

# Fondamenti di Bioingegneria

*Laurea in  
Ingegneria Informatica, Biomedica e delle Telecomunicazioni*

**Fabio Baselice**

*Ultrasuoni*

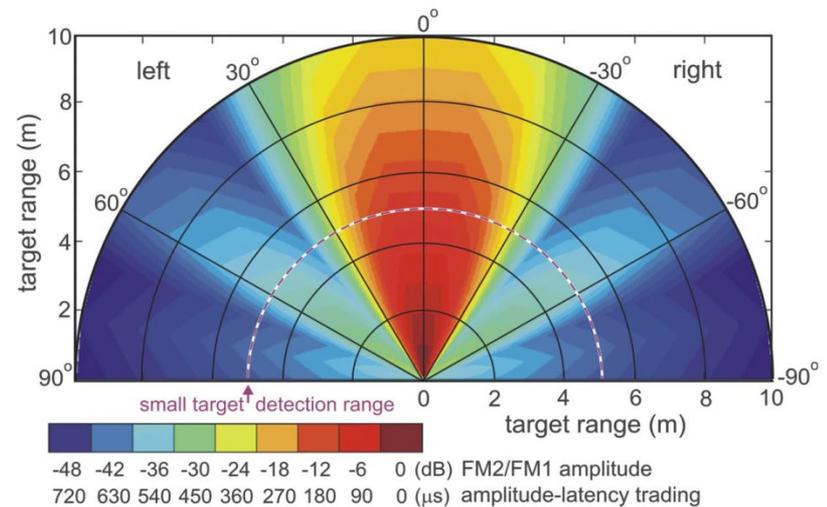
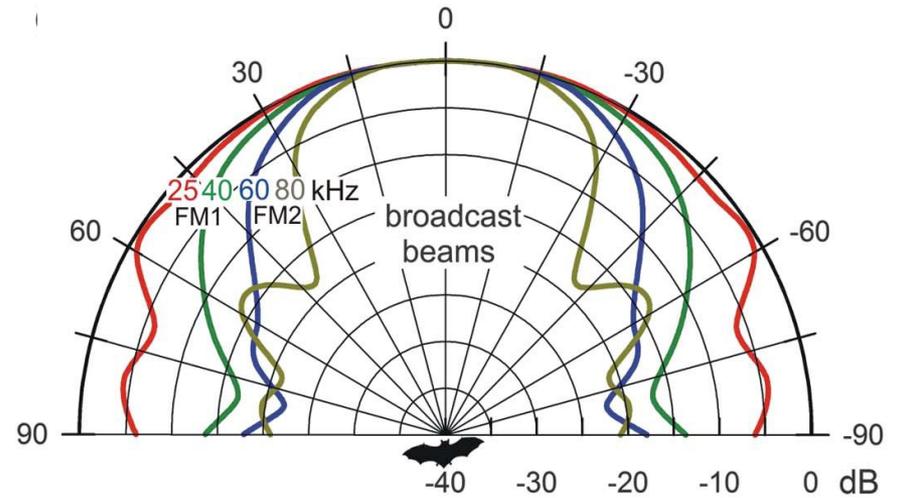
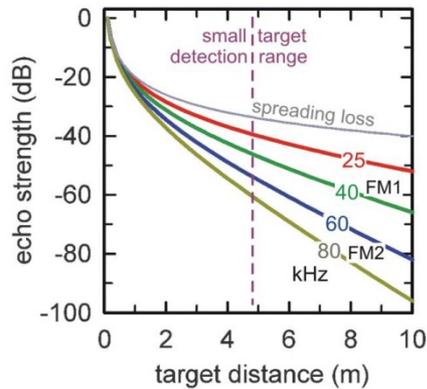
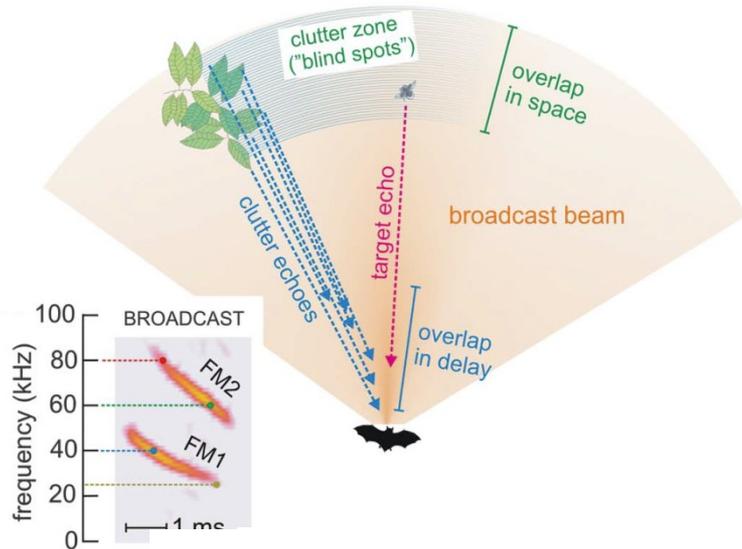


# Introduzione

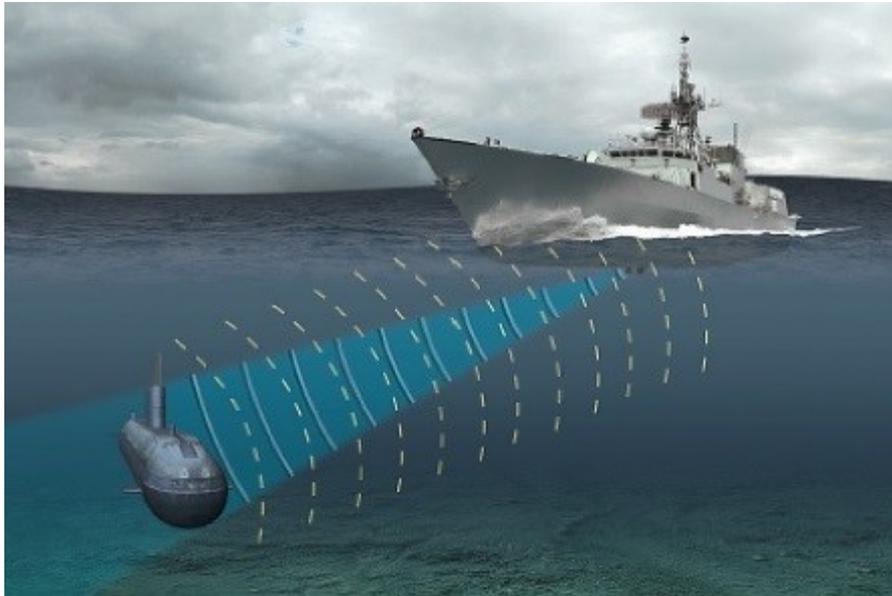
- ▶ L'ecografia (in inglese Ultrasound - US) è la tecnica standard di imaging clinico più economica e più facilmente trasportabile.
- ▶ Può acquisire continuamente immagini in tempo reale con minime problematiche di sicurezza.
- ▶ Un sistema ecografico è in grado di misurare:
  - informazioni morfologiche;
  - informazioni strutturali;
  - flusso sanguigno in tempo reale;
  - Velocità sanguigna in un determinato vaso.
- ▶ I sistemi ecografici sono largamente usati in ostetricia e ginecologia grazie all'assenza di radiazioni ionizzanti o forti campi magnetici.



# Ultrasuoni in natura

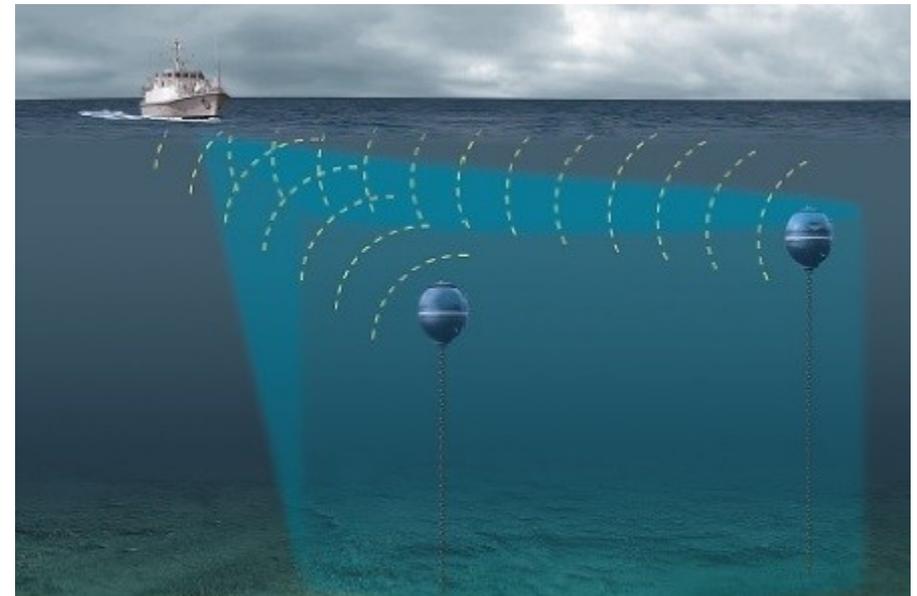


# Gli ultrasuoni in ambito militare e di navigazione



I sonar marittimi tipicamente lavorano alle medie frequenze (24 kHz) con fasci di emissione stretti per garantire acquisizioni grandi distanze in acque profonde.

Integrano un trasduttore ed un ricetrasmittitore digitale.

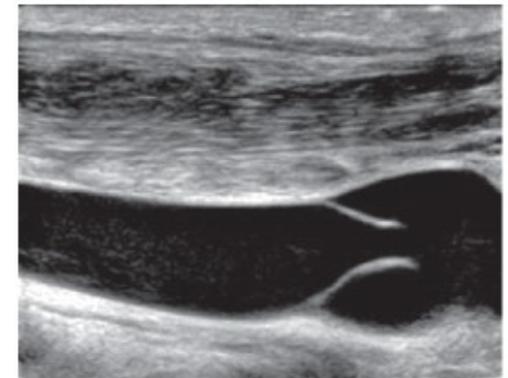
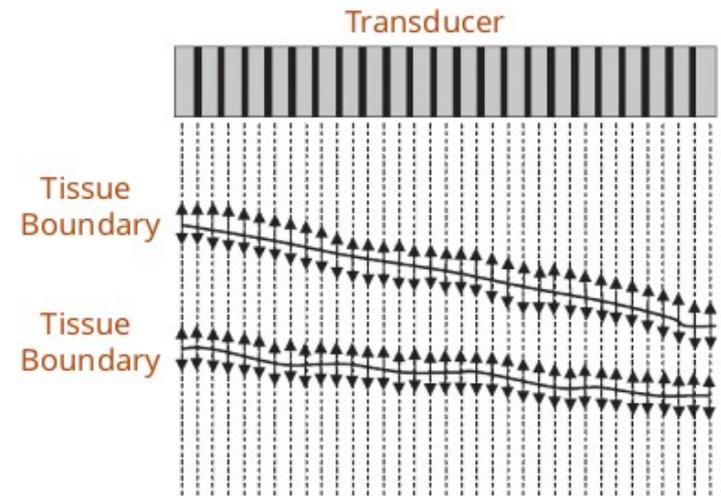


# Gli ultrasoni nell'imaging biomedico

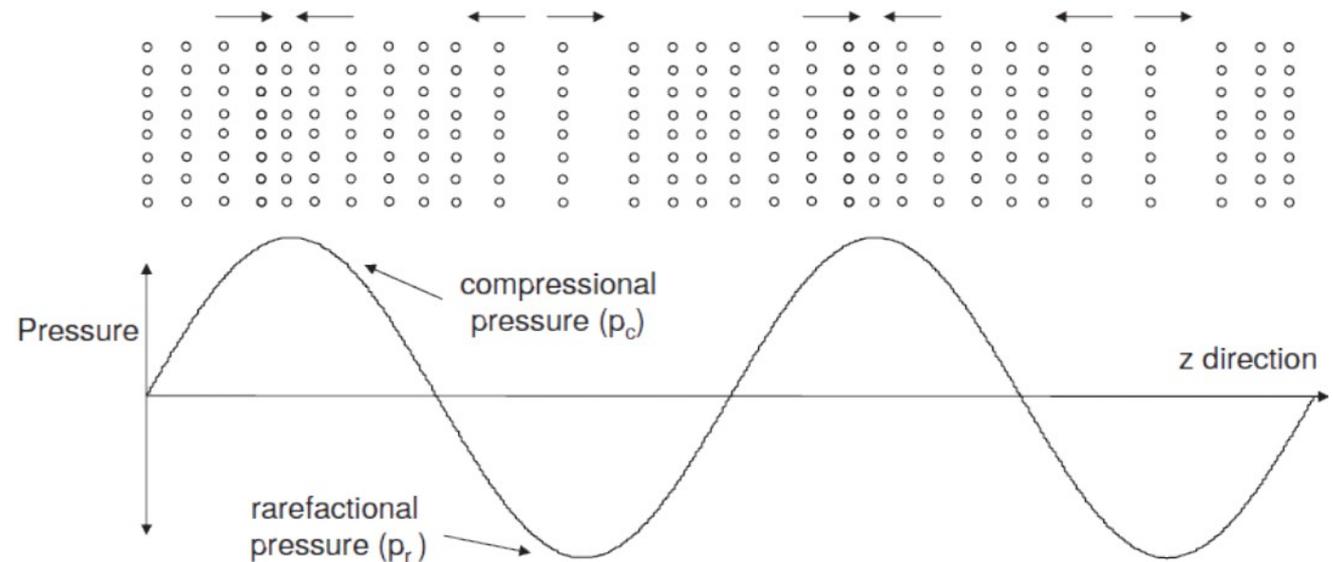


# Gli ultrasuoni nell'imaging biomedico

- ▶ Gli ultrasuoni sono onde meccaniche. In ambito clinico:
  - Frequenza  $\sim [1 - 15]$  MHz;
  - Vel. di propagazione  $\sim 1540$  m/s
  - Lunghezze d'onda  $\sim [0.1 - 1.5]$  mm.
- ▶ Le onde ultrasonore sono prodotte da un trasduttore generalmente composto da centinaia ( $>500$ ) di sorgenti attive.
- ▶ L'energia delle onde è riflessa in presenza dei bordi dei tessuti che hanno proprietà acustiche e fisiche differenti.



# Propagazione delle onde meccaniche



# Propagazione delle onde meccaniche

- ▶ Spostamento delle particelle ( $W$ )  $\sim 0.1\text{nm}$
- ▶ Velocità di propagazione ( $c$ )
- ▶ Densità del tessuto ( $\rho$ )
- ▶ Compressibilità del tessuto ( $\kappa$ )
- ▶ Velocità delle particelle ( $u_z$ )  $\sim 0.01\text{m/s}$
- ▶ Pressione dell'onda acustica ( $p$ ) [Pa]
- ▶ Impedenza acustica del tessuto ( $Z$ )

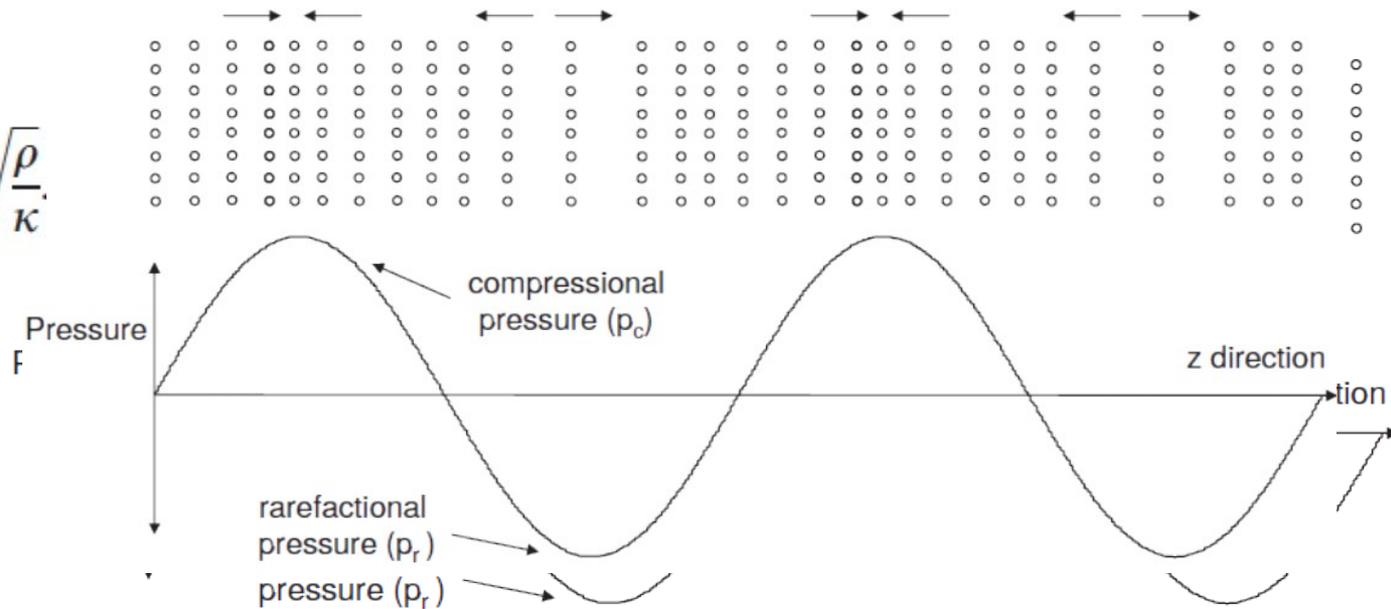
$$c = \frac{1}{\sqrt{\kappa\rho}}$$

$$u_z = \frac{dW}{dt}$$

$$p = \rho c u_z$$

$$Z = \frac{p}{u_z}$$

$$Z = \rho c = \rho \frac{1}{\sqrt{\rho\kappa}} = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$



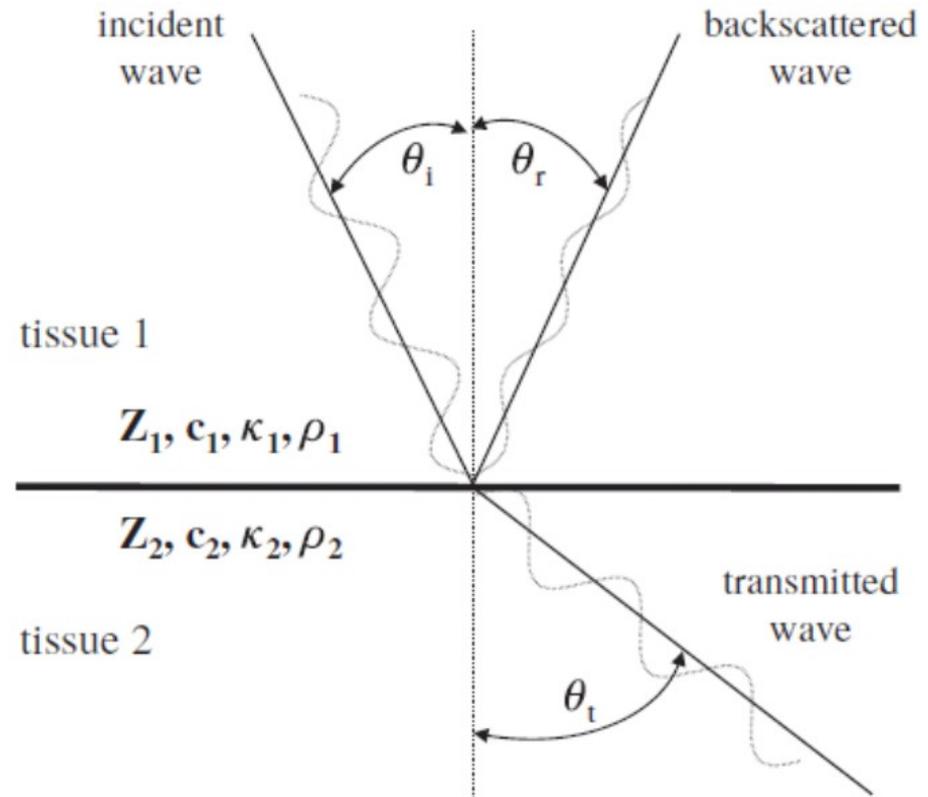
# Proprietà acustiche dei tessuti

	$Z \times 10^5 \text{ (g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}\text{)}$	Speed of sound ( $\text{m s}^{-1}$ )	Density ( $\text{gm}^{-3}$ )	Compressibility $\times 10^{11}$ ( $\text{cm g}^{-1} \text{ s}^2$ )
Air	0.00043	330	1.3	70000
Blood	1.59	1570	1060	4.0
Bone	7.8	4000	1908	0.3
Fat	1.38	1450	925	5.0
Brain	1.58	1540	1025	4.2
Muscle	1.7	1590	1075	3.7
Liver	1.65	1570	1050	3.9
Kidney	1.62	1560	1040	4.0



# Riflessione e trasmissione nei bordi

$$\theta_i = \theta_r, \quad \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} = \frac{c_1}{c_2},$$



- ▶ Pressione trasmessa ( $p_t$ )
- ▶ Pressione riflessa ( $p_r$ )
- ▶ Intensità trasmessa ( $I_t$ )
- ▶ Intensità riflessa ( $I_r$ )
- ▶ Angle of incidence ( $\theta_i$ )
- ▶ Angle of reflection ( $\theta_r$ )
- ▶ Angle of transmission ( $\theta_t$ )

# Riflessione e trasmissione nei bordi

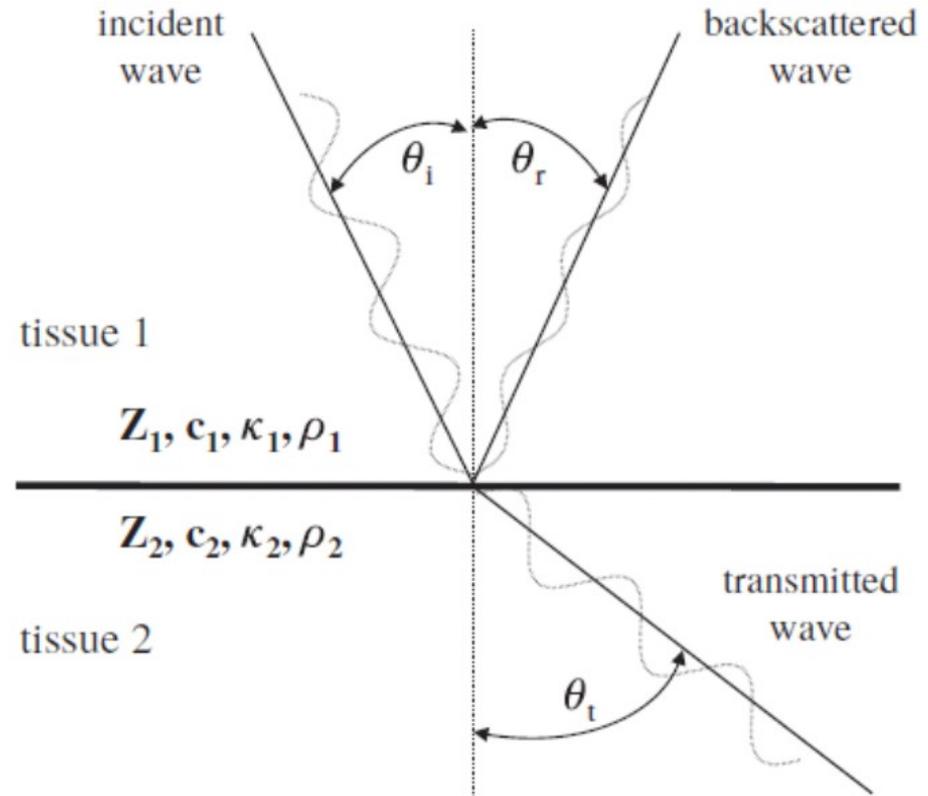
$$\theta_i = \theta_r, \quad \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} = \frac{c_1}{c_2},$$

$$R_p = \frac{p_r}{p_i} = \frac{Z_2 \cos\theta_i - Z_1 \cos\theta_t}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t},$$

$$T_p = \frac{p_t}{p_i} = \frac{2Z_2 \cos\theta_i}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t},$$

$$T_I = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_2 Z_1 \cos^2\theta_i}{(Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t)^2}.$$

$$R_I = \frac{I_r}{I_i} = \frac{(Z_2 \cos\theta_i - Z_1 \cos\theta_t)^2}{(Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t)^2},$$



- ▶ Pressione trasmessa ( $p_t$ )
- ▶ Pressione riflessa ( $p_r$ )
- ▶ Intensità trasmessa ( $I_t$ )
- ▶ Intensità riflessa ( $I_r$ )
- ▶ Angle of incidence ( $\theta_i$ )
- ▶ Angle of reflection ( $\theta_r$ )
- ▶ Angle of transmission ( $\theta_t$ )

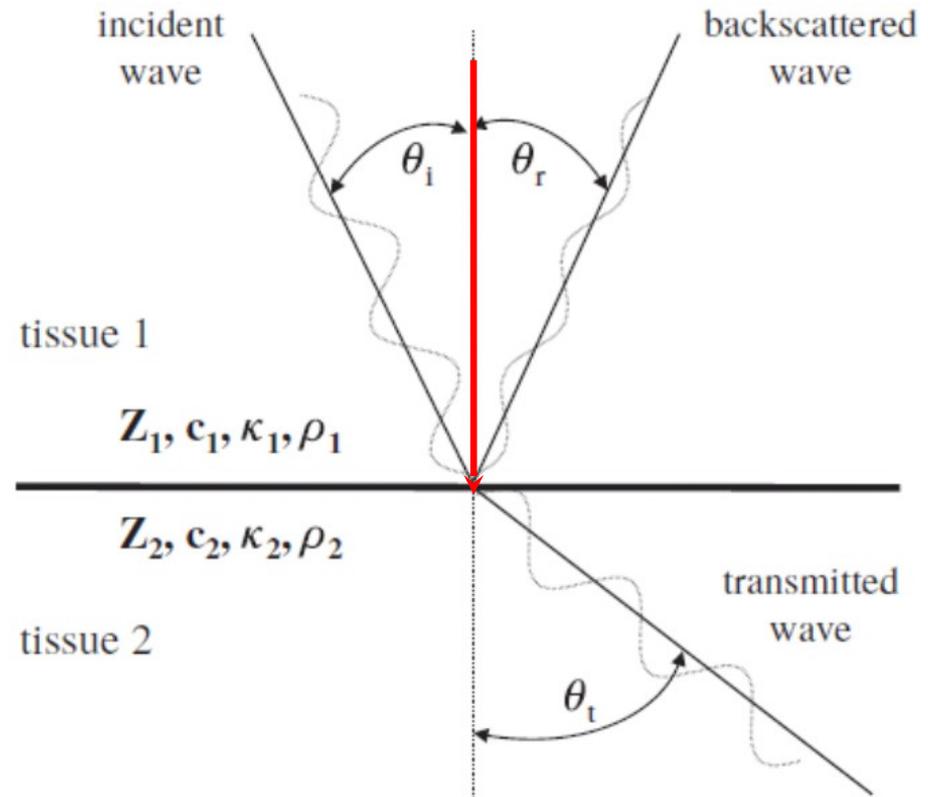
# Riflessione e trasmissione nei bordi

$$R_p = \frac{p_r}{p_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

$$T_p = \frac{p_t}{p_i} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$$

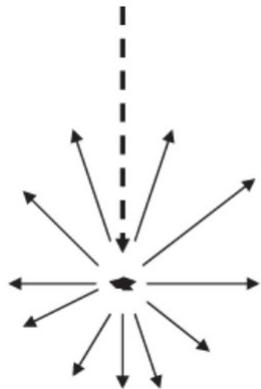
$$R_I = \frac{I_r}{I_i} = R_p^2 = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

$$T_I = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$



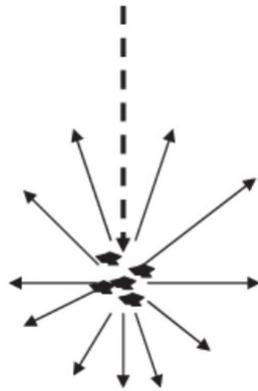
- ▶ Pressione trasmessa ( $p_t$ )
- ▶ Pressione riflessa ( $p_r$ )
- ▶ Intensità trasmessa ( $I_t$ )
- ▶ Intensità riflessa ( $I_r$ )
- ▶ Angle of incidence ( $\theta_i$ )
- ▶ Angle of reflection ( $\theta_r$ )
- ▶ Angle of transmission ( $\theta_t$ )

# Riflessione da piccole strutture

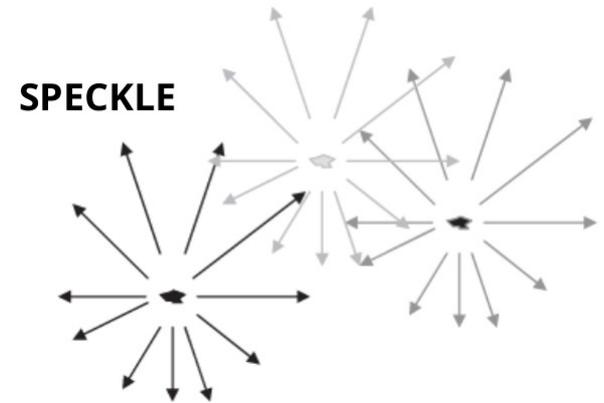


## Riflessione di Rayleigh

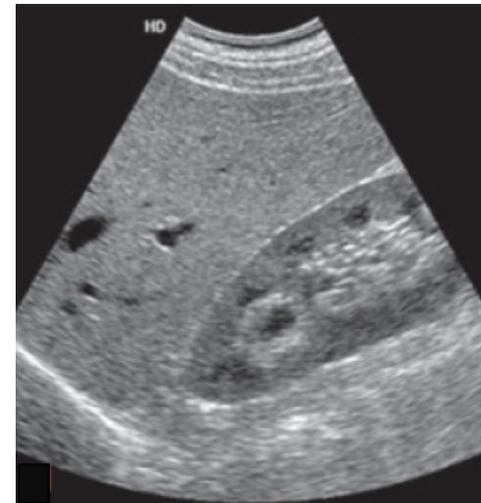
Struttura piccola rispetto alla lunghezza d'onda



Le riflessioni da tante strutture piccole e vicine so sommano in maniera costruttiva

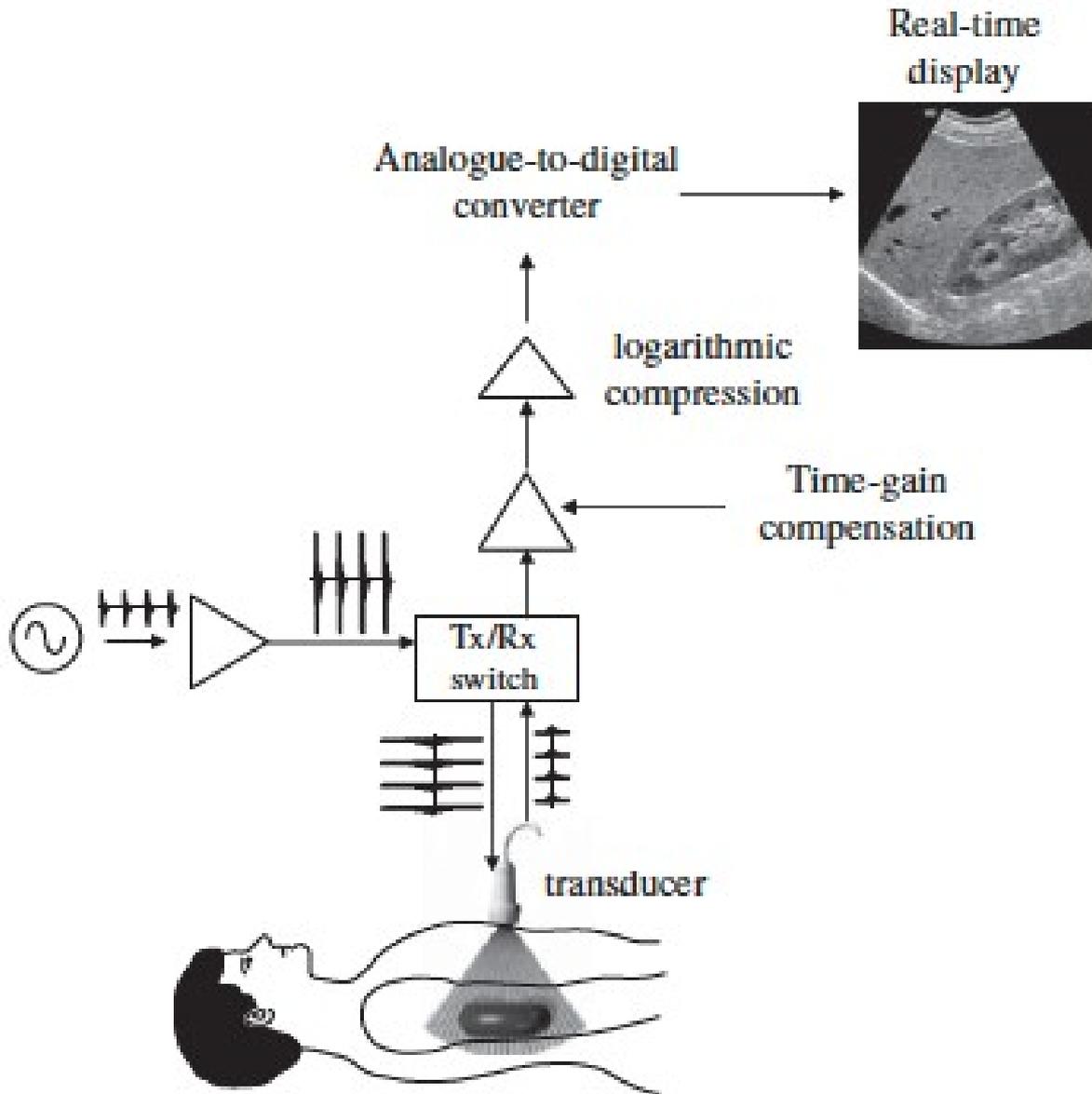


La riflessione da strutture relativamente distanti produce onde riflesse che si sommano in maniera costruttiva e distruttiva → **speckle**.



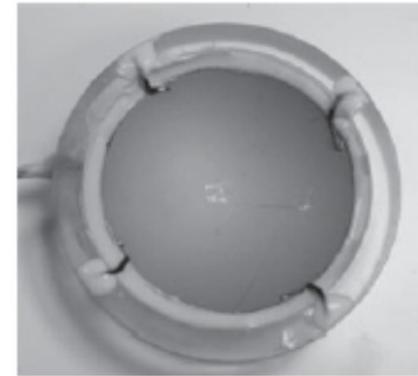
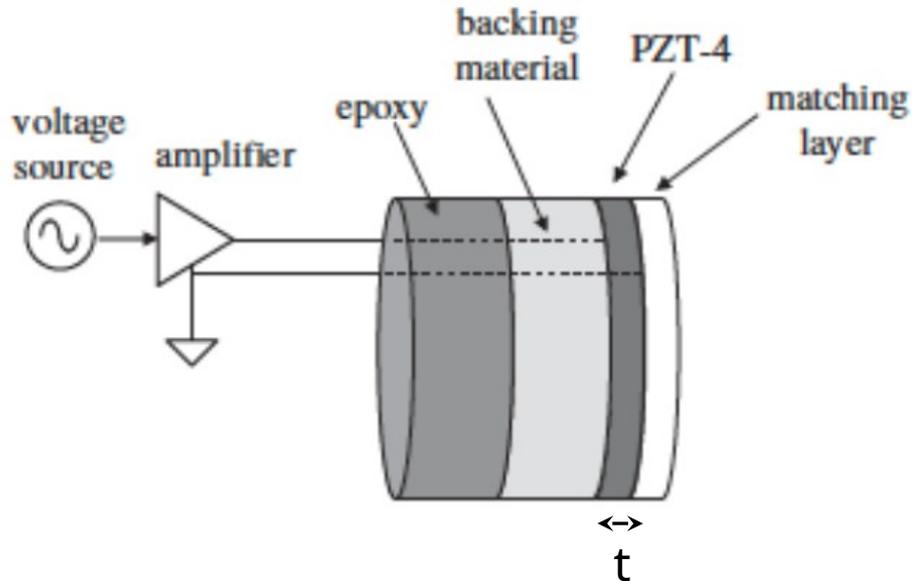
# Strumentazione

- ▶ Un generatore che produce impulsi di tensione periodici.
- ▶ I segnali prodotti sono amplificati e forniti allo switch che li collega al trasduttore.
- ▶ L'onda di tensione è convertito dal trasduttore in un'onda meccanica che è trasmessa nel corpo del soggetto.



**I principali elementi di un sistema di imaging ecografico**

# Trasduttore singolo



Un trasduttore on un elemento PZT (piezoelettrico) piatto

Elementi PZT piatti ed emisferici

$$t = \frac{\lambda_{\text{crystal}}}{2} = \frac{c_{\text{crystal}}}{2f_0} \Rightarrow f_0 = \frac{c_{\text{crystal}}}{2t}$$

- ▶ Frequenza di risonanza ( $f_0$ )
- ▶ Lunghezza d'onda nel cristallo ( $\lambda_{\text{crystal}}$ )
- ▶ Impedenza del trasduttore  $Z_{\text{PZT}}$
- ▶ Impedenza della pelle  $Z_{\text{skin}}$