

**FENOMENI ONDULATORI  
SUONI ED ULTRASUONI**



**FISICA MEDICA E RADIOPROTEZIONE**  
*elio giroletti, 2005*

classe lauree  
di **INFERMIERISTICA e OSTETRICIA**

corso integrato  
FISICA, STATISTICA e INFORMATICA  
disciplina: FISICA MEDICA e RADIOPROTEZIONE

---

---

---

---

---

---

---

---

**FENOMENI ONDULATORI  
SUONI ED ULTRASUONI**



**FISICA MEDICA E RADIOPROTEZIONE**  
*elio giroletti, 2005*

- onde sonore
- rumore – suono
- livello di pressione sonora
- decibel – livelli di rumore
- effetto doppler
- ecografia – ecodoppler

Lucidi di Domenico Scannicchio, rivisti da Elio Giroletti

---

---

---

---

---

---

---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni

**SUONO** ⓘ

**suono:** vibrazione meccanica delle particelle di un mezzo materiale (gas, liquido, solido)

$S(t) \equiv x(t) = x(t + T)$  funzione periodica generica  
funzione periodica **semplice:**  
 $S(t) \equiv x(t) = A \text{ sen } (\omega t + \phi)$

moto armonico intorno alla posizione di equilibrio

molecola in moto



CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

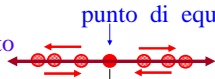
---

---

---

**SUONO** ②

punto di equilibrio

molecola in moto 

$x(t) = \text{spostamento}$

**fluidi:**

- spostamenti delle particelle
- addensamenti e rarefazioni
- compressioni e dilatazioni

$x(t) \equiv p(t) = \text{pressione}$

*onda di pressione o di spostamento che si propaga*

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

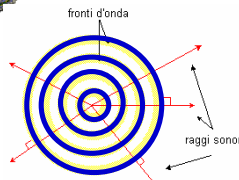
---

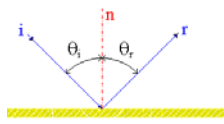
---

---

---

**sorgente sonora/rumorosa**

fronti d'onda  raggi sonori



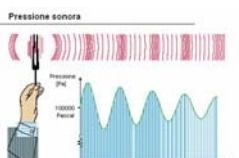
Pressione sonora 

Figure 08 Comparative periods of high and low frequency sound waves

Fonte: Medicoacustic, fond. di acustica.

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

---

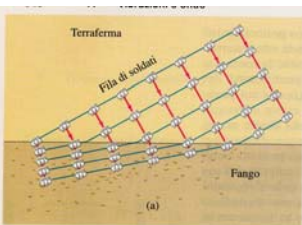
---

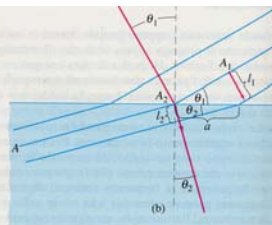
---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni

**RIFRAZIONE**

Terraferma  Fango



**FIGURA 11-42** Analogia con i soldati (a) per derivare la legge di rifrazione per le onde (b).

capire come ciò avvenga, e per riuscire a trovare una relazione quantitativa tra  $\theta_i$  e  $\theta_r$ , pensiamo a ogni fronte d'onda come a una fila di soldati. I soldati stanno marciando dalla terra ferma (mezzo 1) verso il fango (mezzo 2), dove ovviamente diminuiscono la loro andatura. I soldati che raggiungono per primi il fango vengono rallentati prima e la fila si piega

Foto: Giancoli, Fisica, ed. Ambrosiana, 2000

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

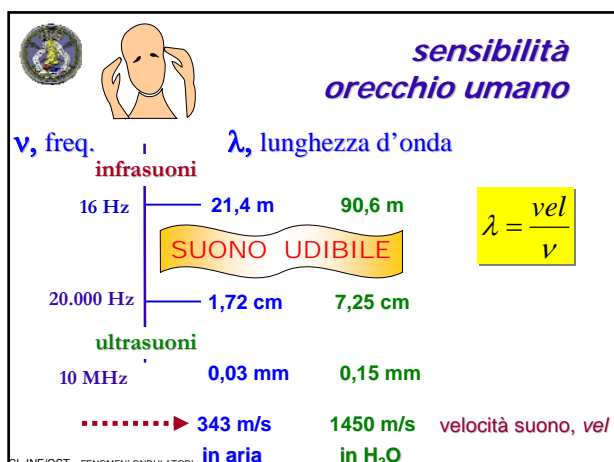
---

---

---

---

---




---

---

---

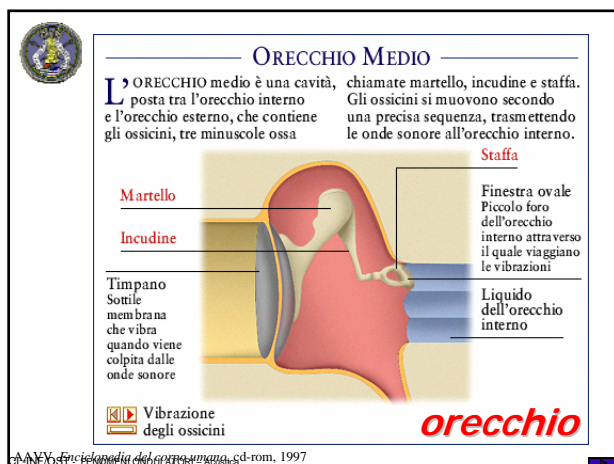
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

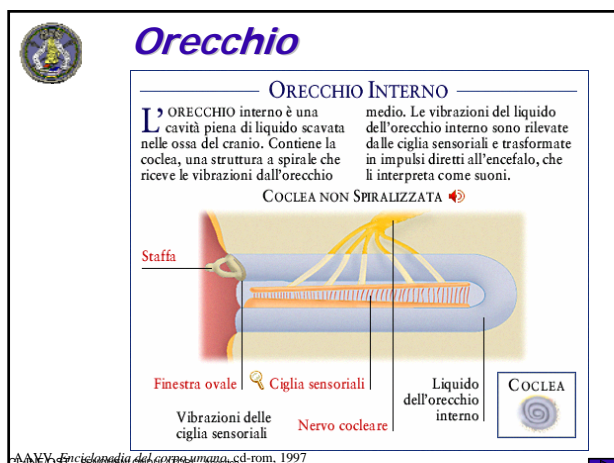
---

---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni




---

---

---

---

---

---

---

---

**Suono & rumore**

*caratteristiche di un suono*

- altezza → frequenza
- timbro → composizione armonica
- intensità →  $\frac{\text{energia}}{\Delta S \Delta t}$

- **Suono:** pressione sonora variabile nel tempo
- **Frequenza:** altezza del suono,  $\Delta = 1.250:1$
- **Pressione sonora:** intensità, potenza fonica, volume,  $\Delta = 3.500.000:1$

CL-INF/OIST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

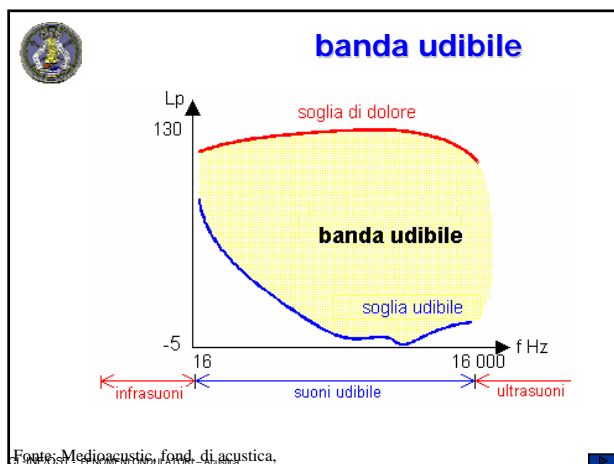
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

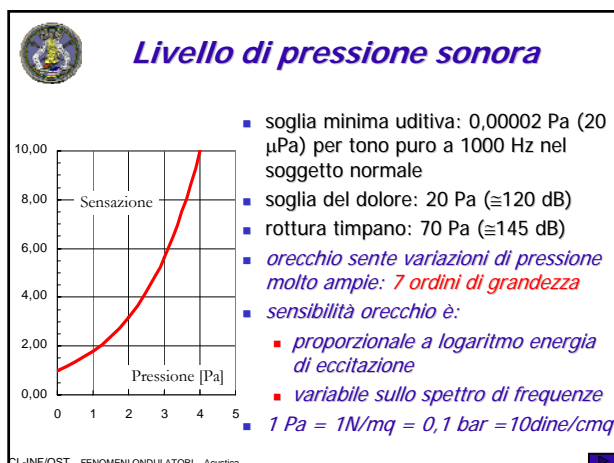
---

---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni




---

---

---

---

---

---

---

---

**Il decibel**

Poiché la scala della pressione sonora è troppo ampia, se ne è introdotta una logaritmica, il decibel

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{\text{pressione}}}{2 \cdot 10^{-5}} \right)^2 = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{\text{pressione}}}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

- alla minima pressione udibile corrisponde dB=0
- 1 dB rappresenta il suono più debole che l'orecchio può rilevare, 20 μPa, che corrisponde allo spostamento della membrana timpano di 1/10 diametro atomo di idrogeno, rumore "termico" di fondo: rumore del mare nella conchiglia
- al raddoppio dell'energia sonora (pressione) corrisponde un incremento di 3 dB
- ad un incremento di 30 dB corrisponde un aumento di 1000 dell'intensità sonora

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

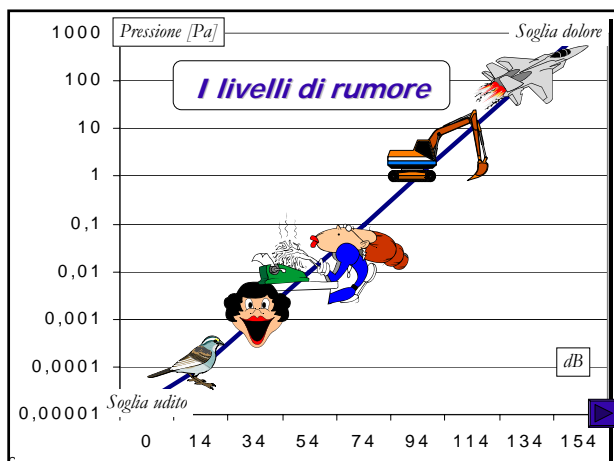
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni

Vari tipi di rumore		Intens. [dB]
<b>Livelli di rumore</b>	<i>Soglia uditiva</i>	0
	Fruscio di foglie	10
	Voce bisbigliata o sussurrata	30
	Rumore medio diurno un in locale pubblico	40
	Musica a basso volume	40
	Conversazione normale	50/60
	Autovettura in moto	60/70
	Traffico stradale medio/intenso	70-80/90
	Officine meccaniche di media rumorosità	70
	Trombe di automobile, veicolo pesante	90
	Laminatoio, metropolitana	100
	Presse, magli, motore di aeroplano	110
	Perforatrici, martello pneumatico, seghe circolari	120
	Colpo di cannone	130
	<i>Soglia di dolore</i>	130
Motore di aviogetti, amplificatori alla massima potenza	140	
Missili in partenza	180	

Fonte: Dossier Ambiente, n. 39, 1997  
CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 <b>velocità onde acustiche</b>	
Mezzo	Velocità, m/s
Aria, a 0 °C e 1 atm di pressione	331
Aria, a 20 °C e 1 atm di pressione	343
Acqua, 0 °C	1402
Acqua, a 20 °C	1482
Acqua mare, a 20 °C e 3,5% salinità	1522
Acqua del corpo umano	1558
Legno	3350
Vetro	5200
Acciaio	5941
Granito	6000
Alluminio	6420

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---


**ecografia**

Foto: Giancoli, Fisica, ed. Ambrosiana, 2000

**LE ONDE E GLI OSTACOLI**  
**ULTRASUONI:**  
 10 MHz  $\Rightarrow \lambda$  In H<sub>2</sub>O è 0,15 mm

**FIGURA 11-44** Onde d'acqua che superano oggetti di diversa dimensione. Si noti che maggiore è la lunghezza d'onda, rispetto alla dimensione dell'oggetto, maggiore è la diffrazione che si ha nella «zona d'ombra».



(a) Onde d'acqua che strepassano fili d'erba  
 (b) Bastone nell'acqua  
 (c) Onde di piccola lunghezza d'onda che superano un pezzo di legno  
 (d) Onde di lunghezza d'onda maggiore che superano un pezzo di legno

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

---

---

---

---


---



---

---

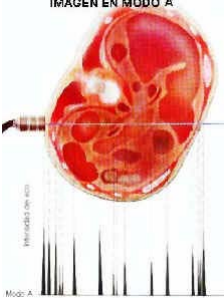
Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni


**ecografia**

**IMAGEN EN MODO A**



Modo: A

CL-INF/OST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

---

---

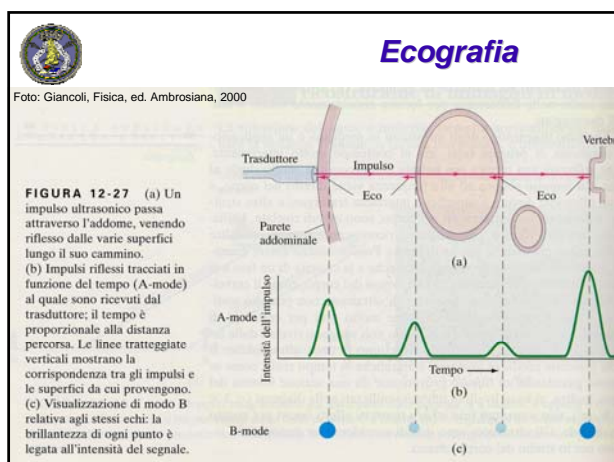
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni

**effetto doppler in medicina**

- **sorgente** si avvicina(-) / si allontana(+)
- **ricevitore** si avvicina(+) / si allontana(-)

$$V_{\text{percepita}} = V_{\text{sorgente}} \left( \frac{\text{velocità}_{\text{suono}} \pm \text{velocità}_{\text{ricevitore}}}{\text{velocità}_{\text{suono}} \pm \text{velocità}_{\text{sorgente}}} \right)$$

In *avvicinamento* la frequenza percepita è maggiore di quella reale, in *allontanamento* diminuisce

Poiché frequenza e lunghezza d'onda sono inversamente proporzionali, ne segue che in *avvicinamento* la lunghezza d'onda percepita è minore di quella reale, in *allontanamento* la lunghezza d'onda percepita è maggiore

CL-INF/OIST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

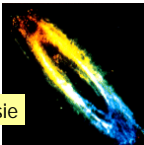
 **effetto doppler in medicina**

$$V_{\text{percepita}} = V_{\text{sorgente}} \left( \frac{\text{velocità}_{\text{suono}} \pm \text{velocità}_{\text{ricevitore}}}{\text{velocità}_{\text{suono}} \pm \text{velocità}_{\text{sorgente}}} \right)$$

In **avvicinamento** la frequenza percepita è maggiore di quella reale, in **allontanamento** diminuisce

**Limitazioni:**

- Stessa direzione tra onda e ricevitore
- Velocità non relativistica
- Velocità sorgente e ricevitore inferiori a quella dell'onda

effetto doppler anche nella luce delle galassie 

CL-INF/OIST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Doppler**

Il doppler rivela la velocità del flusso sanguigno tramite il riflesso di un segnale di ultrasuoni emesso da una sonda esterna applicata sopra un vaso sanguigno. È un esame rapido e di routine, che permette di accertare o escludere la presenza di forti restringimenti (stenosi) nel circolo extra- o intracerebrale (Doppler TSA - dei tronchi sovraortici - o Doppler transcraniale), perché nel tratto ristretto di un vaso si registra un aumento del segnale (velocità accelerata dei globuli rossi) oppure la mancanza del segnale (chiusura del vaso). Inoltre, si possono registrare le turbolenze associate a processi arteriosclerotici che producono irregolarità sulla superficie interna dei vasi, che normalmente è liscia.

---

---

---

---

---

---

---


---

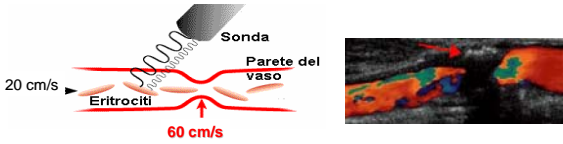
---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni

 **EcoDoppler (duplex)**



Mentre il doppler indica solamente la velocità e la direzione del flusso del sangue, l'ecodoppler (duplex) sovrappone questa informazione a una visualizzazione ecografica dei vasi, e con ciò è in grado di fornire ulteriori informazioni sulla estensione e sulla localizzazione di un processo arteriosclerotico. Inoltre, possono essere visualizzati altri processi più rari ma importanti, come l'aneurisma dissecante dell'arteria carotide.

CL-INF/OIST - FENOMENI ONDULATORI - Acustica

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



**FENOMENI ONDULATORI  
SUONI ED ULTRASUONI**



**FISICA MEDICA E RADIOPROTEZIONE**  
*elio giroletti 2005*

dispense su internet  
**[www.unipv.it/webgiro](http://www.unipv.it/webgiro)**

*elio giroletti*  
Università degli Studi di Pavia  
dip. Fisica nucleare e teorica  
giroletti@unipv.it - 038298.7905

---

---

---

---

---

---

---

---

Elio GIROLETTI - Università degli Studi di Pavia, Dip. Fisica nucleare e teorica

ESCLUSIVO USO DIDATTICO INTERNO - Suoni ed ultrasuoni