EUS ACADEMY
I SESSIONE

PERUGIA 2-3 Febbraio 2022
SALA U. MERCATI
OSPEDALE SANTA MARIA DELLA MISERICORDIA

Fisica degli ULTRASUONI

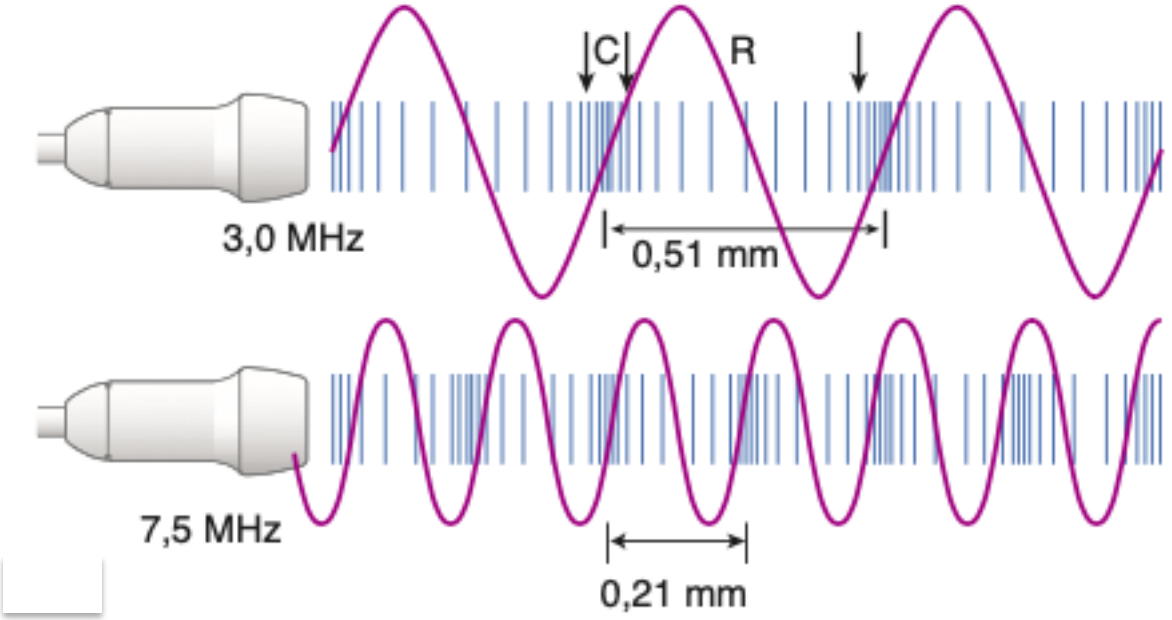
Dott. Olivia Morelli

S.C. Gastroenterologia ed Epatologia

Università degli Studi - Azienda Ospedaliera di Perugia

ECOGRAFIA

- Tecnica diagnostica per Immagini basata su un *fascio di ultrasuoni (US)* che attraversa un organo o un tessuto



COSA STUDIAMO CON GLI US

- Gli organi addominali
- I tessuti superficiali del corpo (tiroide, seno, muscoli e articolazioni, cute, occhio)
- Cuore e vasi
- Cervello neonatale
- Polmone
- Il tubo digerente (ecografia anse intestinali ed ecoendoscopia)

US in medicina

- DIAGNOSI: con gli US studiamo l'anatomia normale e le alterazioni patologiche in modo non invasivo

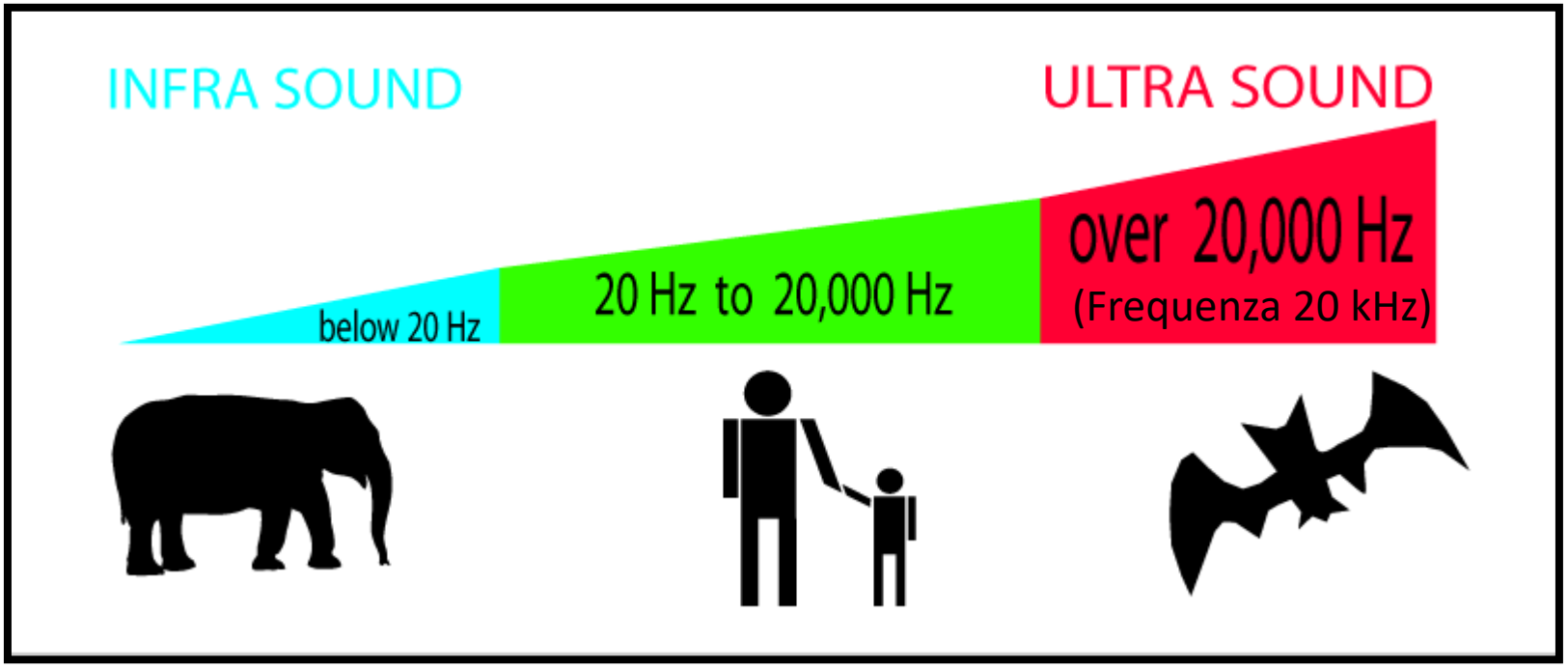
- RUOLO INTERVENTISTICO DIAGNOSTICO/TERAPEUTICO: gli US servono da guida per prelievi bioptici con ago o terapie loco regionali

Pro e contro degli US

- **PRO**: innocuo, basso costo, diffusamente disponibile, ripetibile, esame real-time e dinamico con possibilità di correlare le immagini con la semeiotica
- **CONTRO**: variabilità inter-osservatore, accuratezza diagnostica talvolta sovrastimata poiché valutata in ambito di ricerca da operatori esperti, riduzione di accuratezza in alcuni pz (obesi, meteorici, scarsamente collaboranti..)

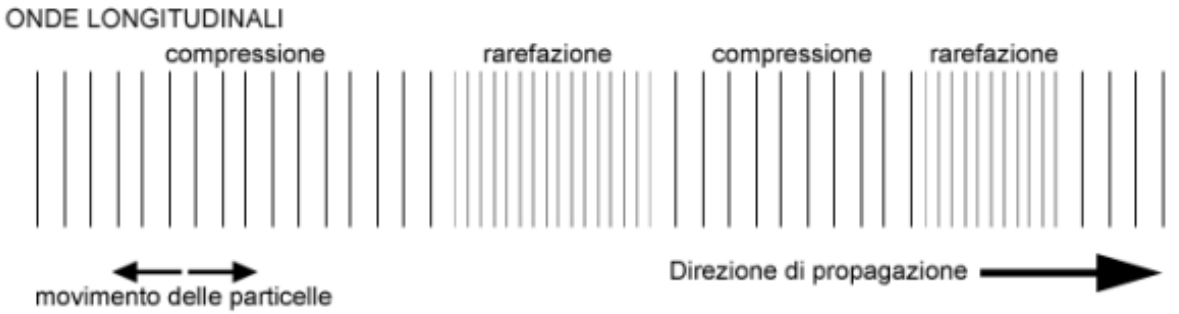
COSA SONO GLI ULTRASUONI?

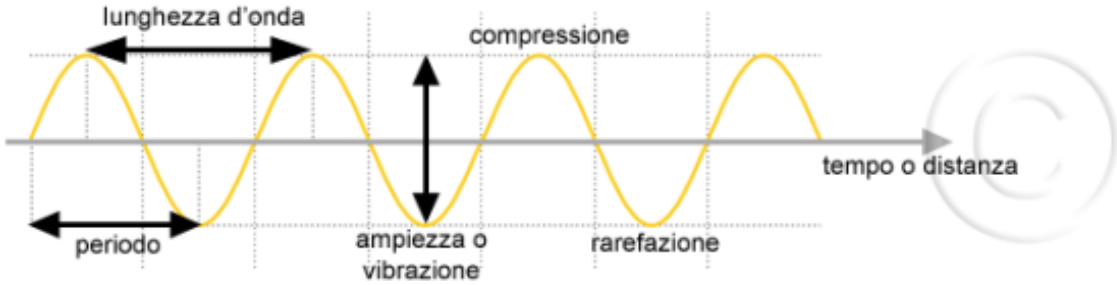
- SUONI: onde meccaniche che hanno bisogno di un mezzo per propagarsi



CARATTERISTICHE FISICHE US

Gli US possono essere rappresentati su un piano cartesiano come **linee sinusoidali** (**onde meccaniche che si propagano con un movimento vibratorio periodico** a trasmissione longitudinale nelle molecole della materia attraversata :picchi positivi=compressione; picchi negativi=rarefazione)





FREQUENZA: NUMERO DI OSCILLAZIONI AL SECONDO misurato in Hz
LUNGHEZZA D'ONDA: DISTANZA TRA DUE PUNTI CORRISPONDENTI DI DUE OSCILLAZIONI CONSECUTIVE. IN UN MEZZO E' INVERSAMENTE PROPORZIONALE ALLA FREQUENZA

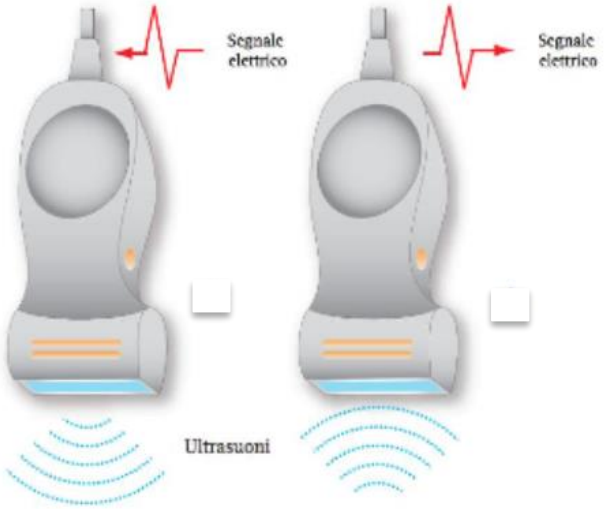
La sonda o trasduttore

- Contiene cristalli piezoelettrici, che messi in vibrazione ad altissima frequenza da impulsi elettrici producono US e sono in grado di ricevere le onde di ritorno (eco)

EFFETTO PIEZOELETTRICO

La **sonda** funziona quindi alternativamente come **emettitore** e come **ricevitore** di US

Cristalli di titanio di bario o titanato-zirconato di piombo (PZT)
Maggiore spessore=più bassa frequenza
Minore spessore= più alta frequenza



US in MEDICINA

- Gli US per le indagini mediche hanno frequenze nel range di MegaHertz (MHz)
- 1 MHz= 1 milione di cicli/sec

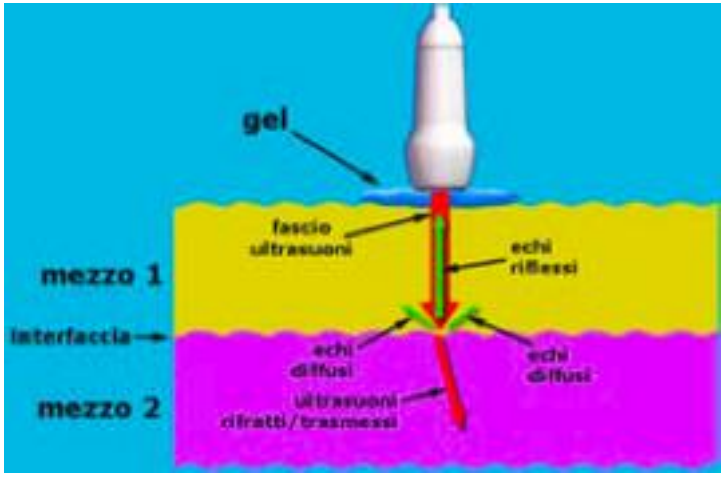
LE SONDE PER US IN MEDICINA UTILIZZANO FREQUENZE da 2 A 30 MHz

Propagazione degli US

- La velocità di propagazione degli US dipende dal mezzo attraversato (maggiore compattezza=maggiore velocità quindi si propagano più velocemente nei liquidi o tessuti molli che nell'aria)

	Velocità ($m*s^{-1}$)
Aria	330
Grasso	1460
Fegato	1540-80
Milza	1555-80
Sangue	1560
Rene	1560
Muscolo	1545-1630
Osso	2700-4100

Propagazione degli US



- Quando gli US incontrano un'interfaccia in parte vengono riflessi (tornano indietro) e in parte vengono propagati nei tessuti sottostanti
- L'ampiezza degli ECHI di RITORNO è proporzionale alla differenza di

  IMPEDENZA ACUSTICA tra due tessuti
- Se gli US si propagano attraverso tessuti con impedenze acustiche simili, solo una piccola percentuale viene riflessa, mentre la maggior parte si propaga in modo lineare sino alle strutture più profonde

Propagazione degli US

- "resistenza" alla propagazione degli US: **IMPEDENZA**

$$Z = \rho c$$

dove

Z = impedenza acustica;

ρ = densità (g/cm^3);

c = velocità del suono nel mezzo.

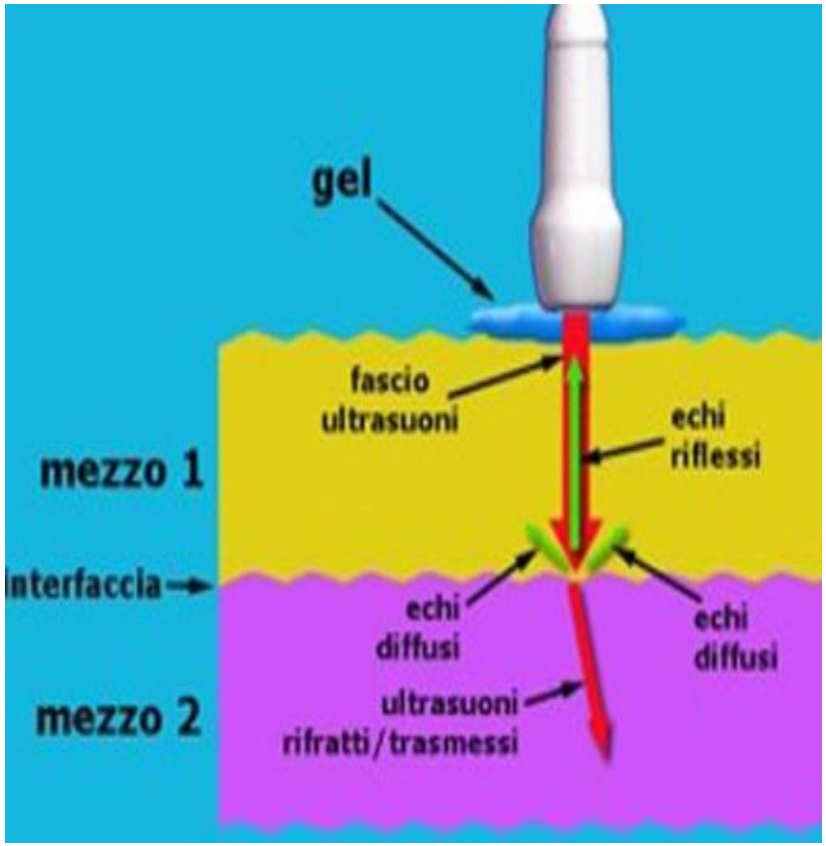
	Velocità ($m*s^{-1}$)	Densità ($kg*m^{-1}$)	Impedenza caratteristica (106 kg*m-2s-1)
Aria	330	1,2	0,0004
Grasso	1460	920	1,35
Fegato	1540-80	1060	1,64
Milza	1555-80	1060	1,66
Sangue	1560	1060	1,62
Rene	1560	1040	1,62
Muscolo	1545-1630	1070	1,65-1,74
Osso	2700-4100	1380-1810	3,75-7,38

- Maggiore è la **differenza di impedenza acustica che caratterizza un'interfaccia e maggiore è la frazione del segnale riflesso o eco (maggiore differenza solido-gas!)**

Interazione degli US con i tessuti

L'immagine ultrasonografica rappresenta i tessuti attraversati dal fascio US sulla base di fenomeni di:

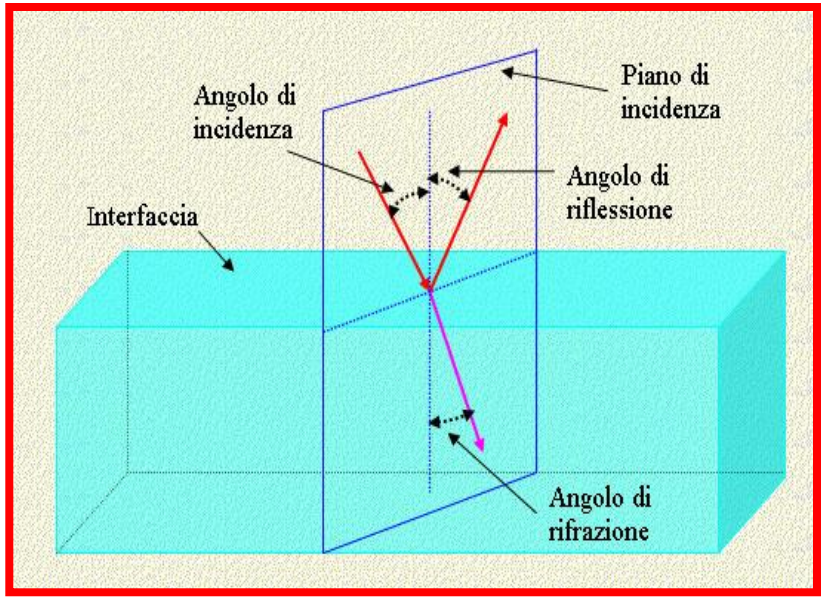
- RIFLESSIONE (tornano indietro come echi a 90°. Incidenza 90° su superficie liscia ed estesa es parete di un vaso/ d'organo/ diaframma)
- DIFFUSIONE: eco diffuso in varie direzioni (interfaccia puntiforme o irregolare): caratterizzano l'ecostruttura dei parenchimi con diversa ecogenicità
- RIFRAZIONE (trasmissione dell'onda con cambio/deviazione di direzione in relazione all'impedenza acustica)
- ATTENUAZIONE (energia dissipata proporzionale alla distanza e al tipo di tessuto; aumenta con l'aumentare della frequenza)



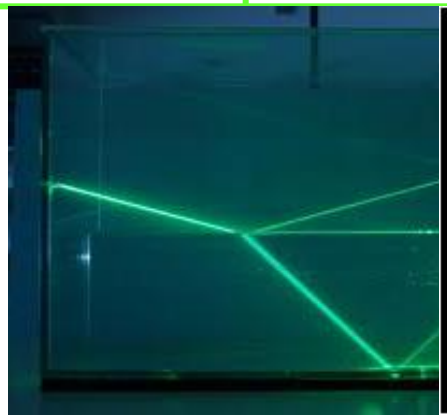
RIFLESSIONE E RIFRAZIONE



L'intensità dell'onda riflessa è tanto maggiore quanto più marcata sarà la **differenza d'impedenza** acustica tra i due mezzi e quanto più acuto **sarà l'angolo d'incidenza**.



Interfaccia	%Riflessione	%Trasmissione
Acqua/Grasso	3,5	96,5
Acqua/aria	100	0
Acqua/Osso	68	32





Interazione degli US con i tessuti

- Il fascio US subisce nel suo percorso nel mezzo in esame in progressivo indebolimento, **attenuazione** che è espressa da:

  1 db/cm/Hz

- l'attenuazione aumenta con l'aumentare del percorso e della frequenza

SONDE

- **<u>Alta frequenza</u>**:

- Bassa penetrazione
- Alta risoluzione spaziale





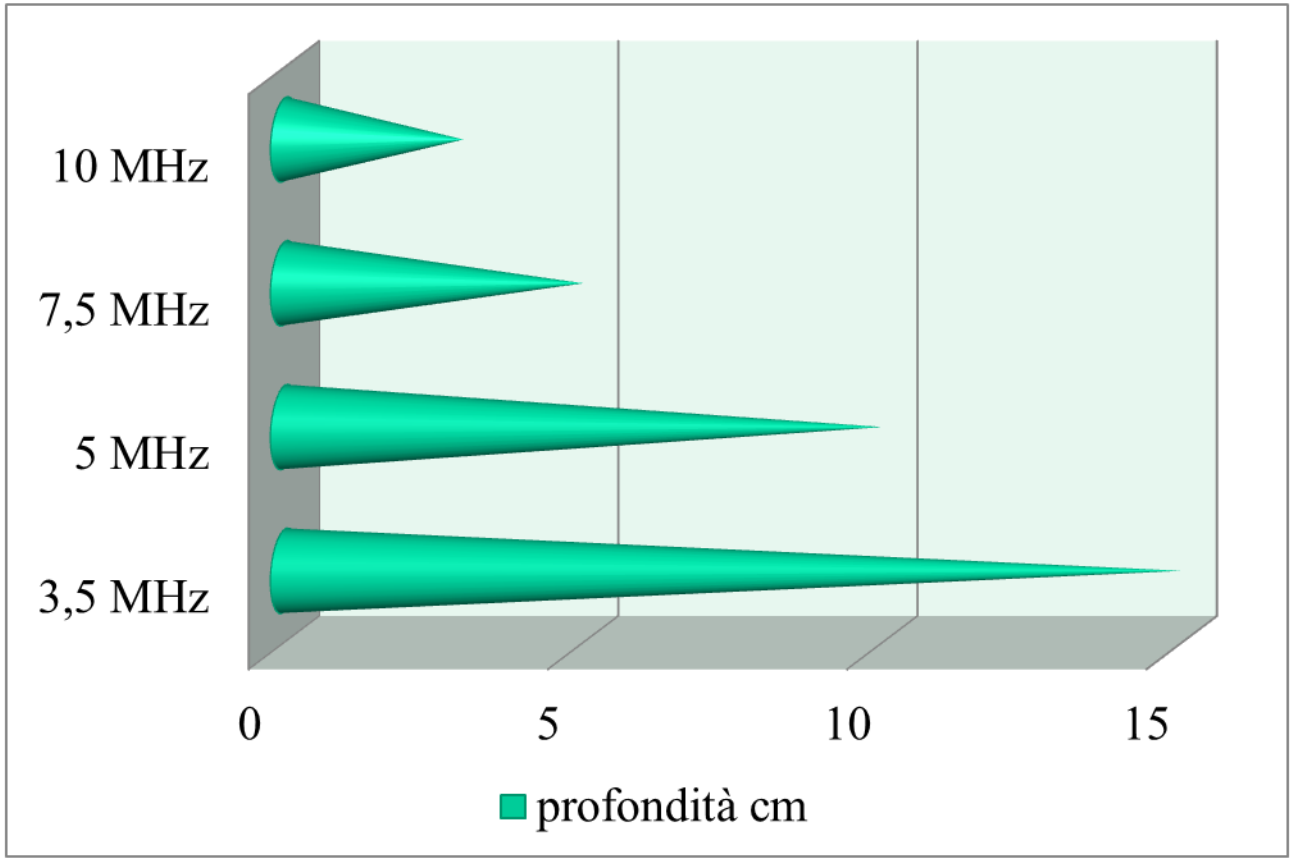
- **<u>Bassa frequenza</u>**

- Alta penetrazione
- Bassa risoluzione spaziale



PENETRAZIONE DEGLI US

$$V = F \times LO$$



Modalità di visualizzazione

Gli echi prodotti dagli US, una volta raggiunta la sonda, possono essere visualizzati in:

- A-mode (Amplitude mode)
- B-mode (Brightness mode)
- **B- mode Real Time (B-mode dinamica)**
- M-mode o TM-mode (Motion o Time Motion mode: usato in cardiologia)



Rappresentazione schematica del fascio ultrasonoro in B-mode RT

Ventaglio di fasci US che fornisce immagini bidimensionali di sezioni di organi. Gli echi di ritorno sono continuamente processati ed elaborati (frame >15/sec) in modo da formare una immagine fluida

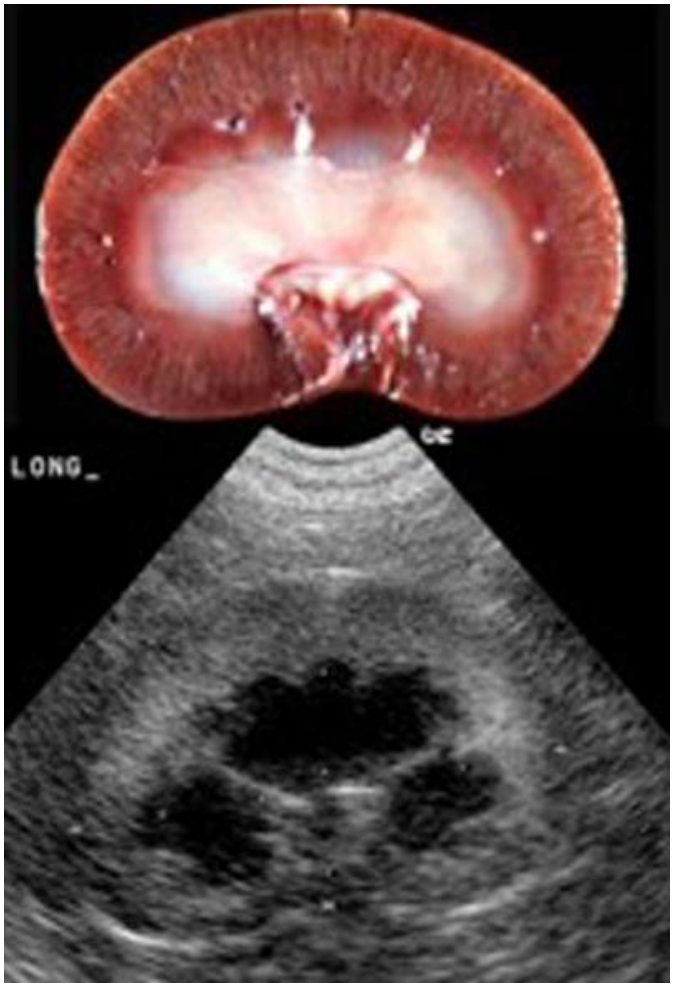


Immagine ecografica renale in scansione longitudinale dorsale a confronto con una sezione anatomica

OTTIMIZZAZIONE DELL'IMMAGINE

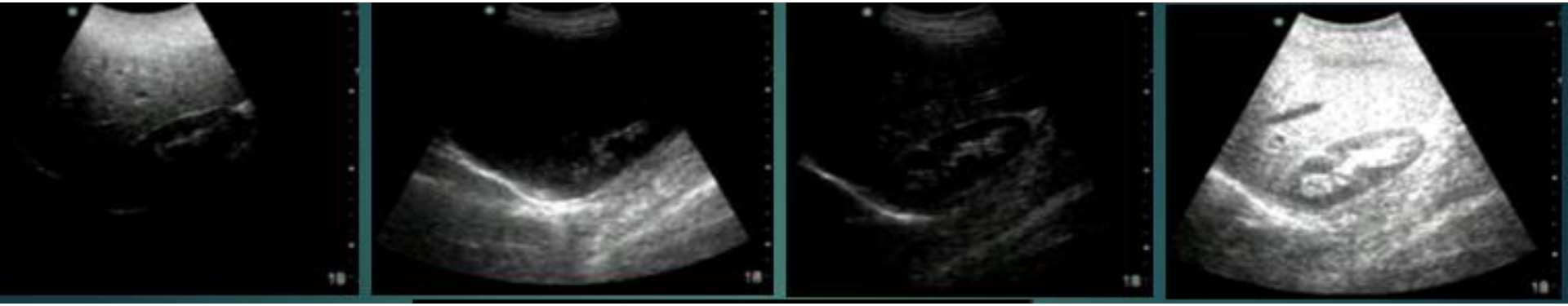
- Scegli il trasduttore adatto
- Scegli la finestra acustica migliore per la visualizzazione
- Ottimizza: FREQUENZA
  PROFONDITA'
  GUADAGNO
  FUOCO



TASTO GAIN (GUADAGNO)

- Aumentando il guadagno aumenterà l'intensità degli echi e quindi l'ecogenicità delle strutture esaminate (aumenta il bianco!!)
- Ottimizzazione: regola il gain in modo che il diaframma sia una linea uniforme e i vasi siano anecogeni!!!

TASTO GAIN



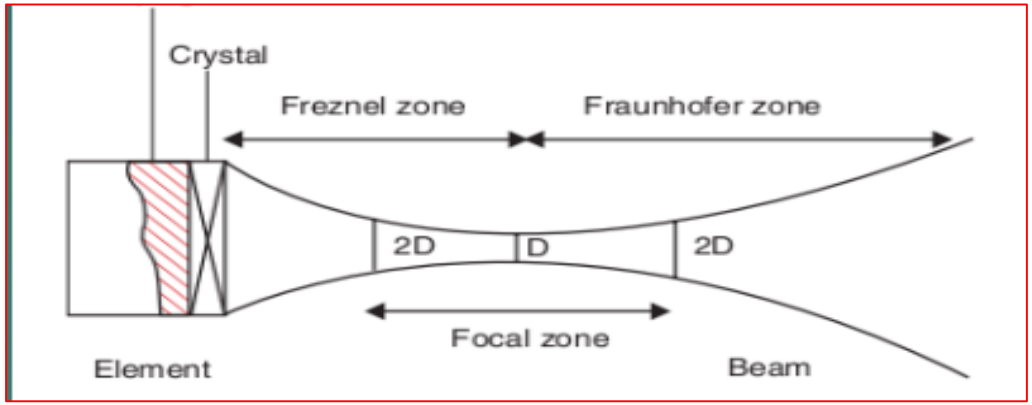
gli echi provenienti da strutture distali saranno meno intensi e possono essere amplificati rispetto a quelli più vicini (T.G.C. Time Gain Compensation)



FUOCO

- Le linee di scansione del fascio US tendono ad allargarsi dopo l'emissione (rimangono parallele o coerenti sino ad una distanza proporzionale al diametro del cristallo)
- Tratto coerente=zona di Fresnel; quello successivo= zona di Fraunhofher
- Il punto di passaggio tra le due zone è la ZONA FOCALE DEL FASCIO US
- Le sonde elettroniche attuali consentono di ottenere più di un punto di focalizzazione a profondità variabile









Artefatti in ecografia

Dott. Olivia Morelli

S.C. Gastroenterologia ed Epatologia

Università degli Studi - Azienda Ospedaliera di Perugia

A.D. 1308 unipg
DIPARTIMENTO
DI MEDICINA E CHIRURGIA

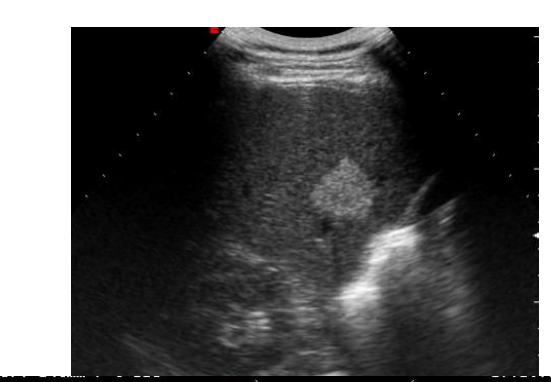
Semeiotica ecografica (propedeutica agli artefatti!!!)

Per definire l'ecogenicità di un organo o di un tessuto, si usano i termini:

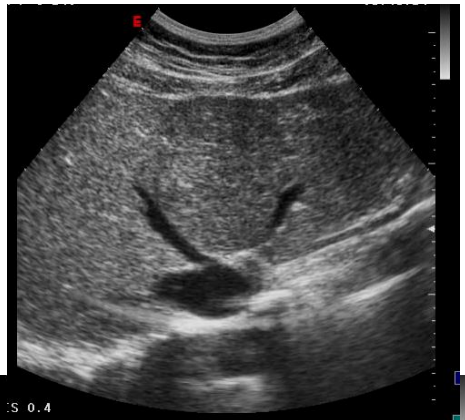
- ANECOGENO= assenza di echi
- IPOECOGENO= presenza di echi a bassa intensità
- ECOGENO= presenza di echi di intensità intermedia
- IPERECOGENO= presenza di echi molto intensi (bianchi)

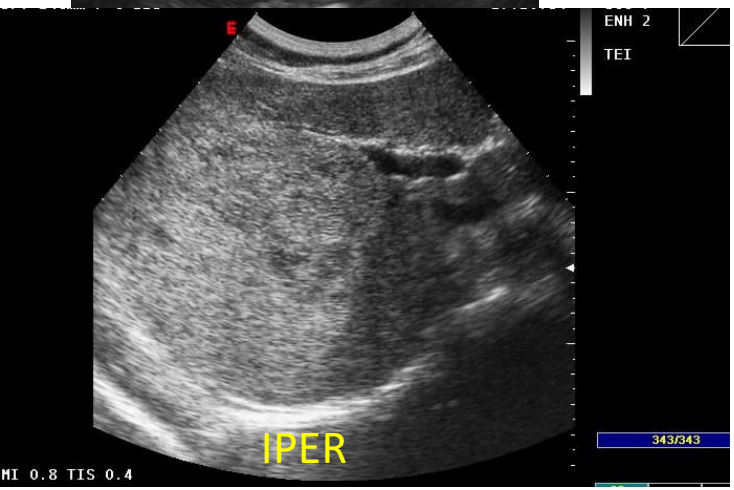
Semeiotica ecografica (propedeutica agli artefatti!!!)

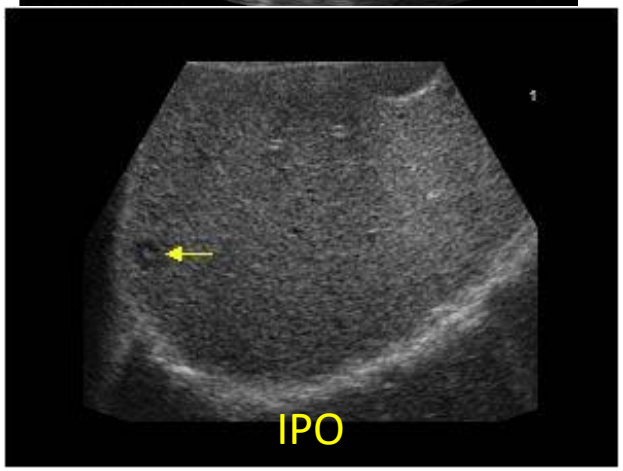
L’ecogenicità è comunque un concetto relativo al tessuto di studio (iper-ipo-isoecogeno)!





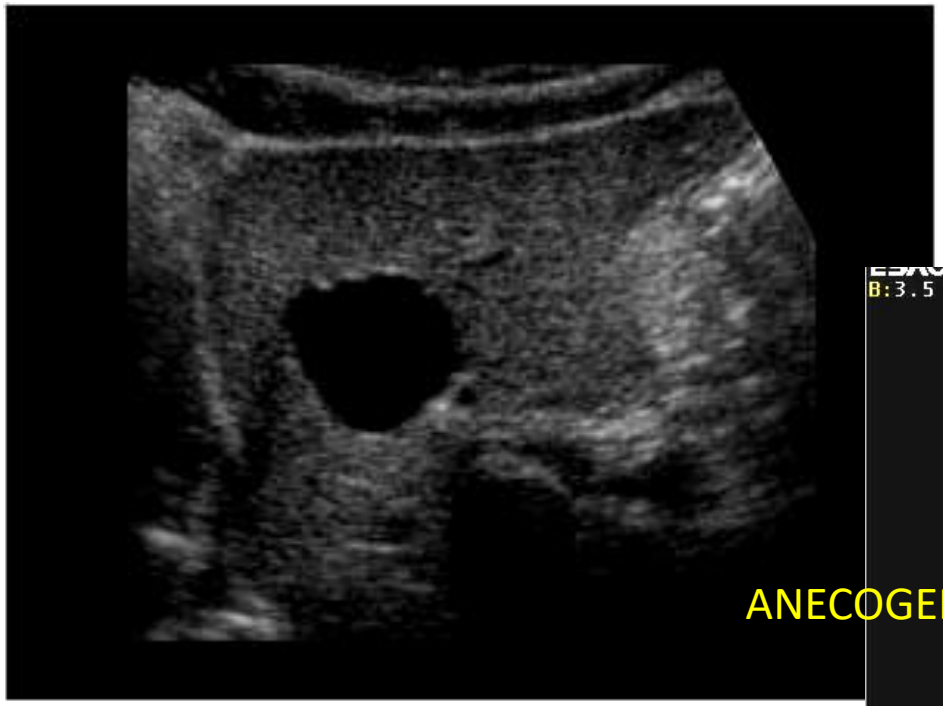




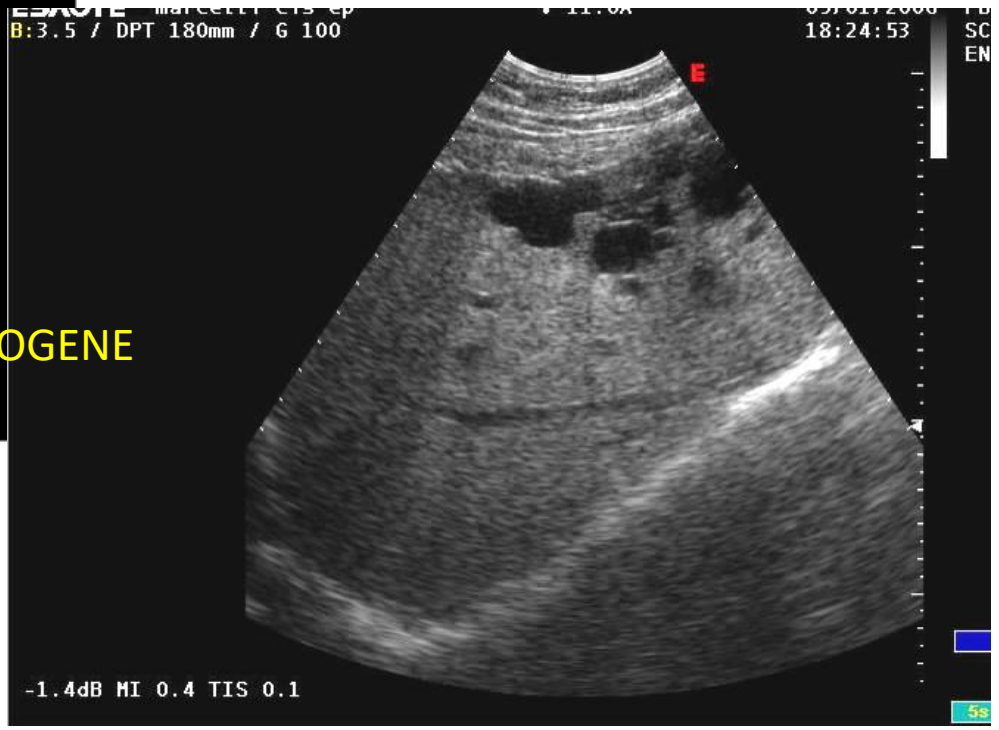




Semeiotica ecografica (propedeutica agli artefatti!!!)



ANECOGENE



ARTEFATTI



- In diagnostica per immagini l'artefatto costituisce solitamente una riproduzione infedele, falsa, distorta della struttura rappresentata e può indurre in errore diagnostico.

- In ecografia invece, se correttamente individuato ed interpretato, spesso costituisce un fattore d'informazione fondamentale per porre la diagnosi e viene pertanto ad assumere un vero e proprio significato semeiologico.

N.B: se l'artefatto non è riconosciuto come tale può indurre, anche in ecografia, in errore!!!!

ARTEFATTI

- **Dovuti alle apparecchiature**

errata focalizzazione

errata elaborazione immagine

errata regolazione guadagno

scarsa risoluzione

- **Dovuti all'interazione US/tessuti**

cono d'ombra posteriore

rinforzo acustico posteriore

ombre acustiche laterali

volume parziale 

artefatto dei lobi laterali 

riverberi

effetto pioggia 

effetto specchio 

artefatti a coda di cometa

ring down artifact

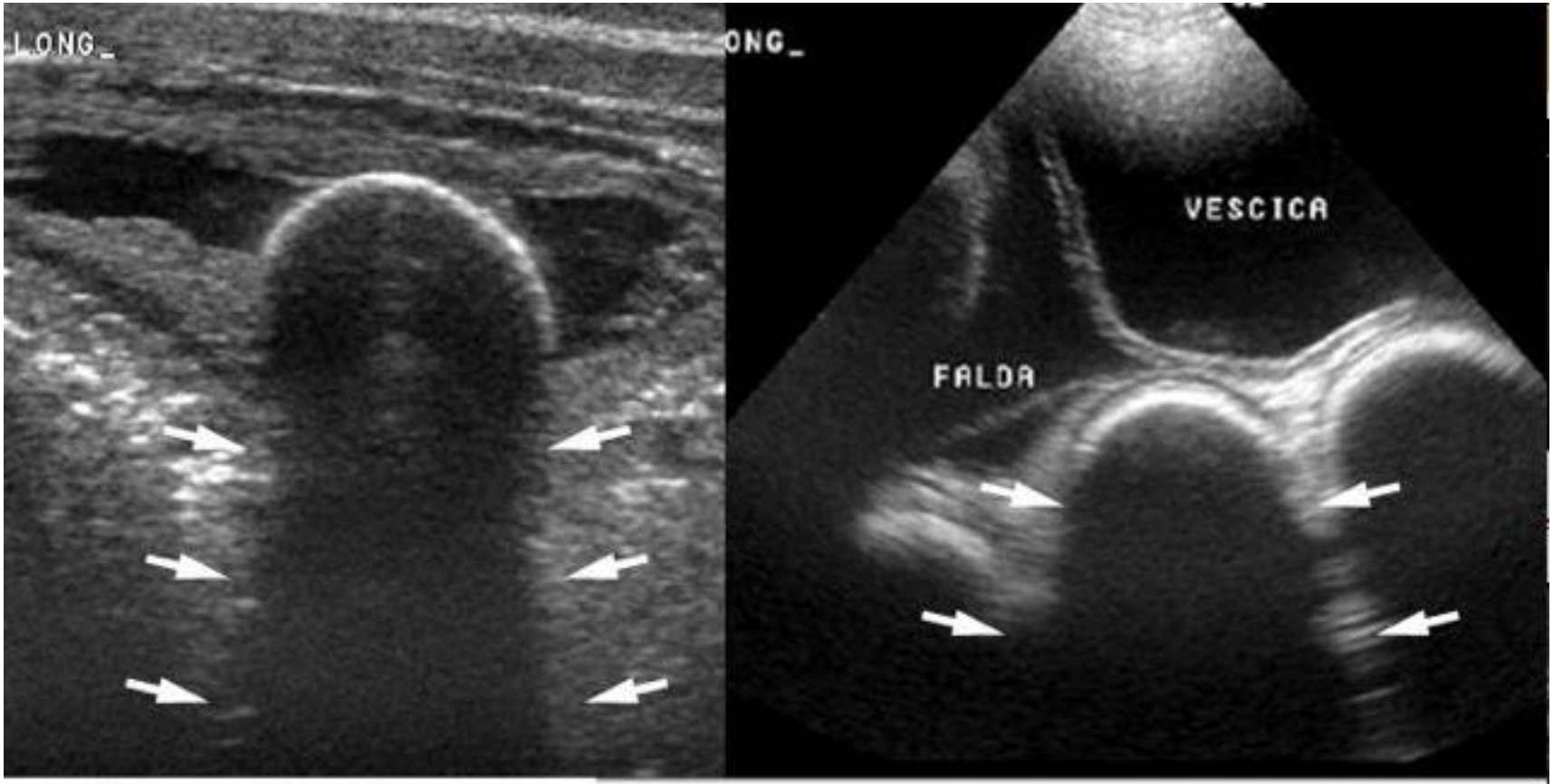
CONO D'OMBRA POSTERIORE



- Interfacce con impedenze acustiche marcatamente diverse possono causare la completa riflessione del fascio US: **distalmente alla superficie iper-riflettente si crea una zona priva di echi**
- Il cono d'ombra posteriore può essere prodotto da calcoli, gas, strutture ossee e fibrose dense (cicatrici) o alcune neoplasie attenuanti



CONO D'OMBRA POSTERIORE



calcolo vescicale

gas intestinale

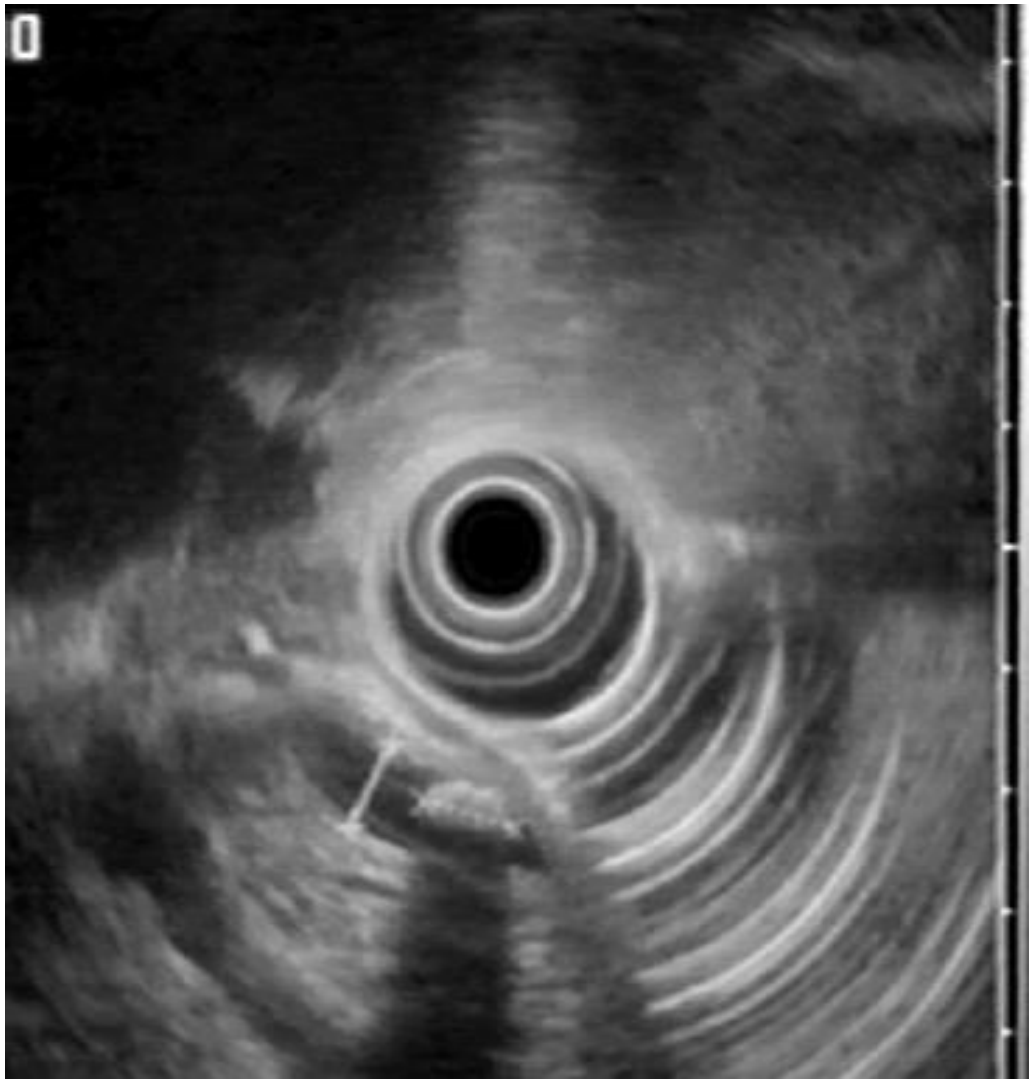
CONO D’OMBRA POSTERIORE



CONO D'OMBRA POSTERIORE



CONO D’OMBRA POSTERIORE

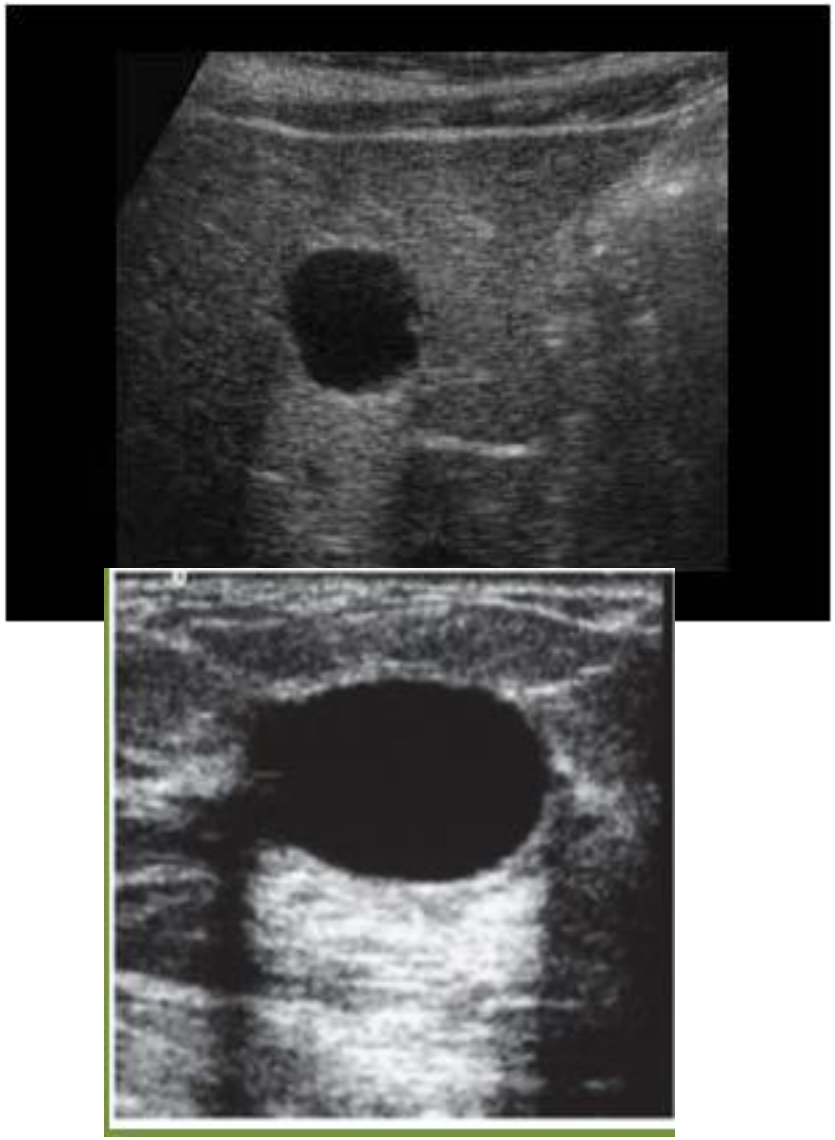


CONO D'OMBRA POSTERIORE



RINFORZO POSTERIORE

- Quando gli US attraversano una struttura liquida subiscono una attenuazione nettamente inferiore a quella nei tessuti circostanti, per cui **a valle della struttura giungono echi molto più intensi**



RINFORZO POSTERIORE

Questo artefatto può aiutare a distinguere (spesso ma non sempre) una lesione cistica da un nodulo solido ipoecogeno.







OMBRE ACUSTICHE LATERALI



- Quando il fascio US incontra nel suo percorso una struttura tondeggiante, solida o fluida, per cui gli ultrasuoni si propagano con una velocità diversa rispetto ai tessuti circostanti (velocità maggiore se solida e minore se fluida) si può osservare questo artefatto.

Esempi :

- Formazioni cistiche o solide all'interno di parenchimi (metastasi)



OMBRE ACUSTICHE LATERALI





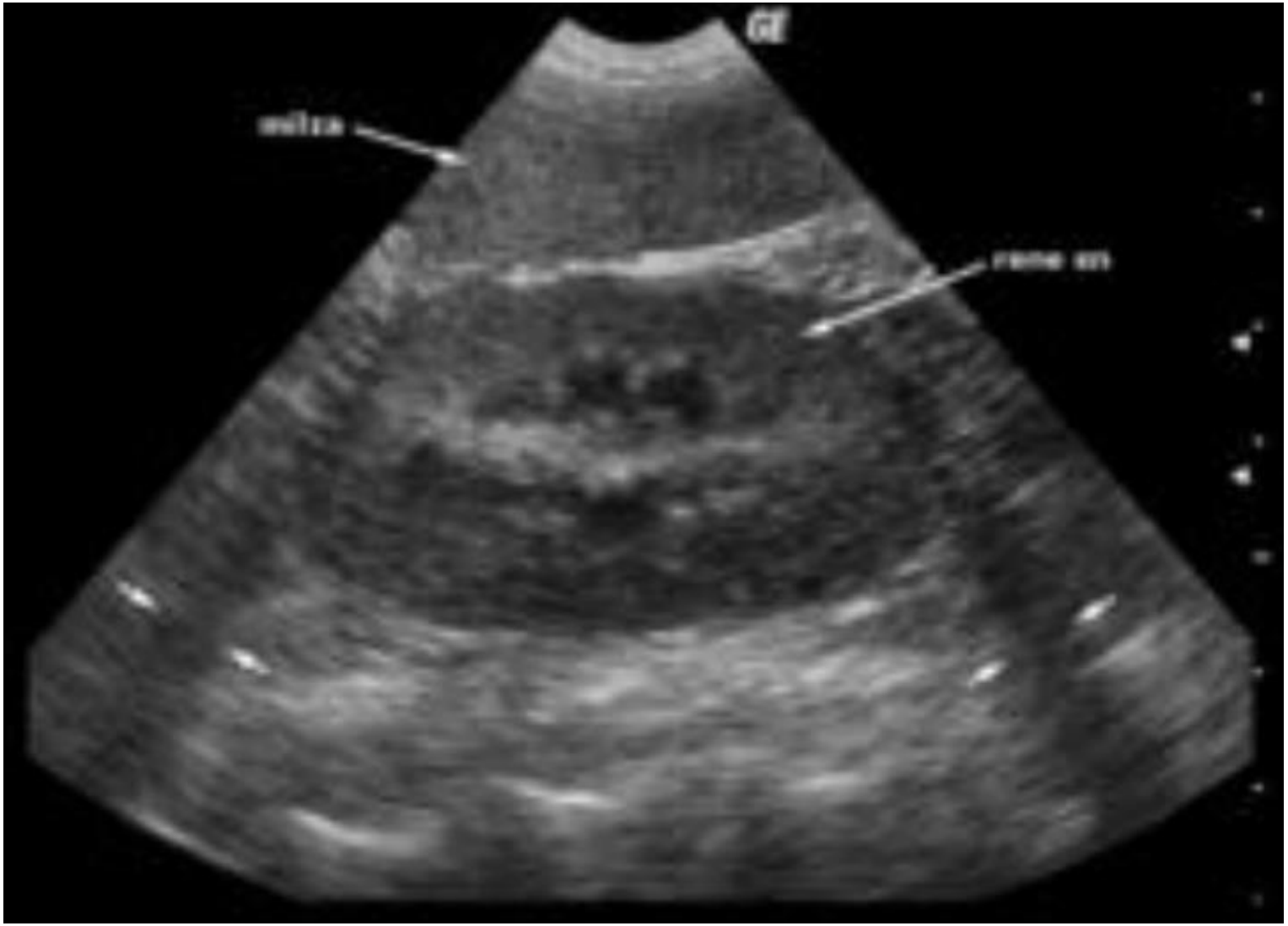
- Il contenuto della raccolta conduce gli US meno velocemente dei tessuti circostanti, per cui il fascio viene deviato verso il tessuto percorso a minor velocità con effetto di convergenza

- Al contrario quando il fascio incidente incontra tangenzialmente la parete (liscia,solida e regolare) che trasmette gli US più velocemente, i raggi rifratti divergono

- In questo modo la porzione di fascio propagata oltre i bordi laterali della formazione rotondeggiante risulta attenuata sino a scomparire del tutto nel punto in cui i **fenomeni di riflessione e rifrazione sono massimi**



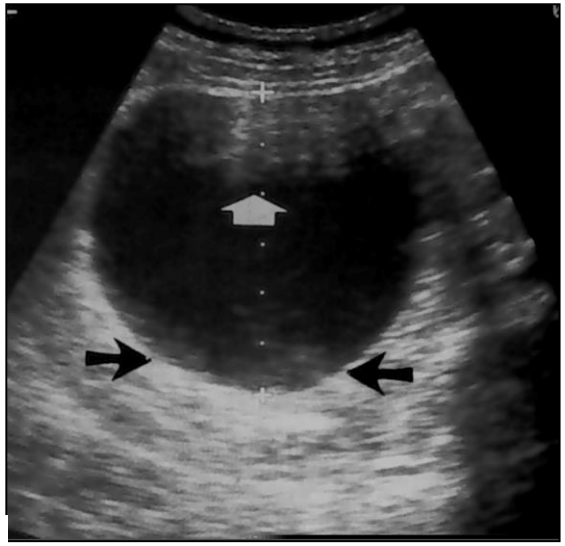
OMBRE ACUSTICHE LATERALI

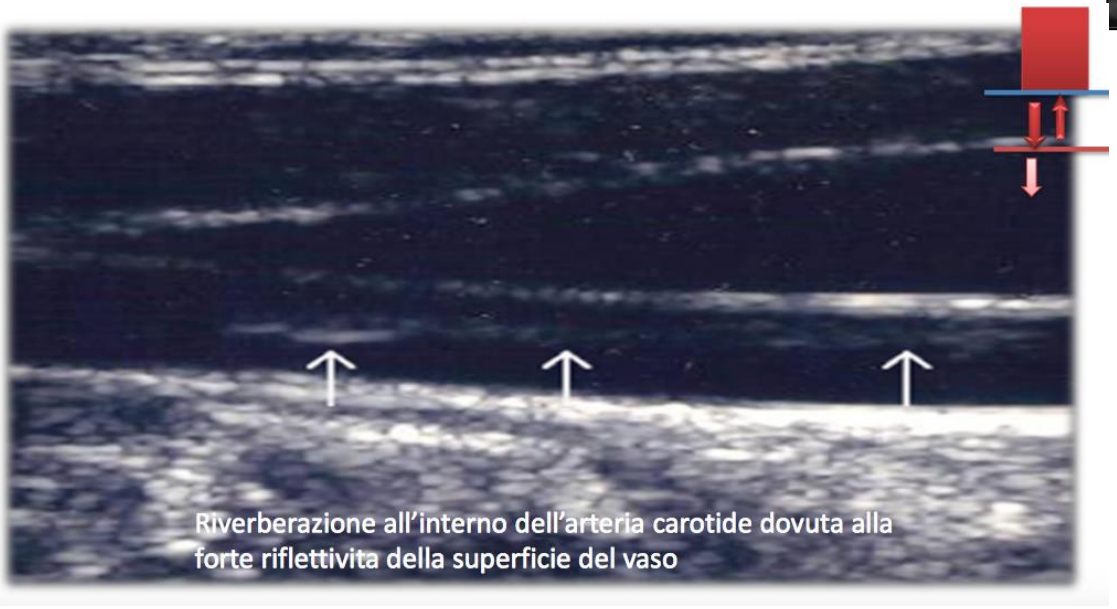




EFFETTO PIOGGIA

- Consiste nella comparsa di deboli echi aggettanti in una struttura liquida dalla sua parete superficiale ed è dovuta a **fenomeni di riverberazioni multiple** di tipo diffuso tra i diversi strati di tessuti molli sovrastanti tale parete





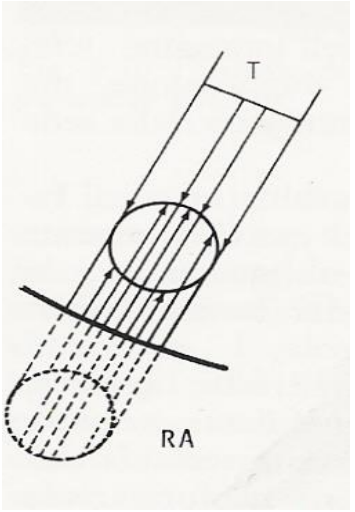
Riverberazione all'interno dell'arteria carotide dovuta alla forte riflettività della superficie del vaso

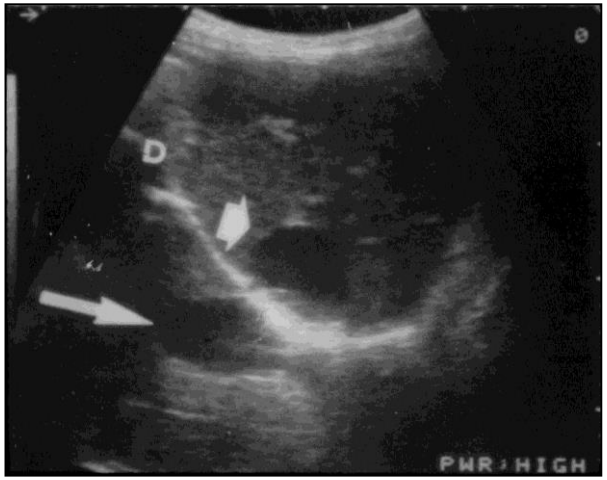
Si può osservare:
nella colecisti, vescica, grosse cisti, raccolte fluide saccate…come ECHI SOFFUSI E SOSPESI!



EFFETTO SPECCHIO

- Effetto per cui una **formazione** posta fra il **trasduttore** ed una **interfaccia curva dotata di forte riflessione** speculare, determina una seconda immagine artefattuale falsa.
- E' dovuto a **riflessioni multiple** tra l'interfaccia e la struttura da esaminare, la macchina perciò rileva due formazioni speculari.



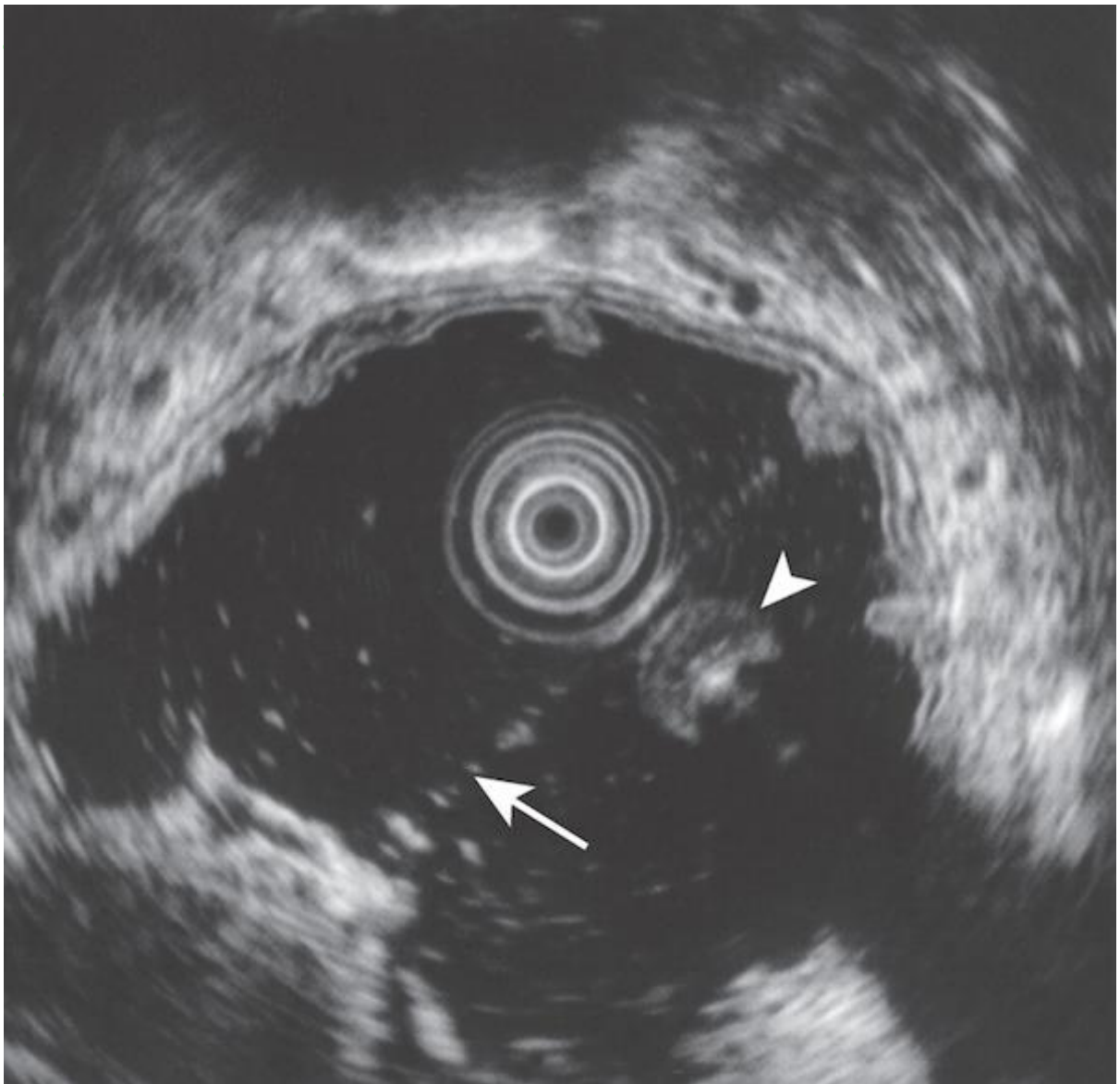


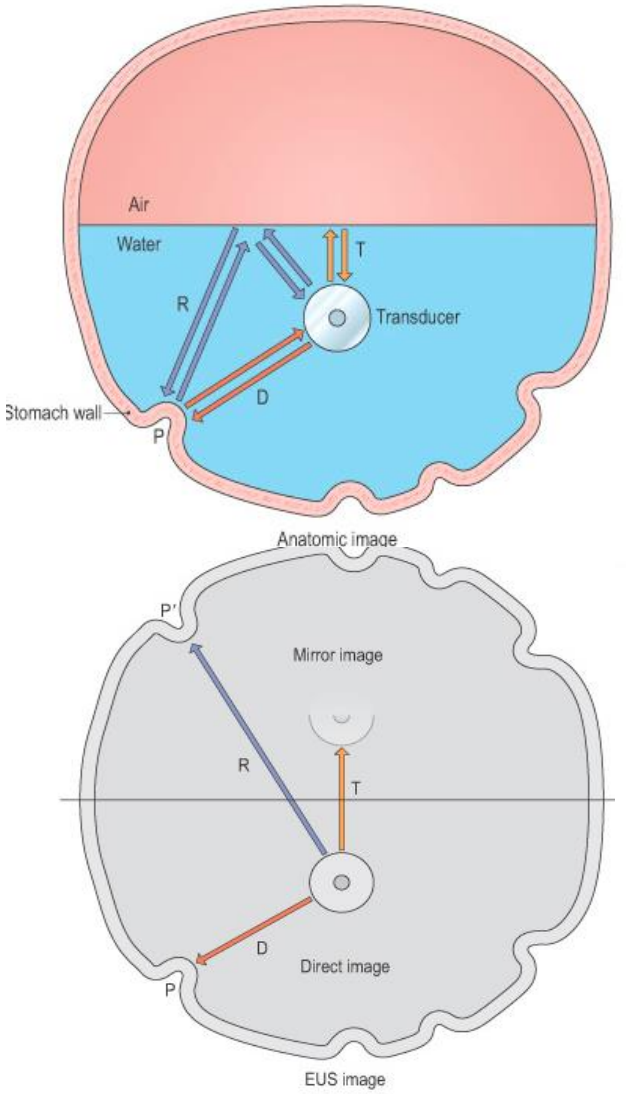


N.B. = Un'immagine "reale" sarà visibile in tutte le scansioni, mentre, un artefatto da specchio no!!



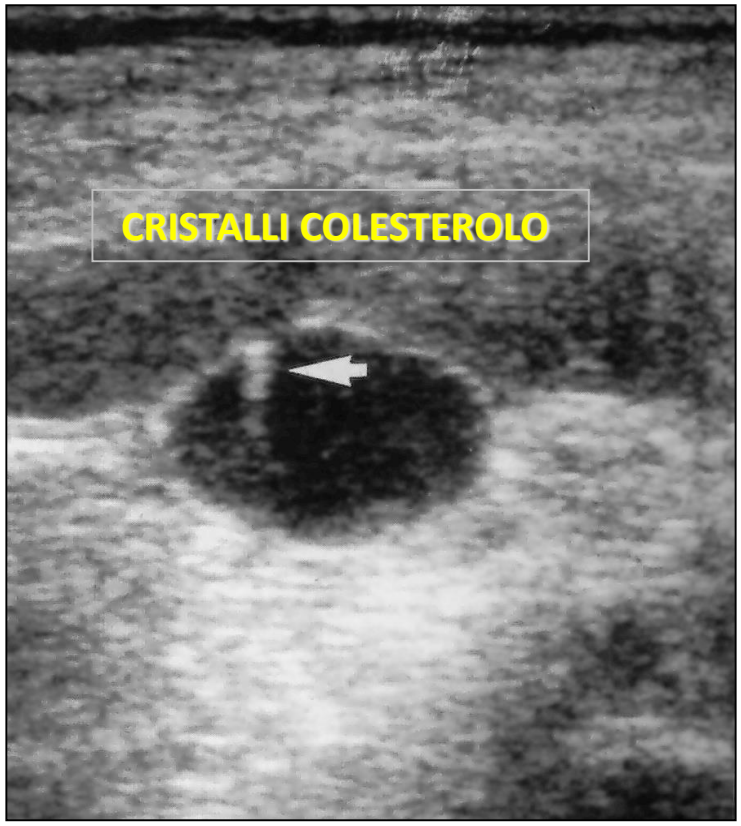
EFFETTO SPECCHIO





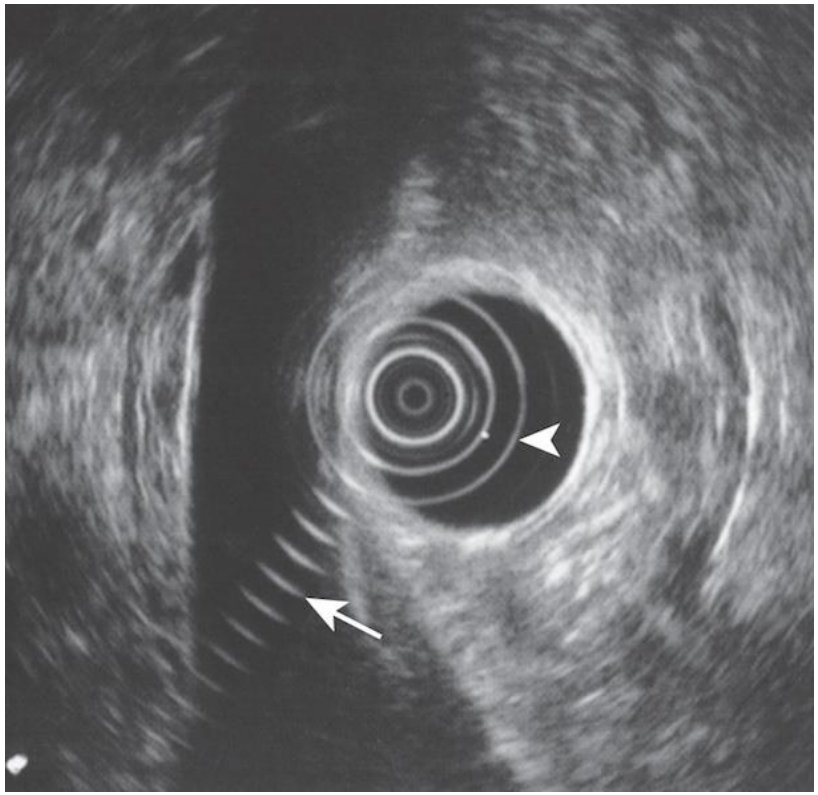
ARTEFATTO A CODA DI COMETA

- Si verifica in presenza di **piccole strutture ad elevata impedenza** acustica quali **microcalcificazioni**, **cristalli di colesterolo, punti metallici, dispositivi intrauterini**
- **Artefatto da reverberazione** causato da riflessioni multiple tra parete posteriore e anteriore di una struttura
- Riflessioni multiple con comparsa di **echi paralleli vicini e sempre più piccoli distalmente**



RING DOWN ARTIFACT

- Si può osservare posteriormente a **strutture contenenti liquido e bolle d'aria come una striscia ecogena continua o una serie di bande parallele iperecogene orientate lungo il fascio ultrasonoro**
- Quando gli us incontrano le microbolle gassose mescolate al liquido si determina un effetto di risonanza delle stesse producendo un nuovo fascio us con frequenza caratteristica e diversa dal fascio incidente producendo una serie di bande parallele (**ringing**: vibrare come un campanello elettrico)
- A differenza dell'art. a coda di cometa le linee iperecogene appaiono fluttuanti e mobili allontanandosi dal trasduttore (pneumobilia, ascessi o gas nei vasi portali)

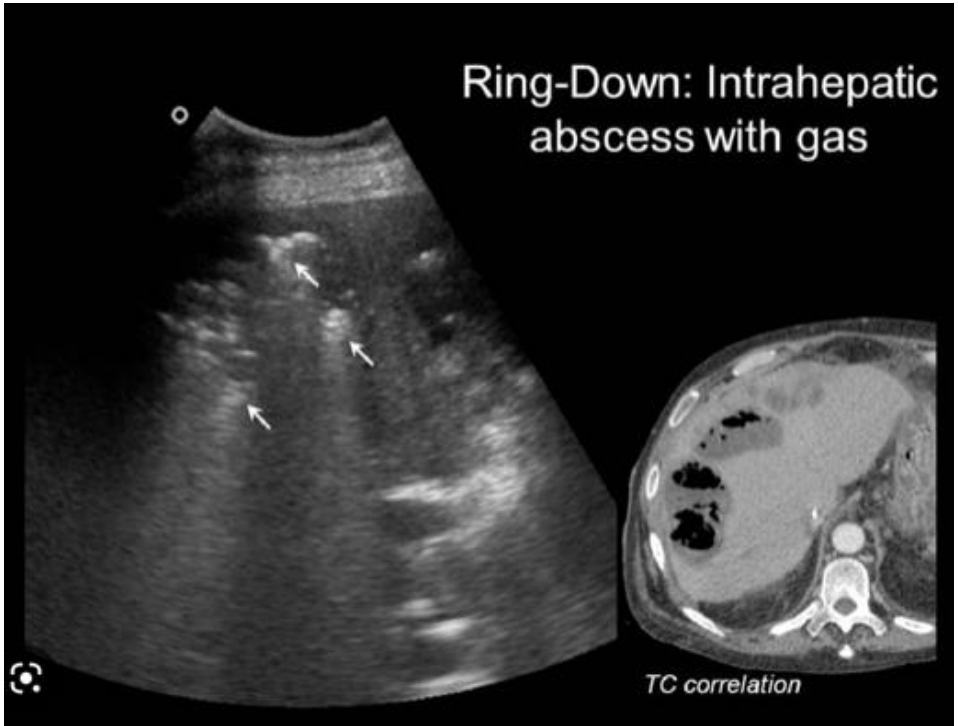


ARTEFATTO A CODA DI COMETA





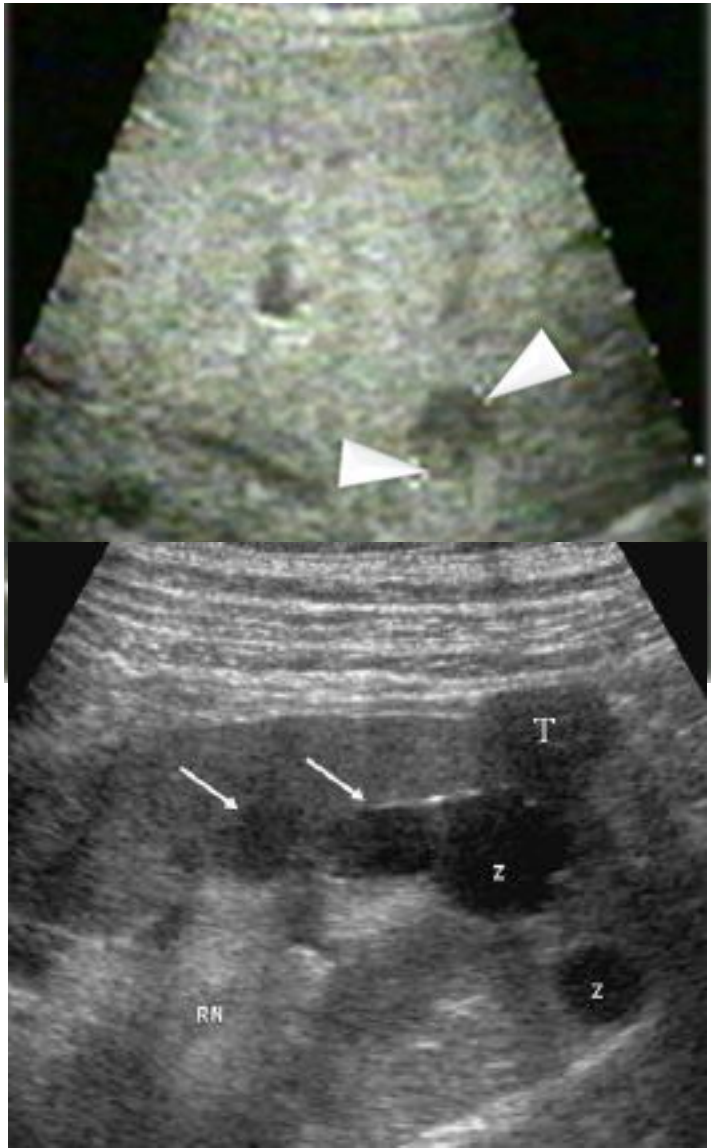
RING DOWN ARTIFACT





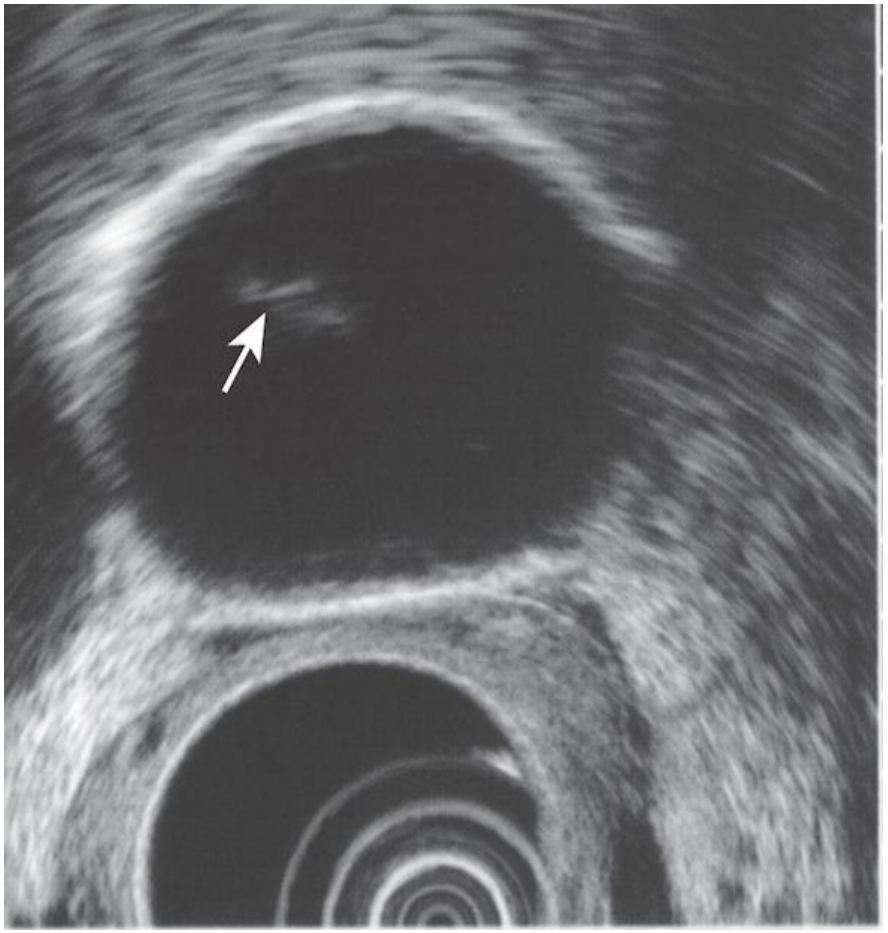
ARTEFATTO DA VOLUME PARZIALE

- Le immagini ecografiche sono delle **ricostruzioni bidimensionali** di volumi tridimensionali: **si possono formare echi artefattuali sovrapposti**
- Si possono creare echi all'interno di raccolte liquide comprese all'interno di un tessuto solido (*struttura liquida che appare solida),* scomparsa del cono d'ombra posteriore di piccoli calcoli, scomparsa del rinforzo posteriore di piccole cisti
- La presenza di più fuochi o stringere il fascio US sulla formazione da studiare possono eliminare tale artefatto





ARTEFATTO DA VOLUME PARZIALE





ARTEFATTO DEI LOBI LATERALI

ARTEFATTO INSIDIOSO!

- Il fascio US è costituito da un fascio principale (fascio centrale o lobo centrale) e da multipli fasci secondari di intensità minore divergenti (fasci laterali o lobi laterali per la letteratura anglosassone).

- Quando gli us dei lobi laterali incontrano una superficie riflettente e inclinata rispetto al fascio principale producono degli echi di ritorno interpretati dallo scan converter come originati dal fascio centrale determinando una falsa immagine posizionata al centro dell'immagine

- Si verifica in corrispondenza della parete posteriore di strutture che contengono liquido (colecisti, vescica, cisti..) dando luogo a echi disposti nella porzione posteriore della struttura fluida simulando la presenza di materiale ecogeno inesistente



ARTEFATTO DEI LOBI LATERALI

- ARTEFATTO INSIDIOSO!

- DD:
- In genere il fango o materiale corpuscolato si dispone orizzontalmente senza alcuna concavità (art. concavità verso l'alto!)
- Variare l'inclinazione della sonda, ridurre il gain, regolare i fuochi!





EUS ACADEMY
I SESSIONE

PERUGIA 2-3 Febbraio 2022
SALA U. MERCATI
OSPEDALE SANTA MARIA DELLA MISERICORDIA

Nozioni di Ecocontrastografia

Dott. Olivia Morelli

S.C. Gastroenterologia ed Epatologia

Università degli Studi - Azienda Ospedaliera di Perugia

Avanzamento delle tecniche ecografiche

- **Tissue harmonic enhancement (THE)**
- Contrast Enhanced US (CEUS)/ Contrast Harmonic-EUS (CH-EUS)
- Elastosonography/ EUS-Elastography (EUS-E)
- Combined CH-EUS and EUS-E

Harmonic Enhancement

- **Armonica di tessuto**:

le frequenze armoniche generate nel tessuto da US lungo il percorso di propagazione vengono usate per costruire un'immagine di qualità superiore derivante da una ottima risoluzione laterale derivante dal fascio stretto dell'armonica

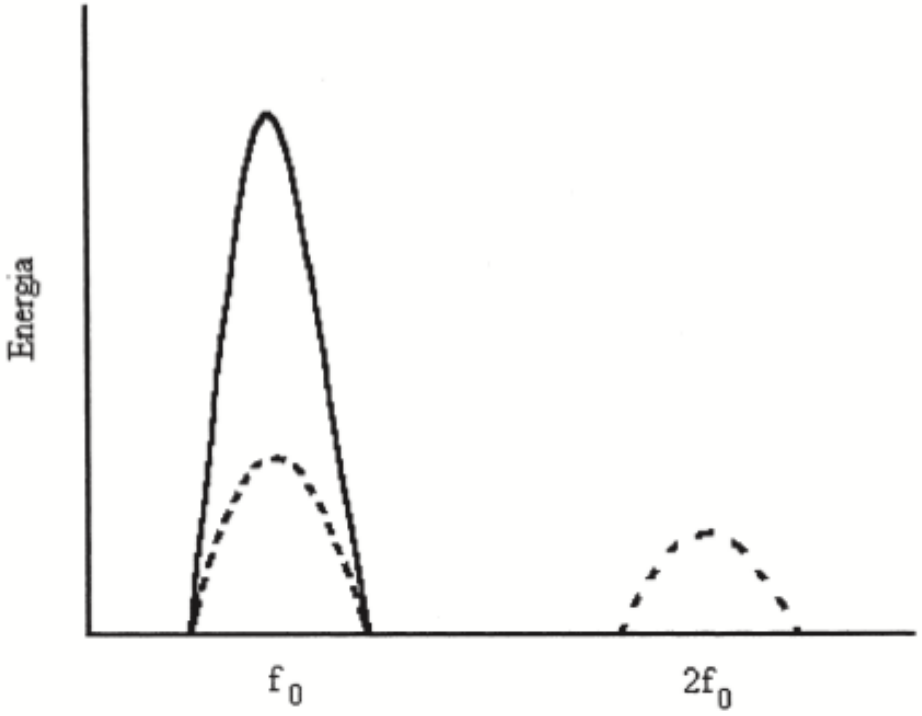
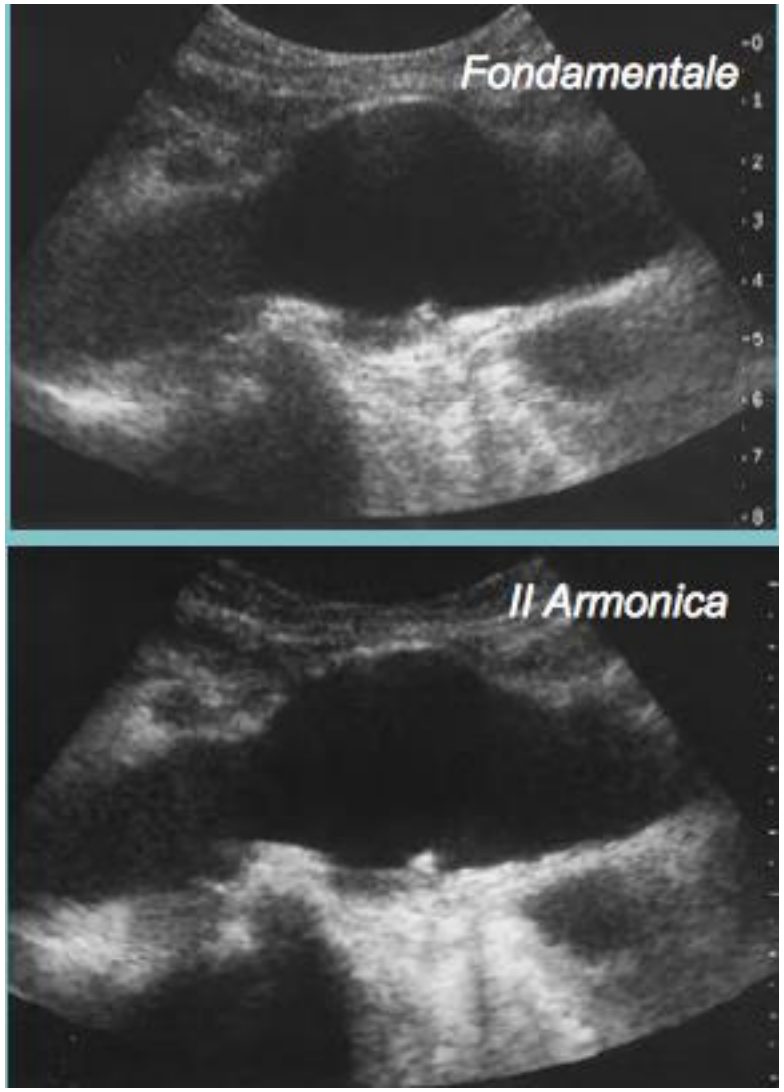


Figura 1. *Risposta non lineare: rappresentazione schematica dei segnali riflessi da un tessuto insonicato. Oltre alle onde riflesse alla stessa frequenza di quella di emissione ma di intensità minore, sono anche presenti onde con più bassa energia e con frequenza multipla rispetto a quella fondamentale. La* linea continua *rappresenta l'energia dell'onda in trasmissione; la* linea tratteggiata *rappresenta l'energia dell'onda in ricezione.* f_0 *= frequenza fondamentale;* $2f_0$ *= seconda armonica.*

Harmonic Enhancement:

riduzione degli artefatti, migliore la nitidezza dell'immagine

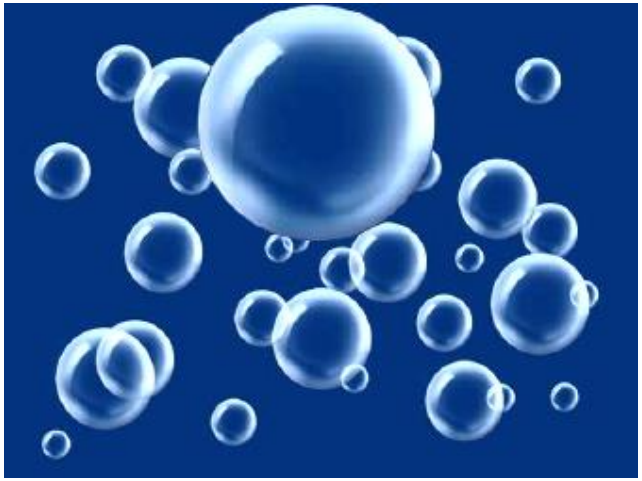


Avanzamento delle tecniche ecografiche

- Tissue harmonic enhancement (THE)
- **Contrast Enhanced US (CEUS)/ Contrast Harmonic-EUS (CH-EUS)**
- Elastosonography/ EUS-Elastography (EUS-E)
- Combined CH-EUS and EUS-E

Cosa sono i MdC Ecografici?

Sirsi S, Borden M. Microbubble Compositions, Properties and Biomedical Applications. Bubble Sci Eng Technol. 2009 Nov;1(1-2):3-17. doi: 10.1179/175889709X446507. PMID: 20574549; PMCID: PMC2889676.

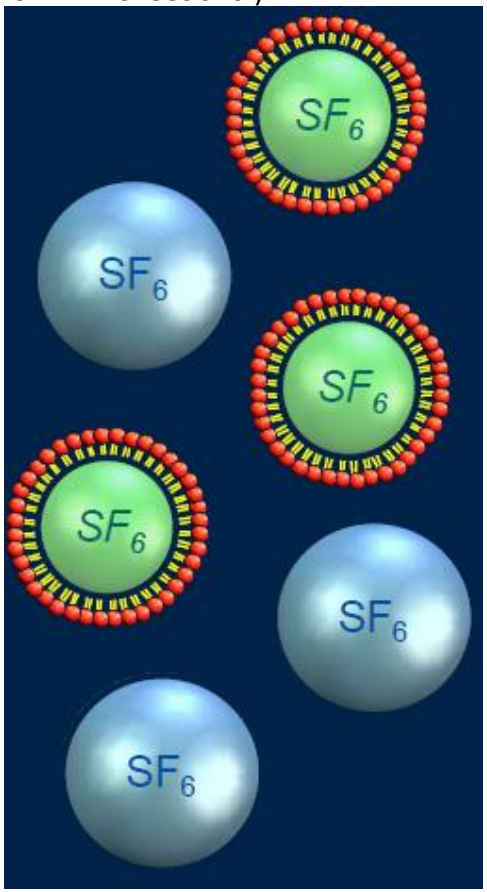


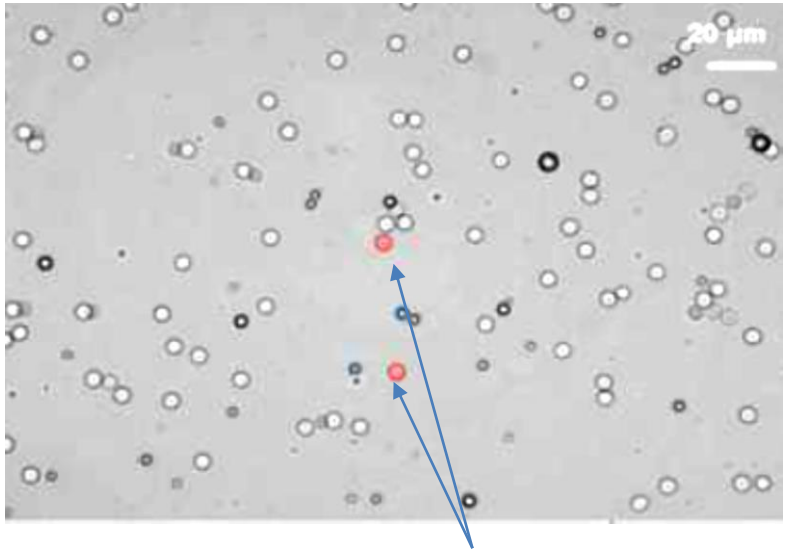
- Sono microbolle contenenti
  - aria o gas,
- Stabilizzate da un “guscio” macromolecolare di varia natura:
  - tensioattivi, lipidi, proteine, polimeri o una combinazione di questi materiali.

Hanno dimensioni ridotte (fisiologicamente sicuri)

(Sirsi S, Borden M. Microbubble Compositions, Properties and Biomedical Applications. Bubble Sci Eng Technol. 2009 Nov;1(1-2):3-17. doi: 10.1179/175889709X446507. PMID: 20574549; PMCID: PMC2889676.)

- Le dimensioni delle microbolle sono simili a quelle dei Globuli rossi
  - Passano agevolmente anche nei capillari



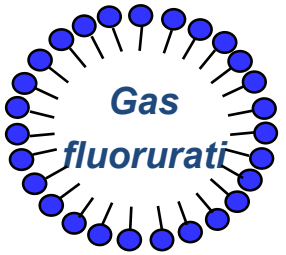


Microbolle: $\Phi \sim 10\ \mu m$

MdC-US Seconda generazione

(Lencioni R, Cioni D, Bartolozzi C. Tissue harmonic and contrast-specific imaging: back to gray scale in ultrasound. Eur Radiol. 2002 Jan;12(1):151-65. doi: 10.1007/s003300101022. Epub 2001 Sep 6. PMID: 11868093.) (Ziegler, L., & O'Brien, R. T. (2002). HARMONIC ULTRASOUND: A REVIEW. Veterinary Radiology Ultrasound, 43(6), 501–509. doi:10.1111/j.1740-8261.2002.tb01040.x)

- Microbolle stabilizzate da gusci di differente costituzione contenenti differenti Gas Fluorurati Inerti:
  - **Guscio lipidico (fosfolipidi)**
    - **Gas: sulphur hexafuoride (Sonovue® - Bracco Imaging)**
  - Guscio proteico (Albumina)
    - Gas: Perfluorocarbon (Optison® - GE Healthcare)
  - Guscio misto: uova-idrogenate+fosfatidilserina sodica
    - Gas: Perfluorobutane (Sonazoid® - Ge Healthcare)



MdC Ecografici 2°Generazione: Uso clinico

(Lencioni R, Cioni D, Bartolozzi C. Tissue harmonic and contrast-specific imaging: back to gray scale in ultrasound. Eur Radiol. 2002 Jan;12(1):151-65. doi: 10.1007/s003300101022. Epub 2001 Sep 6. PMID: 11868093.) (Ziegler, L., & O'Brien, R. T. (2002). HARMONIC ULTRASOUND: A REVIEW. Veterinary Radiology Ultrasound, 43(6), 501–509. doi:10.1111/j.1740-8261.2002.tb01040.x)

- Incremento segnale Doppler



- Incremento informazioni diagnostiche in:
  - Perfusione tissutale (*normale vs. patologico)*
  - Visualizzazione e caratterizzazione di lesioni parenchimali
  - Studio neo-angiogenesi

Differenze di comportamento rispetto agli altri mezzi di contrasto

(Lencioni R, Cioni D, Bartolozzi C. Tissue harmonic and contrast-specific imaging: back to gray scale in ultrasound. Eur Radiol. 2002 Jan;12(1):151-65. doi: 10.1007/s003300101022. Epub 2001 Sep 6. PMID: 11868093.) (Ziegler, L., & O'Brien, R. T. (2002). HARMONIC ULTRASOUND: A REVIEW. Veterinary Radiology Ultrasound, 43(6), 501–509. doi:10.1111/j.1740-8261.2002.tb01040.x)(Bokor D, Chambers JB, Rees PJ, Mant TG, Luzzani F, Spinazzi A. Clinical safety of SonoVue, a new contrast agent for ultrasound imaging, in healthy volunteers and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Invest Radiol. 2001 Feb;36(2):104-9. doi: 10.1097/00004424-200102000-00006. PMID: 11224758.)

- Modificano l'impedenza acustica dei tessuti
  - Interazione col fascio ultrasonoro (ecogenicità)
- Restano all'interno del lume vascolare
  - Blood Pool Agents
- Aumentano significativamente l'ecogenicità del sangue
- Eliminazione
  - I gas sono eliminati per via respiratoria
  - I componenti del guscio sono metabolizzati



Caratteristiche della microbolla

(Epstein PS, Plesset MS On the Stability of Gas Bubbles in Liquid-Gas Solutions The Journal of Chemical Physics Vol. 18, N. 11 Nov. (1950) 1505-9)(Chen Q, Zagzebski J, Wilson T, Stiles T. Pressure-dependent attenuation in ultrasound contrast agents. Ultrasound Med Biol. 2002 Aug;28(8):1041-51. doi: 10.1016/s0301-5629(02)00546-x. PMID: 12217440.)(Chen WS, Matula TJ, Crum LA. The disappearance of ultrasound contrast bubbles: observations of bubble dissolution and cavitation nucleation. Ultrasound Med Biol. 2002 Jun;28(6):793-803. doi: 10.1016/s0301-5629(02)00517-3. PMID: 12113792.)

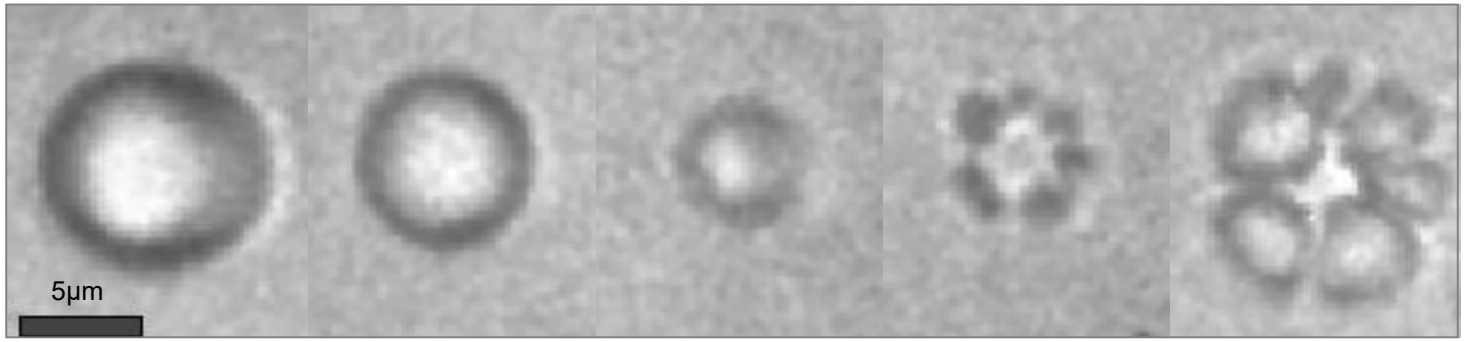
- Ecogenicità
  - Garantita dalla flessibilità del guscio
- Durata per il tempo necessario ad effettuare l'esame ecografico (3'-7')
  - Correlata al gas interno che consente la resistenza alle variazioni pressorie:
    - Ideale una massima stabilità per ridurre al minimo la distruzione delle microbolle durante il passaggio in distretti ad alta pressione quali
      - Il territorio trans-polmonare e
      - Le camere cardiache

Con alti MI si ha la rottura delle microbolle

James E. Chomas et al., University of California, Biomedical Engineering Division, Davis CA, USA; Proc. IEEE Ultrasonics Symp., 1999.(de Jong N, Frinking PJ, Bouakaz A, Goorden M, Schourmans T, Jingping X, Mastik F. Optical imaging of contrast agent microbubbles in an ultrasound field with a 100-MHz camera. Ultrasound Med Biol. 2000 Mar;26(3):487-92. doi: 10.1016/s0301-5629(99)00159-3. PMID: 10773381.)



- Emissione di un'ampia gamma di frequenze, diverse da quella di insonazione, visualizzabili dall'ecografo
- Durata estremamente ridotta dell'effetto contrastografico
- Interferenza del segnale dei tessuti con quello delle microbolle.



Fotocamera ad alta velocità (12.500.000 frames/s)

Cos'è l'Indice Meccanico (Mechanical Index – MI)

(Dawson, Cosgrove: Textbook of Contrast Media Martin Dunitz 2002)
(Rossi,Calliada,Martegani:MEZZI DI CONTRASTO PER ECOGRAFIA ed.Poletto 2004)

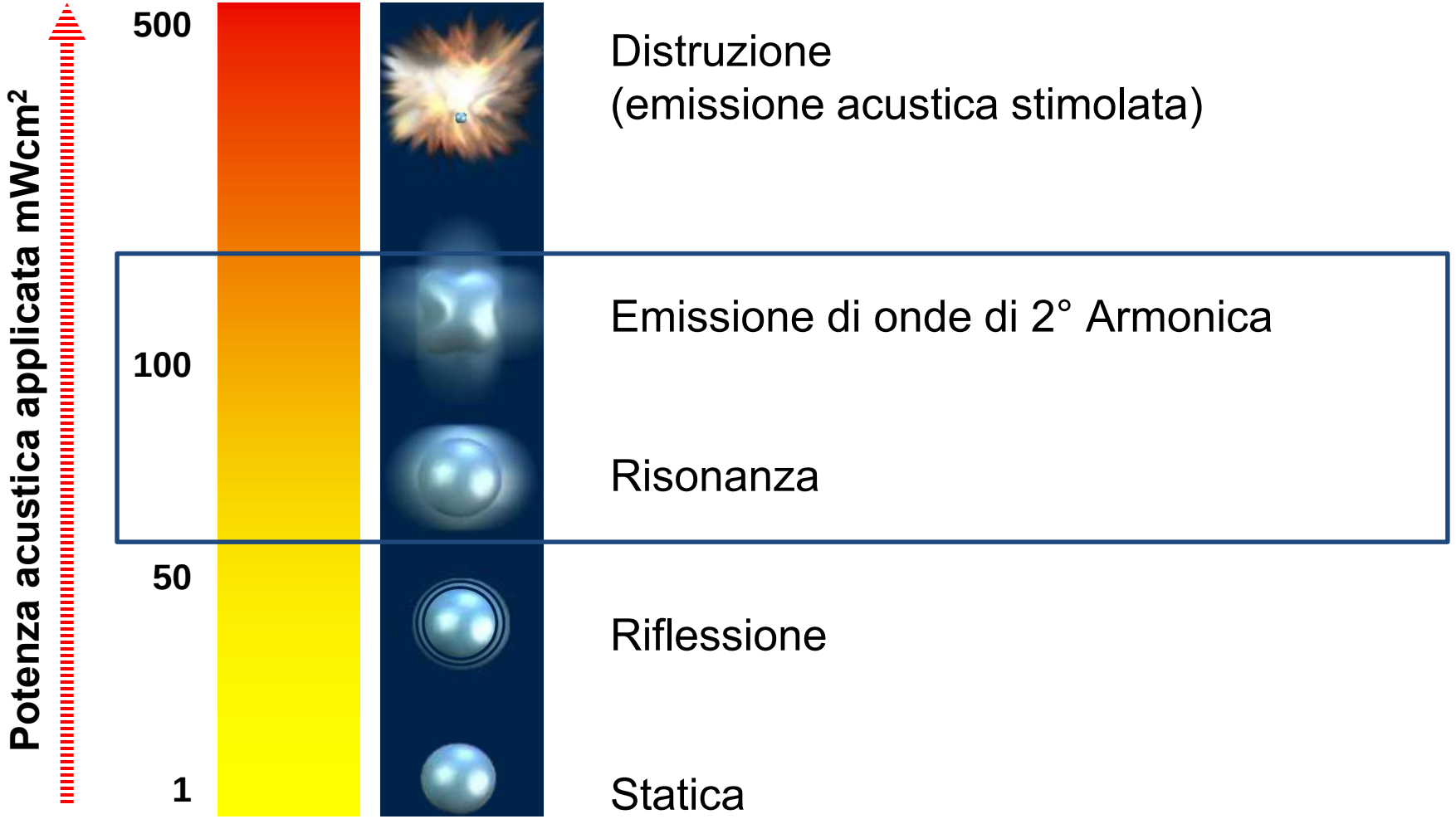
- Misura la pressione incidente delle onde US e l'energia cui è sottoposta una microbolla (o tessuto).
- **Interferisce notevolmente con l'utilità clinica dell'esame.**
- Si calcola in funzione del fuoco dell'onda US e varia inversamente con il variare della profondità oltre che nelle differenti apparecchiature.
- È dato da:

$$MI = Pneg \div \sqrt{f}$$

- Dove
  - P_{neg}=picco di rarefazione (negativo) della pressione ultrasonora
  - f = frequenza dell'onda ultrasonora

Riassumendo: Comportamento Acustico Microbolle

(Qin S, Caskey CF, Ferrara KW. Ultrasound contrast microbubbles in imaging and therapy: physical principles and engineering. Phys Med Biol. 2009 Mar 21;54(6):R27-57. doi: 10.1088/0031-9155/54/6/R01. Epub 2009 Feb 19. PMID: 19229096; PMCID: PMC2818980.)(Chen Q, Zagzebski J, Wilson T, Stiles T. Pressure-dependent attenuation in ultrasound contrast agents. Ultrasound Med Biol. 2002 Aug;28(8):1041-51. doi: 10.1016/s0301-5629(02)00546-x. PMID: 12217440.))



Quando le microbolle entrano in risonanza ed emettono segnali di 2°armonica

- le microbolle non vengono distrutte dal fascio US
- È possibile visualizzare il microcircolo dell'organo/tessuto in esame *(perfusione)*
- l'esame contrastografico è eseguibile in tempo reale in modo molto simile all'esame basale
- Necessari, però:
  - ecografi dotati di sistemi contrasto-specifici e
  - Agenti CE-US di 2° generazione.

Riassumendo i MdC Ecografici possono essere usati:

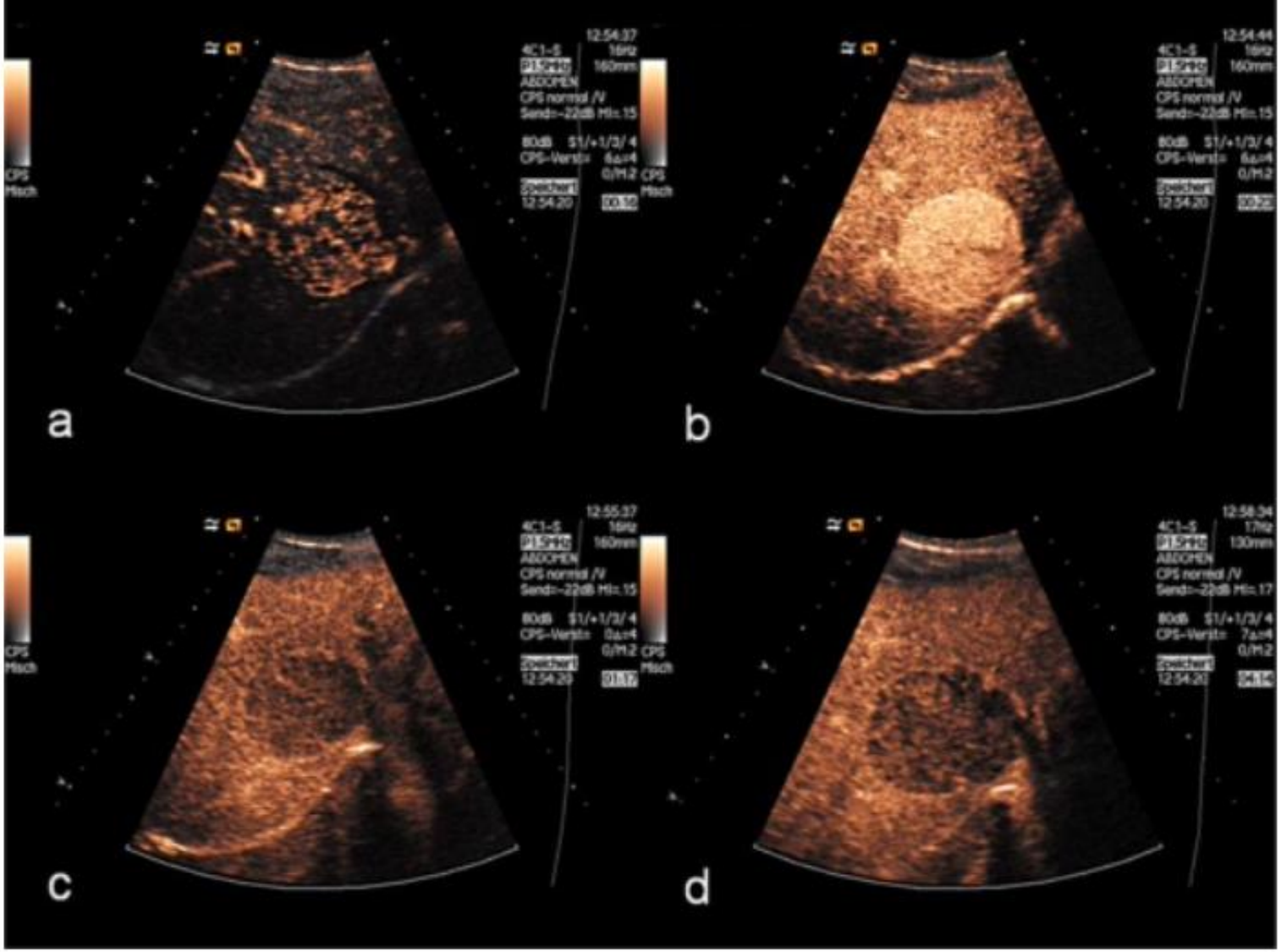
L.Solbiati et al. Contrast-Enhanced Ultrasound of Liver Diseases Springer ed 2003 ISBN 88-470-0207-9



Con softwares contrasto specifici

Imaging real-time di perfusione d'organo (CE-US)

Imaging Real-Time (MI medio-basso con conservazione microbolle



In the early arterial phase (a), 16 s after SonoVue injection, the lesion displays a strong enhancement, most of the liver parenchyma being only partially filled with contrast medium. During the arterial phase (b), the lesion shows a strong, homogenous enhancement. In the portal venous phase (c), there is partial washout of contrast medium from the lesion, here appearing hypo-enhancing compared to the homogenously enhancing normal liver. In the delayed phase (d), 4 min after injection of the contrast medium, the lesion shows a hypoechoic, sharply circumscribed punched-out enhancement defect.



Il falso specchio

1928 René Magritte