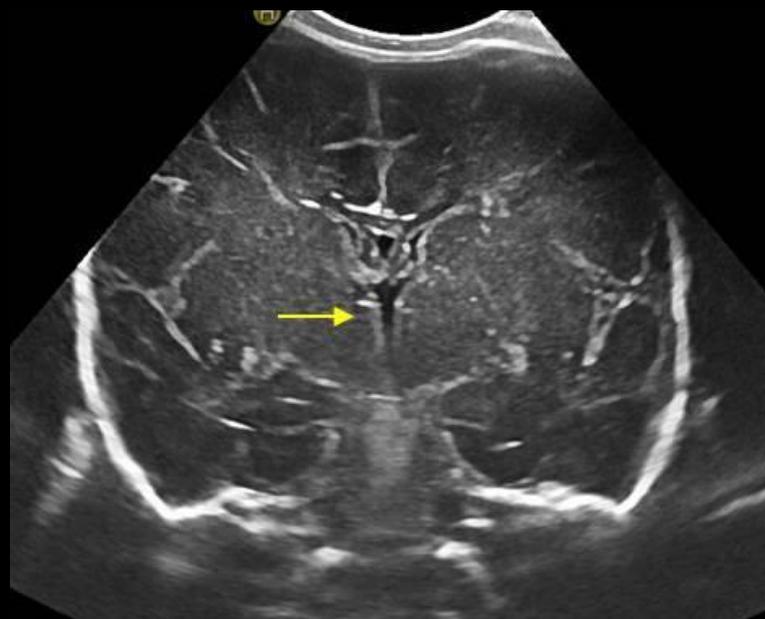
# Ecografia cerebrale



Sezioni coronali



Sezioni saggitali

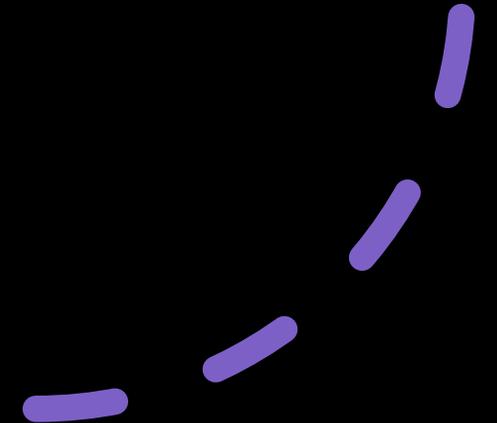
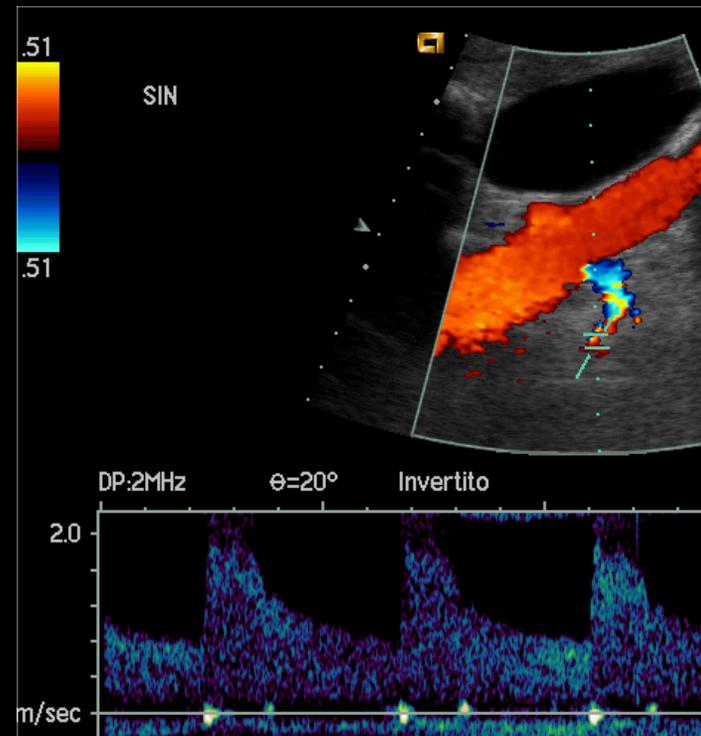


# Stenosi ipertrofica del piloro



# ECO DOPPLER

- Consente di misurare il flusso del sangue nei vasi, combinando l'ecografia, che fa rimbalzare le onde sonore sugli oggetti, con il Doppler, per stabilire la velocità alla quale gli oggetti (globuli rossi) si muovono



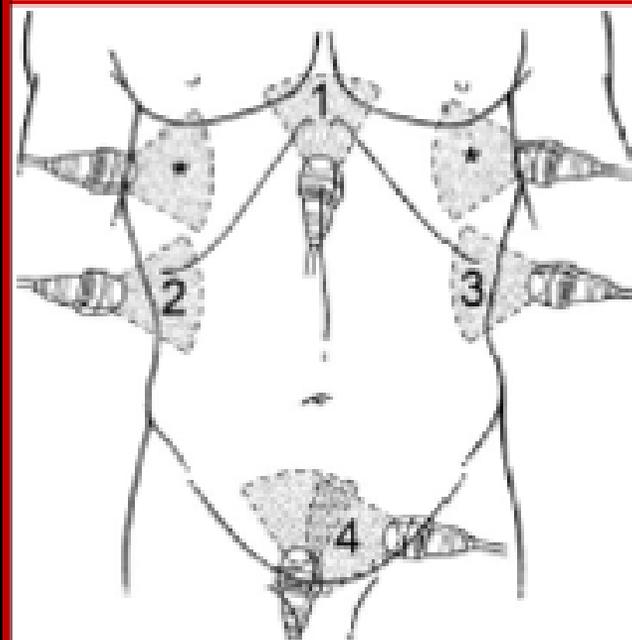
## FAST ECO

## Focused Assessment with Sonography for Trauma

- Identificare un'emorragia interna in un paziente politraumatizzato
- Evidenziare la presenza di eventuale liquido pleurico
- Si effettua rapidamente, nell'arco di 3\5 minuti

### F.A.S.T. - Tecnica d'esame

**La ecografia FAST esamina 4 scansioni ecografiche**



1. versamento pericardico e lesioni del lobo epatico sinistro
2. lobo epatico di destra, rene destro, spazio interposto tra questi (spazio di Morrison)
3. milza, rene sinistro, spazio anatomico interposto
4. scavo del Douglas

\*versamento pleurico

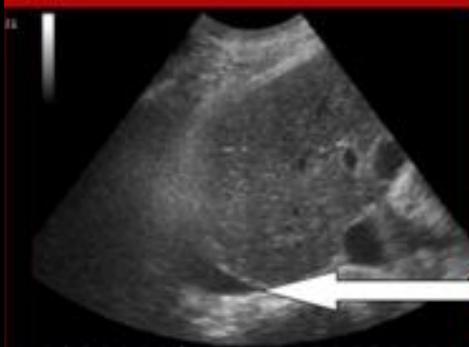
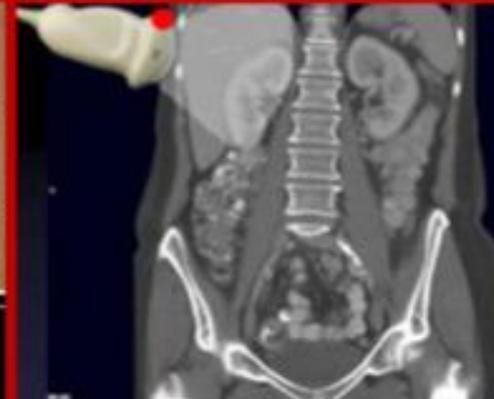
## Recesso spleno-renale



## Scansione sovrapubica per lo scavo del Douglas



## Recesso epato-renale



Con la stessa scansione, **inclinando verso l'alto la sonda**, è possibile visualizzare il seno pleurico costo-frenico per diagnosticare eventuale **emotorace**.

# CEUS

Contrast-Enhanced-  
Ultrasound

- Studio con mezzo di contrasto ecografico (microbolle gassose in grado di attraversare il filtro polmonare)
  - Caratterizzazioni lesioni epatiche
  - Diagnosi RVU urologia pediatrica

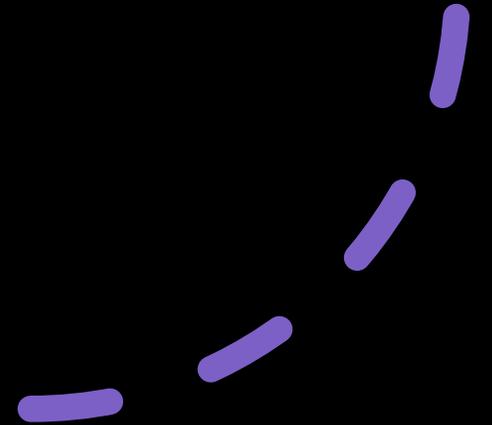
## Epatocarcinoma

Quadro tipico dell'ecografia con mezzo di contrasto (CEUS)



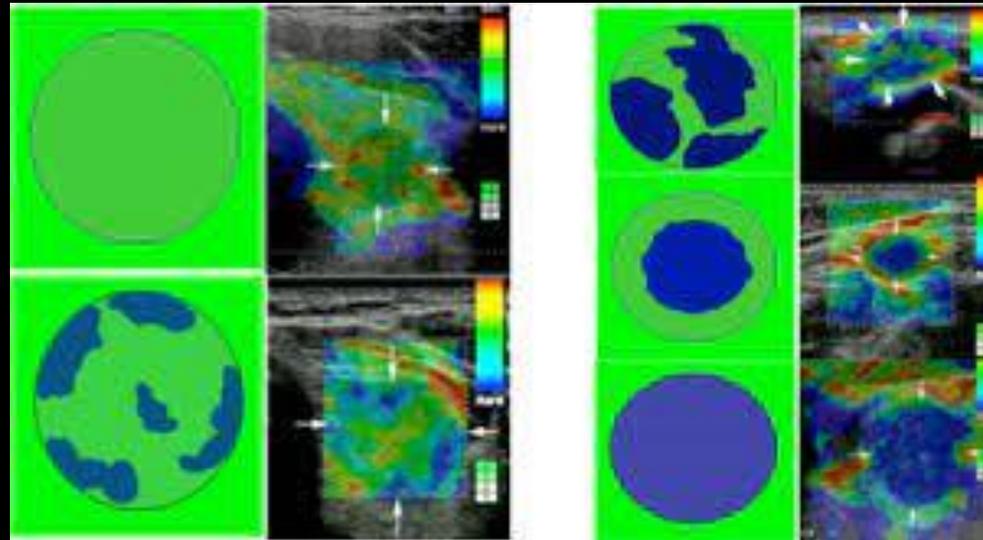
# ECOGRAFIA INTERVENTISTICA

- Svuotamento-drenaggio raccolte
- Trattamenti mirati (termoablazione)
- Accessi vascolari



# ELASTOGRAFIA

- Rappresentazione dell'elasticità dei tessuti
  - Fibroscan fegato (valutazione fibrosi)
  - Lesioni mammarie
  - Linfonodi
  - tiroide



# ECOGRAFIA

- Non fa uso di radiazioni ionizzanti
- Tecnica semplice, non invasiva
- Basso costo
- Consente studio morfologico, dinamico e funzionale
- Operatore dipendente
- Necessaria conoscenza della clinica
- Necessaria conoscenza delle metodiche alternative o complementari
- Appropriata delle richieste



## ECOGRAFIA «*BEDSIDE*» *PRATICA INFERMIERISTICA*

---

- Emergenza (FAST eco)
- Valutazione vescica (svuotamento, residuo, cvc)
- Accessi vascolari eco guidati

