

Microscopio composto

Ci sono diversi modi di operare che permettono di ottenere differenti informazioni.

Illuminamento verticale.

Anche detto Bright Field è il metodo tradizionale. Le superfici piane appaiono più luminose di quelle inclinate

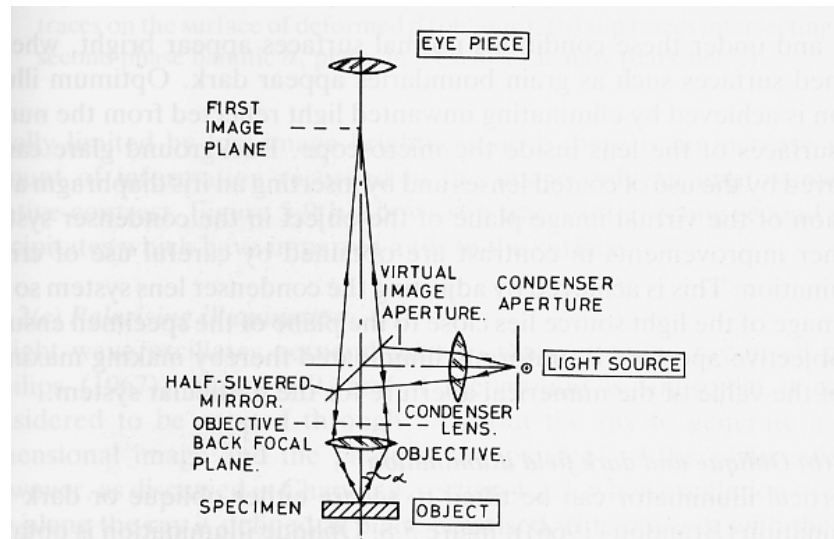


Figure 5.7 Vertical illumination light microscope used for routine metallography.

Illuminamento obliquo e Dark Field.

Consiste in una illuminazione obliqua o laterale in modo da mettere più in evidenza i dislivelli. Nel caso del Dark Field le superfici piane risultano scure.

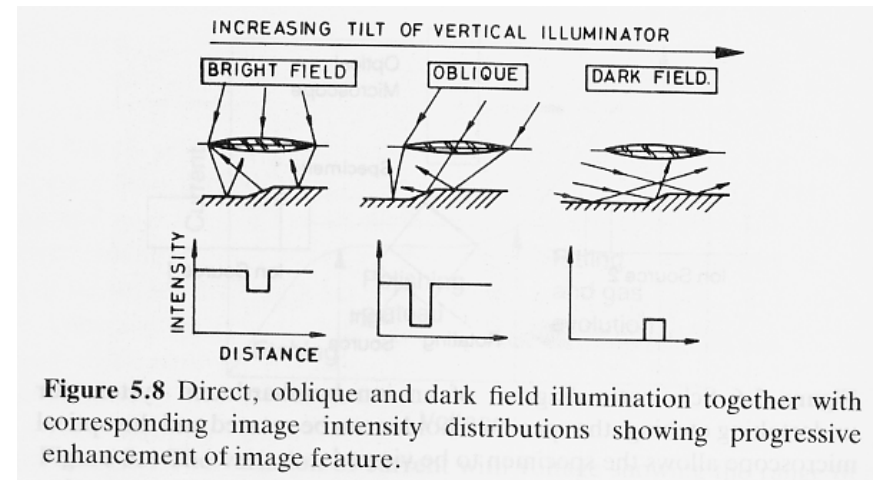
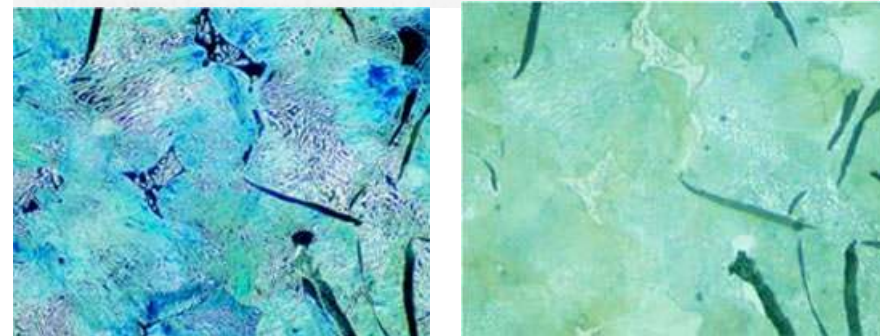
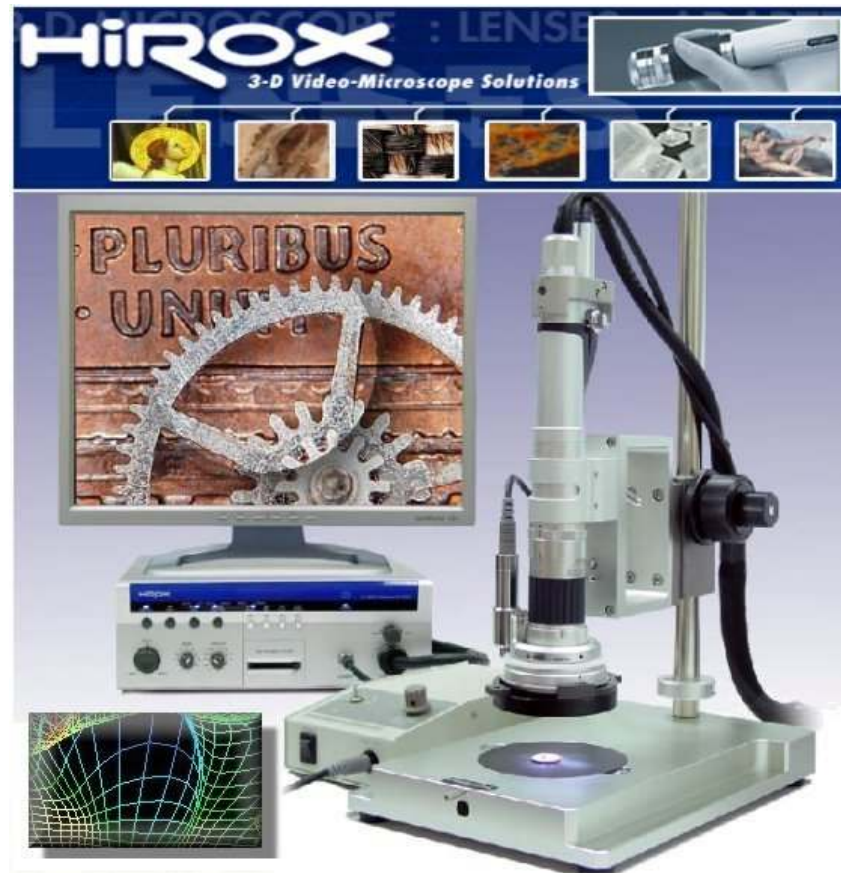


Figure 5.8 Direct, oblique and dark field illumination together with corresponding image intensity distributions showing progressive enhancement of image feature.

Le strutture fini della ghisa grigia sono scarsamente visibili in campo chiaro e luce riflessa (destra). In campo scuro e luce riflessa esse appaiono invece chiaramente visibili (sinistra).



Esempi



<http://www.simitecno.it/>



Esempi



Esempi



A. Romero



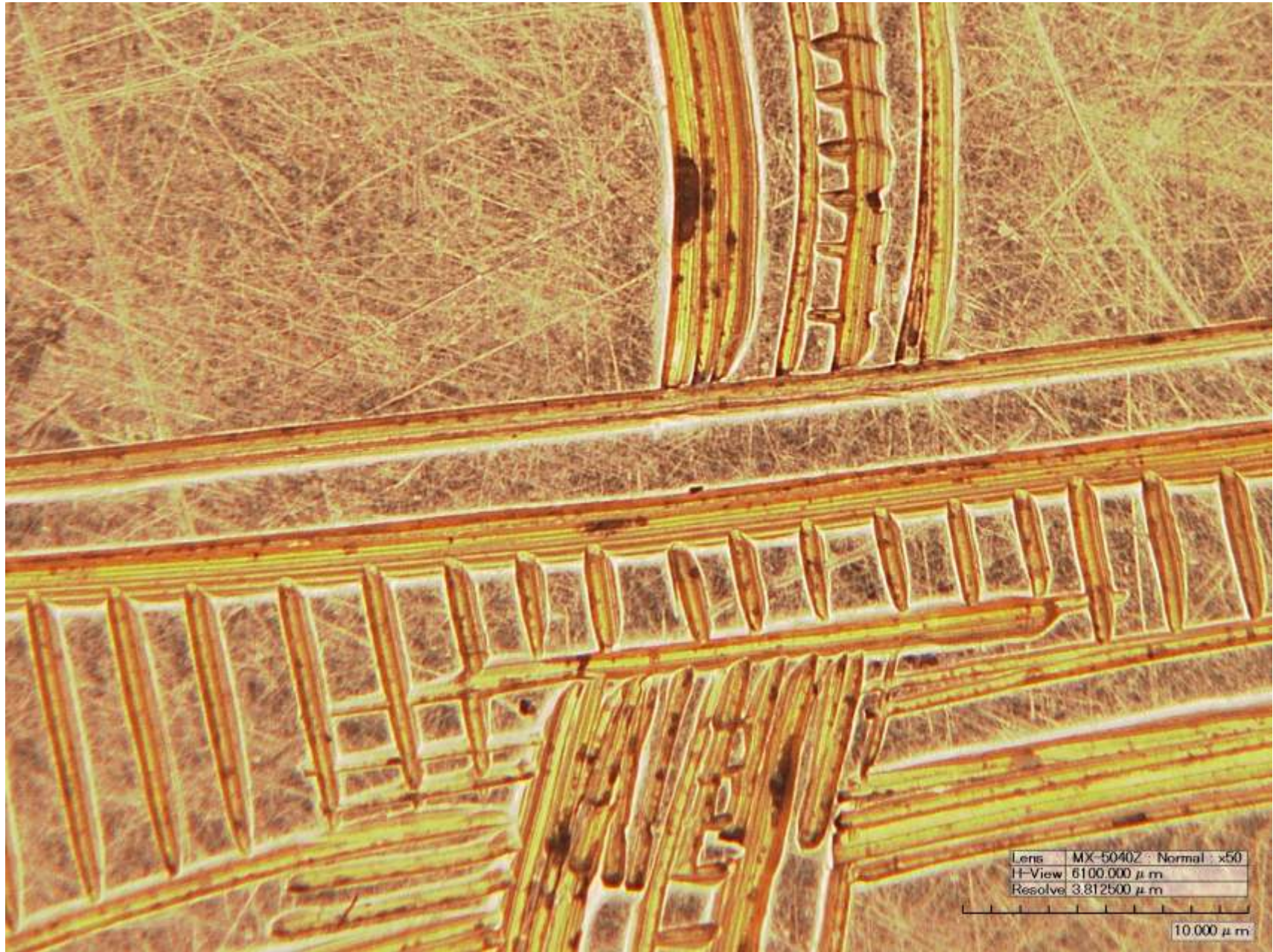
Restauro-Ottica II

Esempi



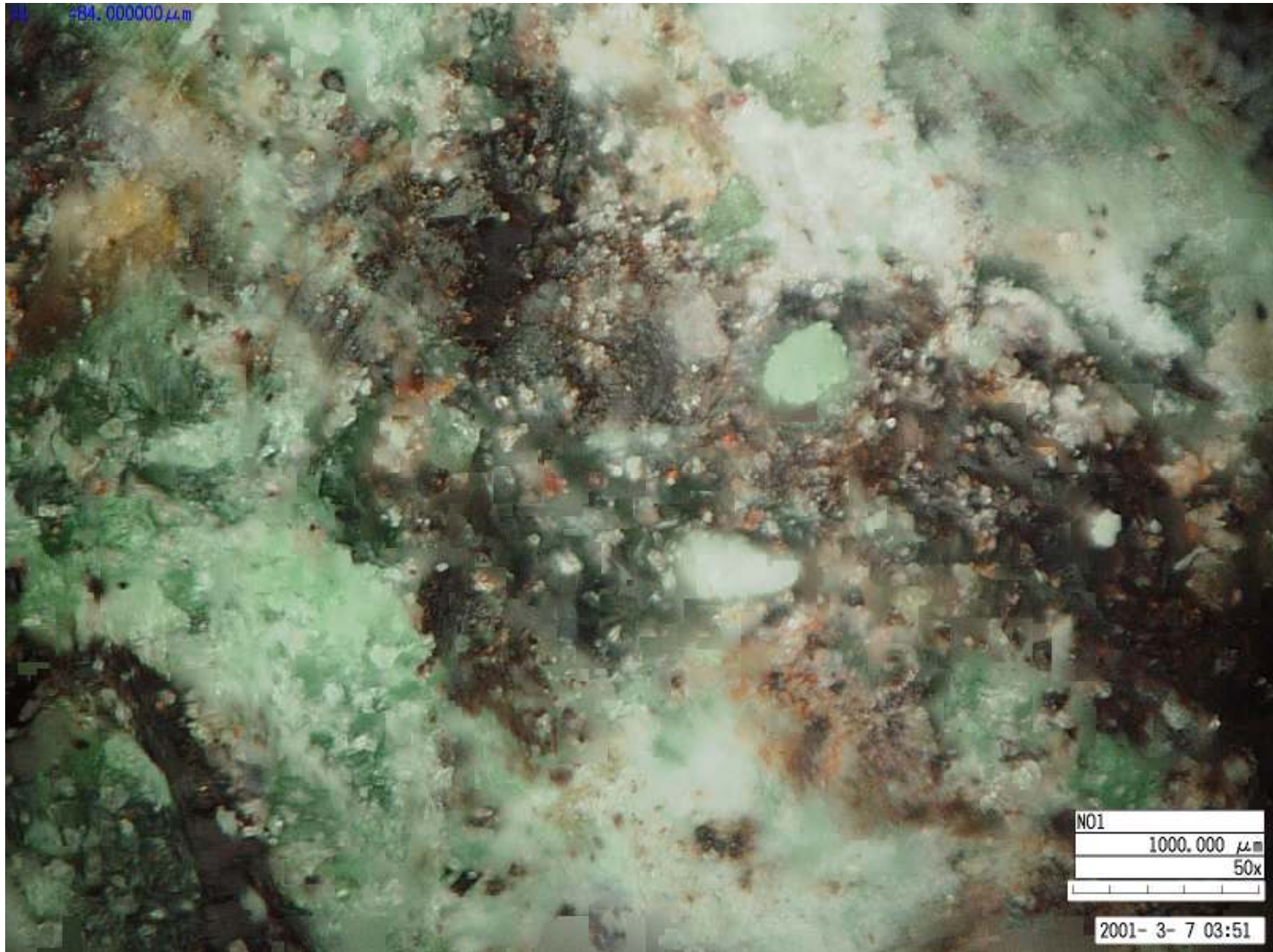






Lens	MX-5040Z : Normal : x50
H-View	6100.000 μm
Resolve	3.812500 μm

10.000 μm





Profondità di campo



Piccola profondità di campo



Grande profondità di campo

Nei microscopi ottici, la profondità di campo dipende dall'ingrandimento utilizzato. Maggiore è l'ingrandimento, minore è la profondità di campo.

Torneremo sull'argomento dopo aver trattato la luce dal punto di vista ondulatorio.

Uno dei vantaggi dei microscopi elettronici (di cui si parlerà il prossimo anno) è l'elevata profondità di campo che è maggiore di 1 millimetro.

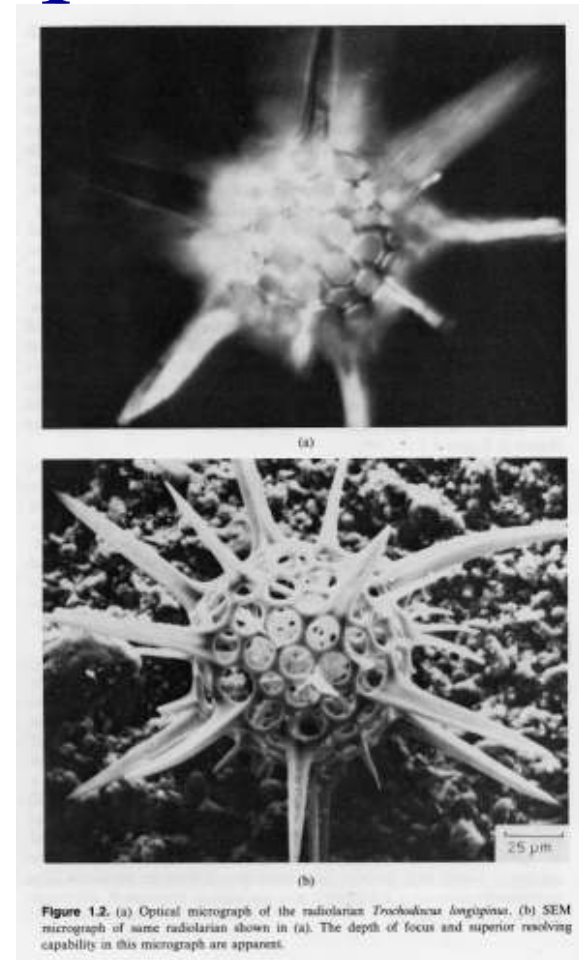


Figure 1.2. (a) Optical micrograph of the radiolarian *Trachodictya longipinnis*. (b) SEM micrograph of same radiolarian shown in (a). The depth of focus and superior resolving capability in this micrograph are apparent.

Immagine di un radiolare ottenuta con il microscopio ottico (sopra) ed elettronico (sotto)

Comportamento ondulatorio della luce

L'ottica geometrica fin'ora studiata ha fatto uso delle sole leggi della **riflessione e della rifrazione**, senza troppo interrogarci sulla natura della luce stessa e su come avviene la sua propagazione.

Alcuni fenomeni che ora indagheremo (es: **interferenza, diffrazione**) richiedono un **comportamento ondulatorio** da parte della luce. Questo comportamento ondulatorio è tra l'altro in grado di spiegare i fenomeni di **riflessione e rifrazione**.

Questo comportamento ed i fenomeni da esso prodotti, se da un lato limitano le prestazioni dei microscopi ottici, dall'altro hanno permesso lo **sviluppo di tecniche di microscopia** (microscopio a contrasto di fase, a luce polarizzata) e tecnologie di grande utilità (**reticoli di diffrazione, laser, diffrazione da raggi x, riflettografie UV – IR etc.**).

Faremo quindi un'introduzione sulle onde.

In particolare osserveremo il comportamento delle onde meccaniche (onde su una corda, onde sonore in aria, onde sulla superficie di un liquido) e dei fenomeni da esse prodotti comparandoli con i fenomeni prodotti dalla luce.

Onde

Trasmissione di energia e impulso
SENZA trasporto di materia
(attraverso perturbazioni)

Corde vibranti

Onde marine

Suono

Luce

Onde

La propagazione per onde può essere considerata come il **trasporto di energia e quantità di moto** ($q = m \cdot v$) da un punto all'altro dello spazio.

Nelle onde meccaniche (in una corda o onde sonore in aria) l'energia e la *quantità di moto* sono trasportate mediante una **perturbazione del mezzo**, che si propaga in virtù delle proprietà elastiche di quest'ultimo.



A. Romero



Nell'acqua le onde (a anche un oggetto galleggiante) **vanno su e giù, ma non vi è lo spostamento del mezzo nella direzione di propagazione.**

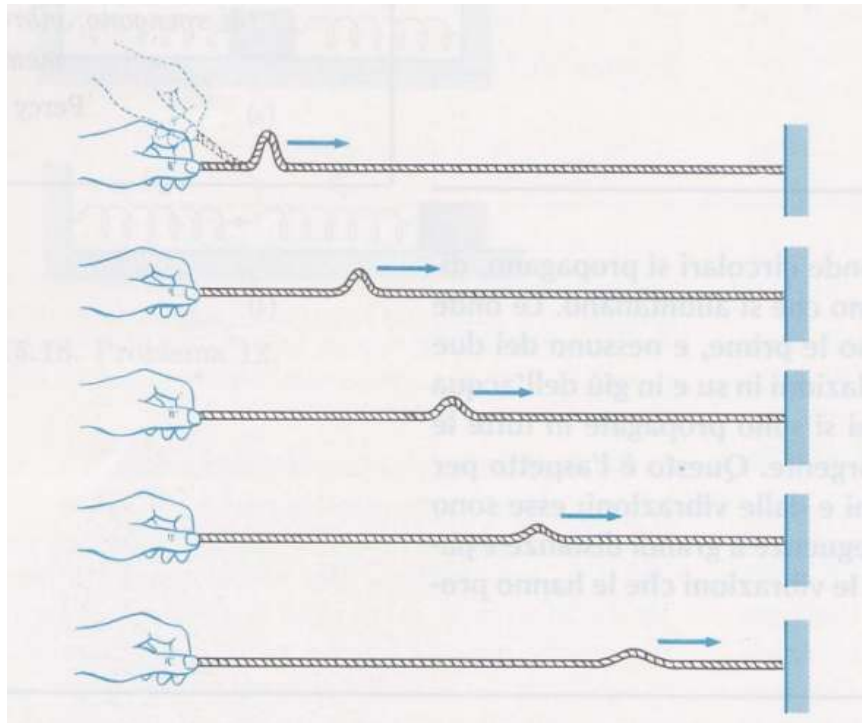
BACKHUYSEN, Ludolf
Navi in pericolo a largo di una costa rocciosa.
1667
Olio su tela, 64,5 x 49 cm
National Gallery of Art, Washington

Onde

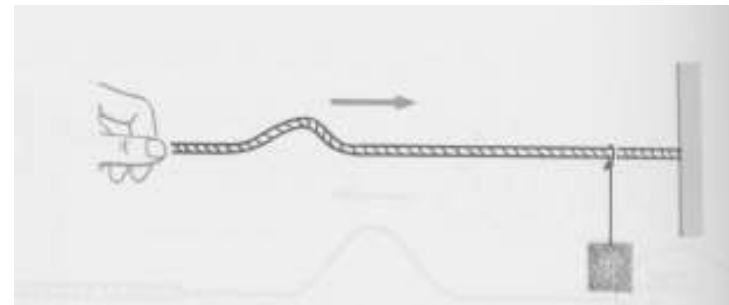
Quando si dà una piccola scossa a una corda tesa la forma della corda cambia nel tempo in modo regolare.

La gobba che è prodotta dalla scossa a un'estremità e viaggia lungo la corda è chiamata **onda impulsata o impulso**.

Si può dimostrare che un impulso trasporta **energia e quantità di moto** appendendo un peso a una corda tesa e dando una scossa a un'estremità della corda. Quando l'impulso arriva al peso, questo viene momentaneamente sollevato.



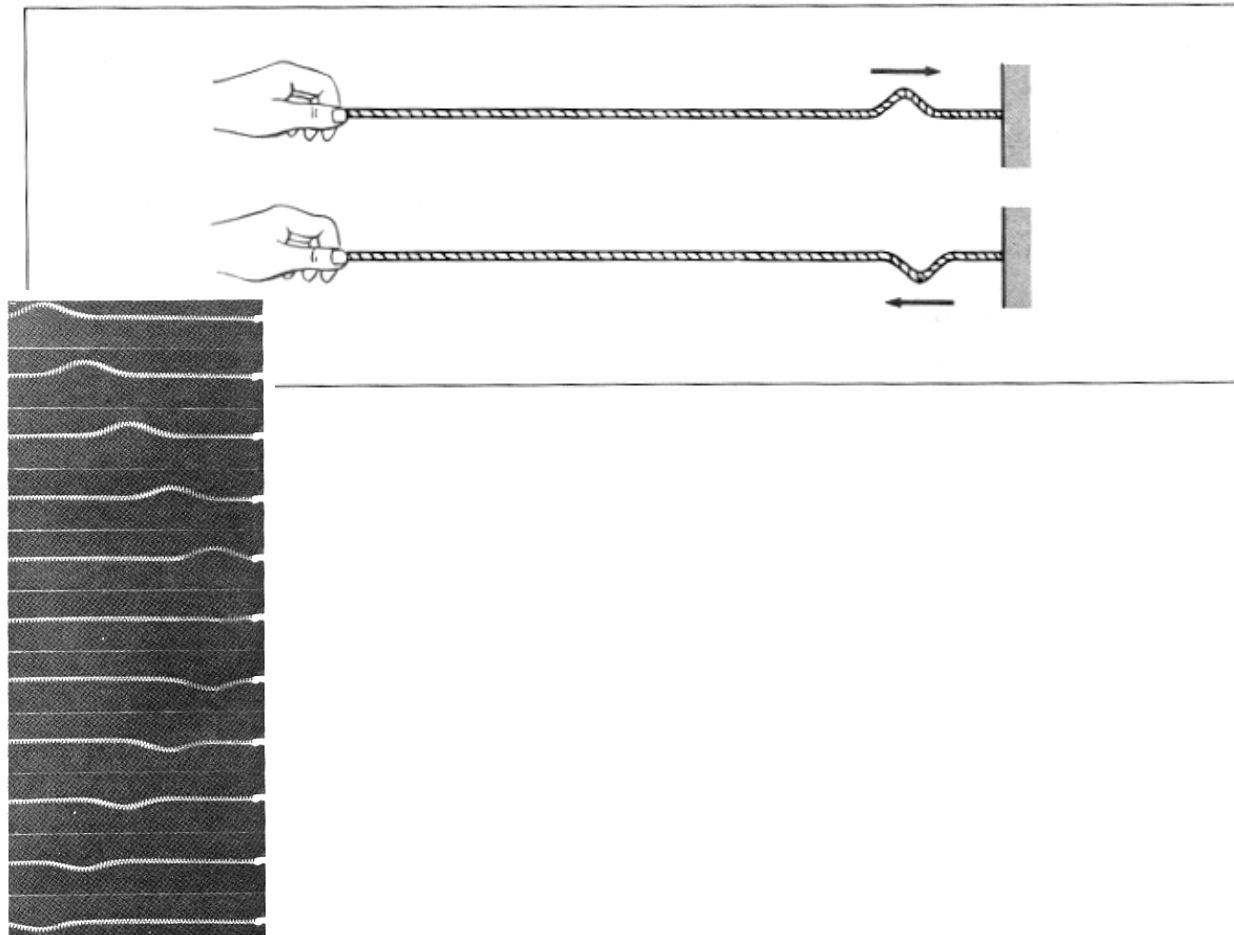
L'energia e la quantità di moto introdotte dal movimento della mano sull'estremità della corda vengono trasmesse lungo la corda e ricevute dal peso..... Ma la **corda non si muove** nella direzione del peso, quello che **si muove** è la **perturbazione**.



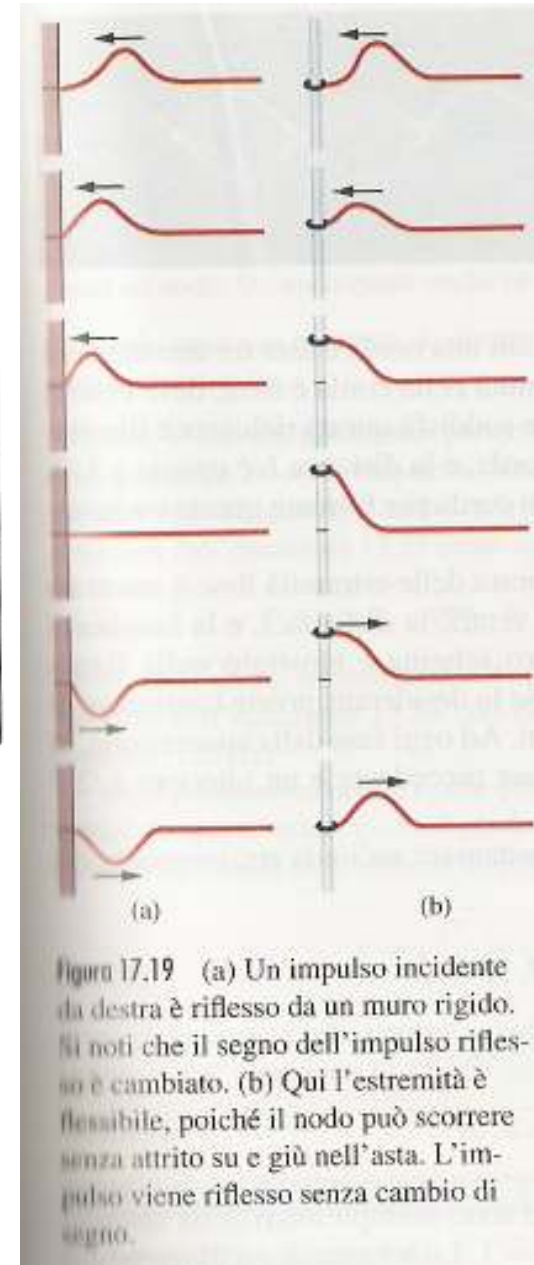
Onda impulsiva

COSA SUCCEDDE ALL'ALTRO CAPO?

ESTREMO FISSO  RIFLESSIONE CAPOVOLTA



A. Romero

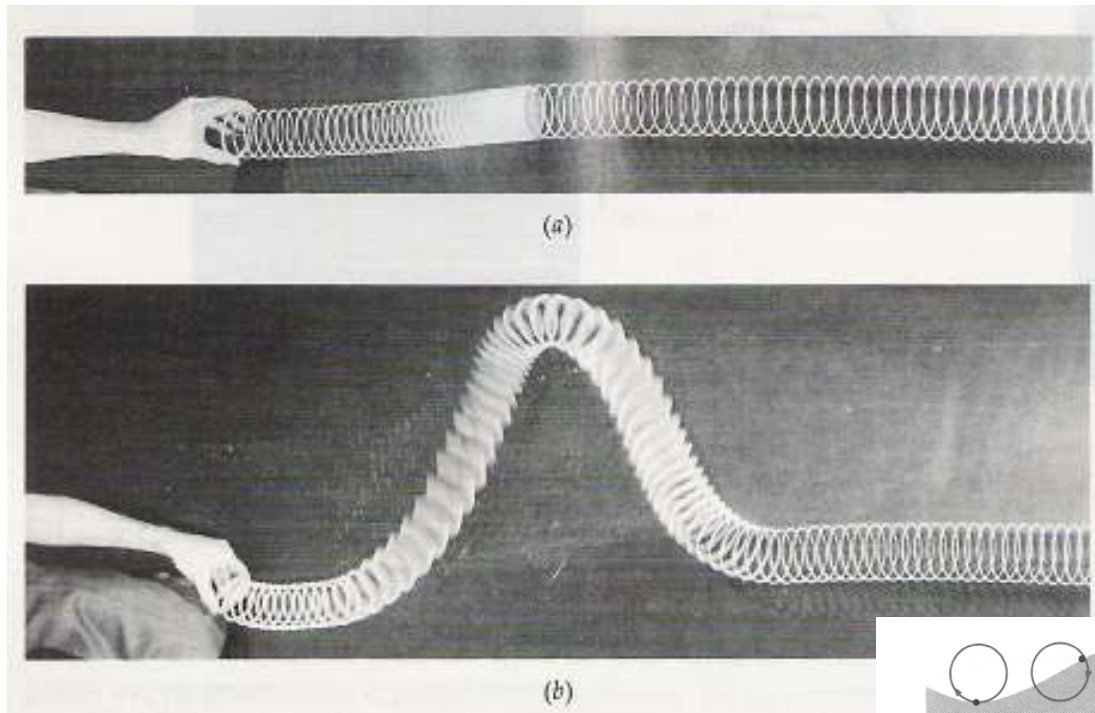


Restauro-Ottica II

16

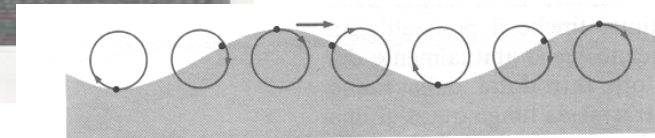
Onde

Quello che si muove non è il materiale di cui è fatta la corda o il mezzo di propagazione, ma è la **perturbazione**.



onda longitudinale

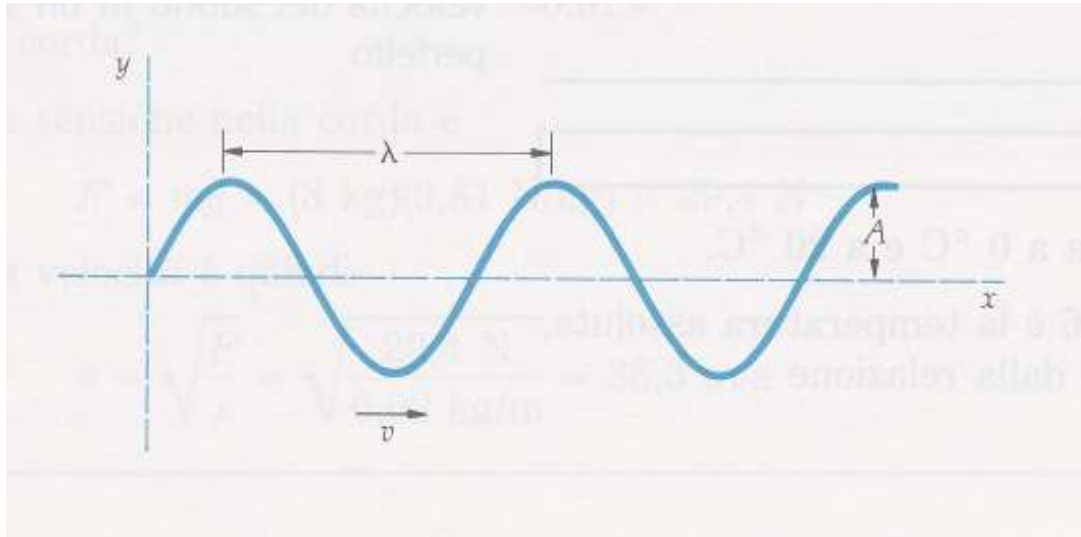
onda trasversale



Un'onda in cui la perturbazione avviene nella stessa direzione di propagazione è chiamata **onda longitudinale** (es: onde sonore). Un'onda in cui la perturbazione è **perpendicolare alla direzione di propagazione** è chiamata **onda trasversale** (es.: onde elettromagnetiche, anche se vedremo che in questo caso non vi è un mezzo, ma solo l'oscillazione di campi elettromagnetici).

Ci sono casi, come le onde del mare, dove coesistono sia componenti longitudinali che trasversali.

Onde armoniche



Se invece di scuotere solo una volta l'estremità di una corda. La muoviamo su e giù con moto armonico semplice lungo la corda si propaga un treno di **onde sinusoidali**. Un'onda di questo tipo è detta **armonica**.

Ad esempio la **nota di un flauto suonata** senza sosta è un insieme di onde sonore armoniche (per le onde sonore il mezzo che “oscilla” è l'aria).

Alcune grandezze importanti che rappresentano l'onda armonica sono:

A = **ampiezza** dell'onda (metà dell'altezza picco-picco)

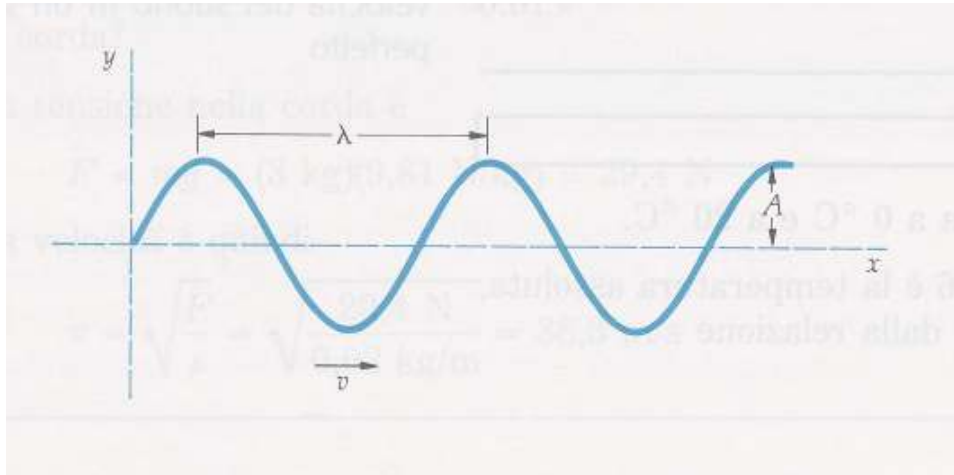
λ = **lunghezza d'onda** (distanza tra i due massimi; distanza nello spazio entro il quale l'onda si ripete)

v = **velocità di propagazione**

T = **periodo** dell'onda (tempo impiegato da un'onda a compiere un ciclo)

ν = **frequenza** dell'onda (numero di cicli al secondo, anche detto numero di Hertz)

Onde armoniche



Per come lo abbiamo definito, il **periodo** è l'**inverso della frequenza**:

$$T = \frac{1}{\nu}$$

La relazione che lega la velocità di propagazione dell'onda e la sua lunghezza d'onda è (basta osservare che il moto è rettilineo uniforme, per cui velocità = spazio / tempo, e che per definizione l'onda percorre uno spazio pari alla sua lunghezza d'onda, λ , in un tempo pari al periodo T):

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$$

Si può inoltre dimostrare che l'energia trasportata dall'onda armonica è proporzionale al quadrato della sua ampiezza (Potenza = Energia/tempo):

$$\text{Potenza} \propto v^2 A^2$$

Onde armoniche (approfondimento)

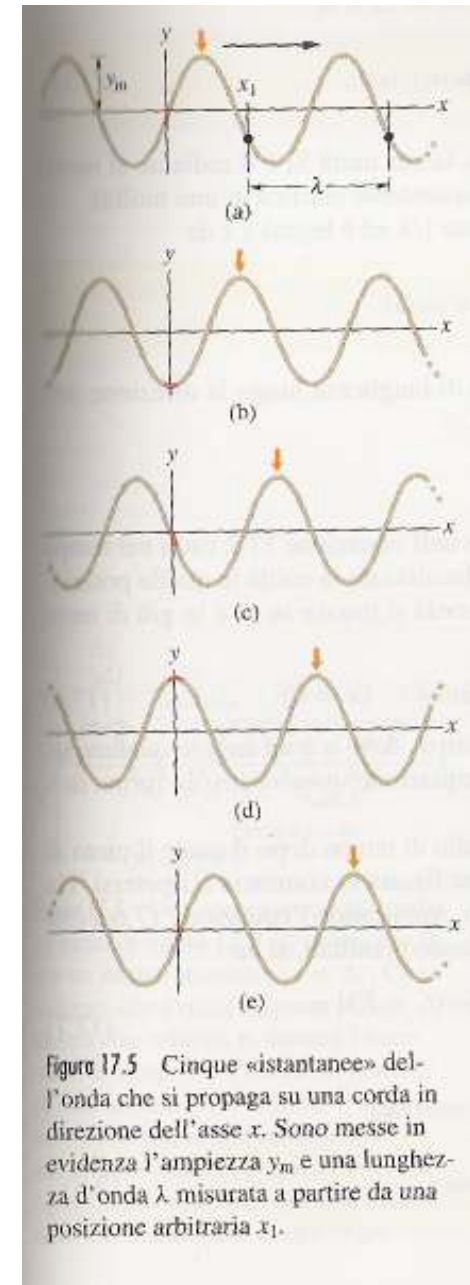
Definiamo ancora altri due parametri:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu \quad \longrightarrow \quad \text{Velocità angolare o pulsazione}$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad \longrightarrow \quad \text{Numero d'onda}$$

La legge che descrive il moto di un'onda armonica sinusoidale nella direzione x è:

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

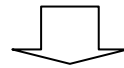


Onde Armoniche

Intensità energia media trasportata nell'unità di tempo attraverso l'unità di area normale alla direzione di propagazione

$$I = \frac{(\Delta E / \Delta t)_{\text{media}}}{A} = \frac{P_{\text{media}}}{A} \quad (\text{W/m}^2)$$

- Per sorgente puntiforme: P costante in tutte le direzioni, $A = 4 \pi r^2$



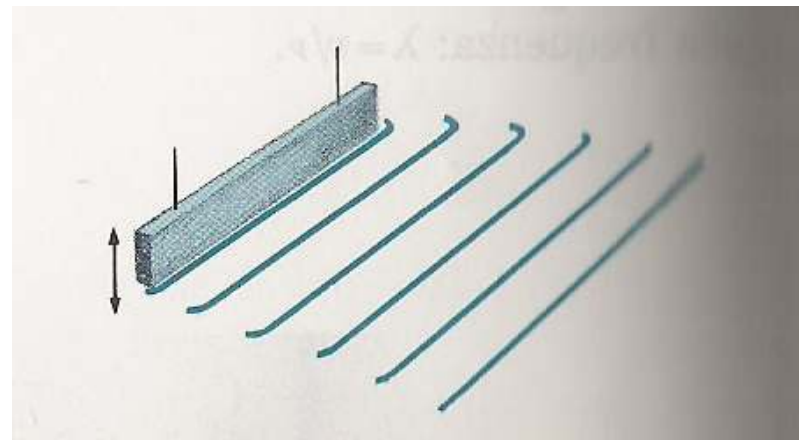
$$I \propto 1/r^2$$

Onde armoniche

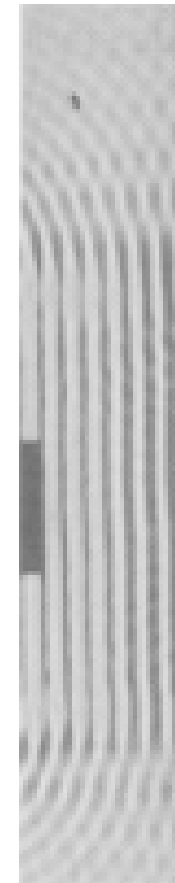
Per verificare il comportamento delle onde armoniche è possibile utilizzare un ondoscopio, ovvero, semplicemente un oggetto con diverse forme che con un periodo costante colpisce la superficie dell'acqua. In tal modo è possibile generare sulla superficie dell'acqua onde sferiche o piane.



Fronti d'onda circolari che divergono da una sorgente puntiforme in un ondoscopio.

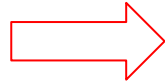


Un analogo bidimensionale di un'onda piana può essere generato in un ondoscopio con un'assicella piatta che oscilla su e giù nell'acqua e produce fronti d'onda che sono linee rette.



Onde armoniche

Fronti d'onda

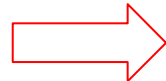


Fronti d'onda : insieme di tutte le posizioni dello spazio in cui il moto ha la stessa fase

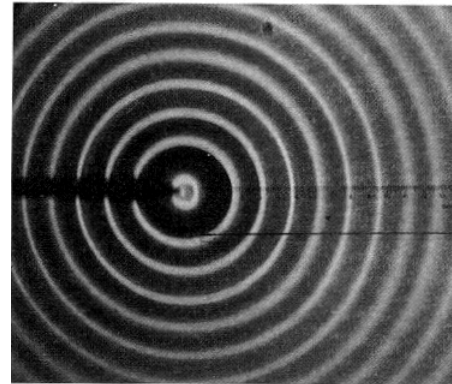


In **1D**(imensione): sono **punti**

In **2D**(imensioni) sono **circonferenze**



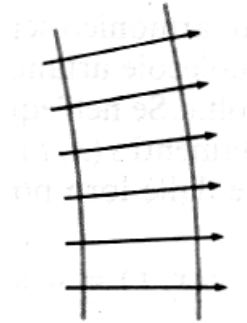
In **3D** sono **superfici sferiche**



**Esempio: effetto di
sasso gettato in un
lago**

Onde Armoniche

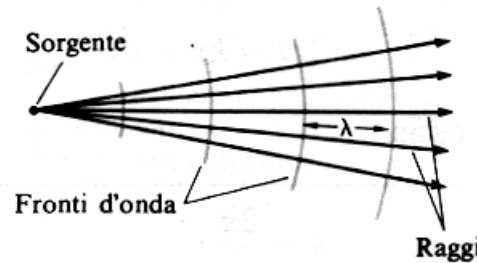
RAGGI: rette \perp fronti d'onda



Onde circolari o sferiche



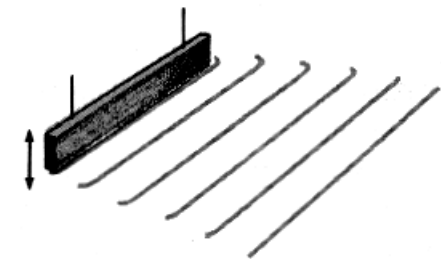
RAGGI → semirette radiali



A **grande distanza:**

Fronti d'onda sferici \approx Fronti d'onda piani

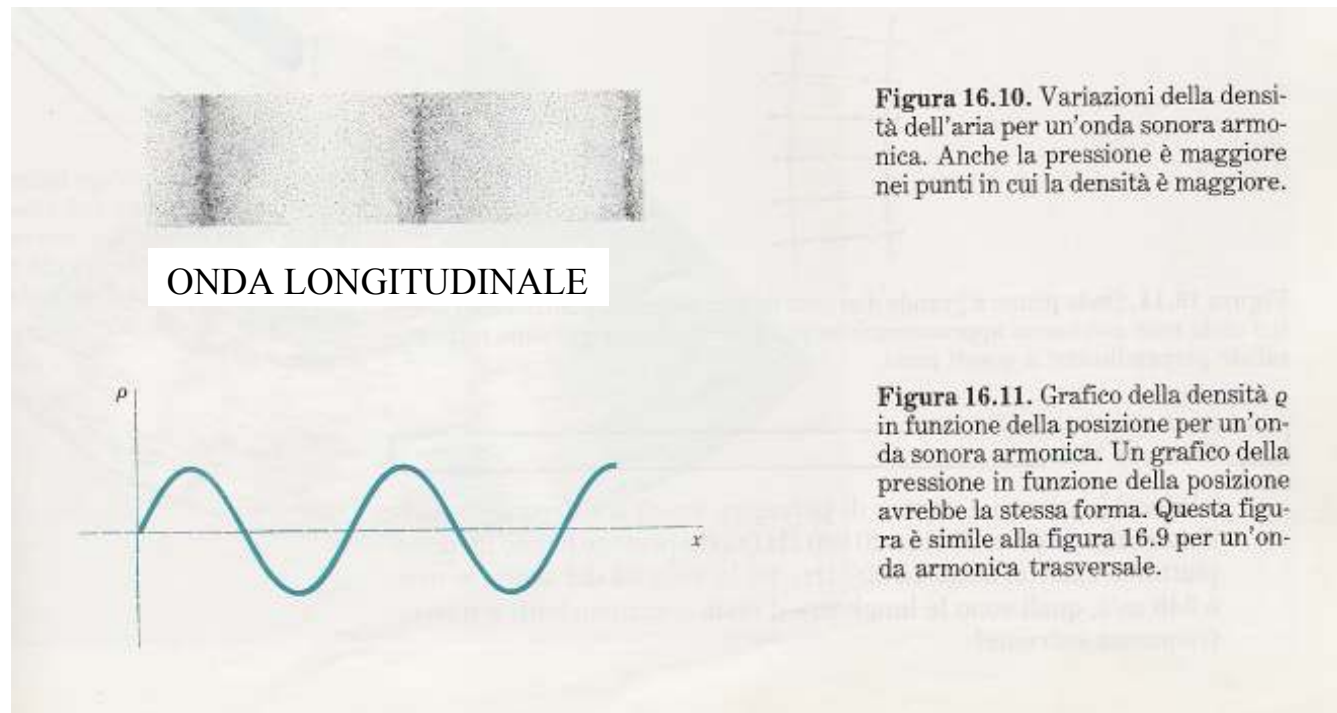
Analogo in 2D: l'onda lineare



Onde armoniche: suono

Nel caso delle **onde sonore**, la perturbazione del mezzo non è altro che una variazione della pressione **dell'aria**. Nei suoni armonici (generati ad esempio da un diapason) si susseguono zone ad alta e bassa pressione (compressioni e rarefazioni).

Vibrazione di un diaframma con moto armonico:
spostamento delle molecole d'aria dalla posizione d'equilibrio



Onde armoniche: suono

Tabella 14.1. Intensità e livello d'intensità di alcuni suoni comuni ($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$)

Sorgente	I/I_0	dB	Descrizione
	10^0	0	Soglia di udibilità
Respirazione normale	10^1	10	Appena udibile
Stormire di foglie	10^2	20	
Bisbiglio sommesso (a 5 m)	10^3	30	Molto silenzioso
Biblioteca	10^4	40	
Ufficio silenzioso	10^5	50	Silenzioso
Conversazione normale (a 1 m)	10^6	60	
Traffico intenso	10^7	70	
Ufficio rumoroso con macchine; fabbrica media	10^8	80	
Autocarro pesante (a 15 m); Ca- scate del Niagara	10^9	90	L'esposizione costante mette in pe- ricolo l'udito
Metropolitana (vecchio modello)	10^{10}	100	
Rumore di cantiere	10^{11}	110	
Concerto rock con amplificatori (a 2 m); decollo di aereo (a 60 m)	10^{12}	120	Soglia del dolore
Ribaditrice pneumatica; mitraglia- trice	10^{13}	130	
Decollo di un aereo (nelle vici- nanze)	10^{15}	150	
Grande motore a razzo (nelle vici- nanze)	10^{18}	180	

Soglia di udibilità:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$(p_0 = 2.9 \times 10^{-12} \text{ Pa})$$

$$(1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa})$$

Soglia del dolore:

$$I = 1 \text{ W/m}^2$$

$$(p_0 = 2.9 \text{ Pa})$$

Livello d'intensità
(in decibel dB)

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Onde armoniche

Esempio:

Si vuole misurare la velocità di propagazione del suono in acqua. A tal fine viene prodotta un'onda di frequenza pari a 1000 Hz e si osserva sperimentalmente che la sua lunghezza d'onda risulta essere di 1,4 m. Qual è la velocità di propagazione dell'onda in acqua? Qual è il periodo dell'onda?

$$\nu = 1000 \text{ Hz} \qquad \lambda = 1,4 \text{ m}$$

$$v = \lambda \cdot \nu = 1,4 \cdot 1000 = 1400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

TABELLA 18.1 Velocità del suono^a

Mezzo	Velocità (m/s)
<i>Gas</i>	
Aria (0 °C)	331
Aria (20 °C)	343
Elio	965
Idrogeno	1284
<i>Liquidi</i>	
Acqua (0 °C)	1402
Acqua (20 °C)	1482
Acqua marina ^b	1522
<i>Solidi</i>	
Alluminio	6420
Acciaio	5941
Granito	6000

^a Alla temperatura di 0 °C e alla pressione di 1 bar, salvo quando specificato altrimenti.

^b A 20 °C e 3,5% di salinità.

La velocità di un'onda meccanica dipende dalle caratteristiche del mezzo in cui si propaga

Onde armoniche

Esempio:

l'orecchio umano è capace di percepire suoni con frequenze nell'intervallo da **circa 20 Hz a 20000 Hz**. Essendo la velocità del suono nell'aria pari a circa 340 m/s qual è la lunghezza d'onda nei due casi?

$$20 \text{ Hz} \quad \longrightarrow \quad \lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{340 \text{ m/s}}{20 \text{ Hz}} = 17 \text{ m}$$

$$20000 \text{ Hz} \quad \longrightarrow \quad \lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{340 \text{ m/s}}{20000 \text{ Hz}} = 0,017 \text{ m} = 1,7 \text{ cm}$$

Le frequenze superiori a 20000 Hz sono dette ultrasuoni e sono utilizzate per eseguire **ecografie** in quanto la loro lunghezza d'onda è abbastanza piccola da **risolvere particolari inferiori al millimetro** (vedremo parlando di diffrazione delle onde che non è possibile utilizzare le onde per localizzare oggetti di dimensioni minori della lunghezza d'onda)

Esempio:

per sapere a che distanza è caduto un **fulmine** è sufficiente misurare il tempo intercorso tra il lampo e il tuono. Supponendo una velocità del suono in aria pari sempre a 340 m/s e 4 s il tempo di ritardo del tuono si ottiene:

$$\text{distanza} = v \cdot t = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4 \text{ s} = 1360 \text{ m}$$

Onde: interferenza

Quando si ha a che fare con comportamenti ondulatori si verifica il fenomeno dell'**interferenza**: se due onde si incontrano in un punto, le intensità delle due onde si sommano per cui se, ad esempio, un punto di massimo di un'onda coincide con il minimo di un'altra, si ha un annullamento delle due (interferenza distruttiva). **Si osserva che l'interferenza è una caratteristica particolare delle onde in quanto le particelle non si sovrappongono.**

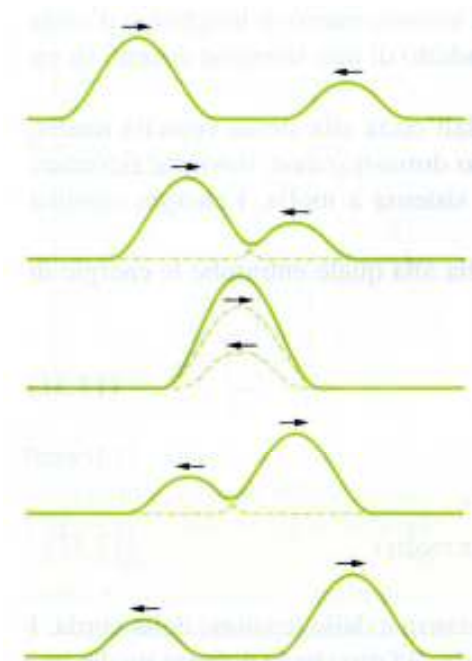
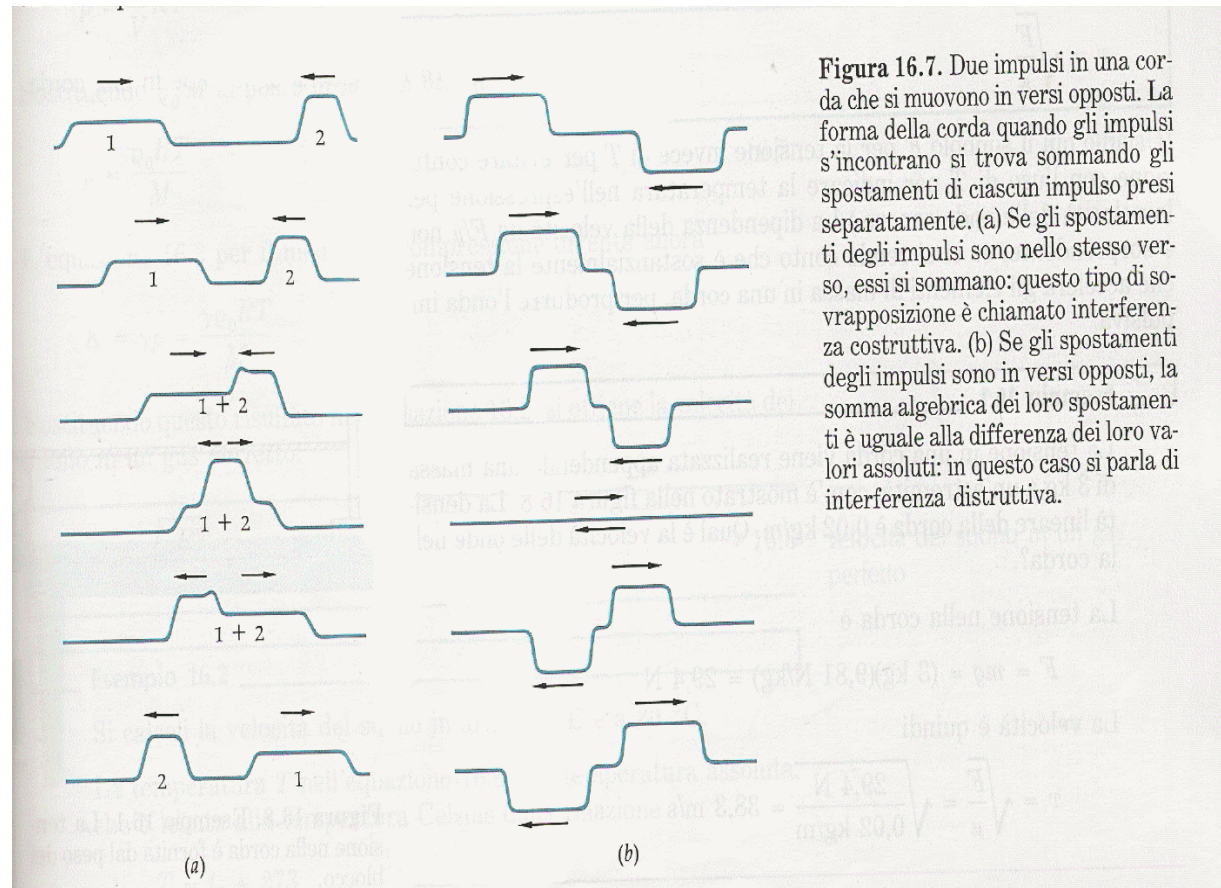
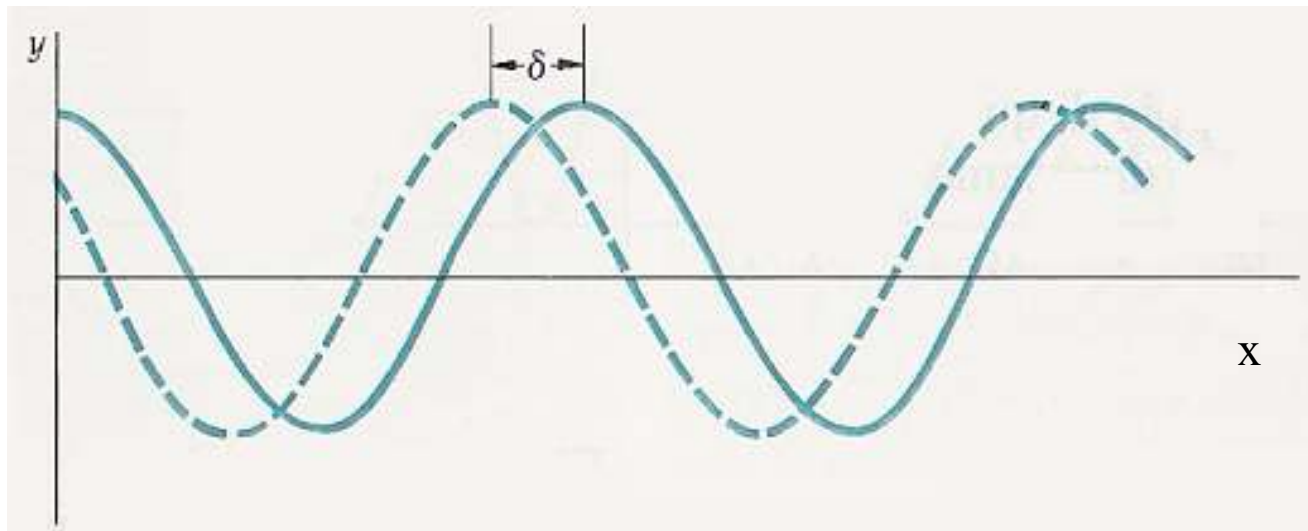


Figura 17.12 Una serie di «istantanee» che mostrano due impulsi in moto in versi opposti lungo una corda tesa. Quando essi si muovono l'uno attraverso l'altro si applica il principio di sovrapposizione.

Onde: interferenza

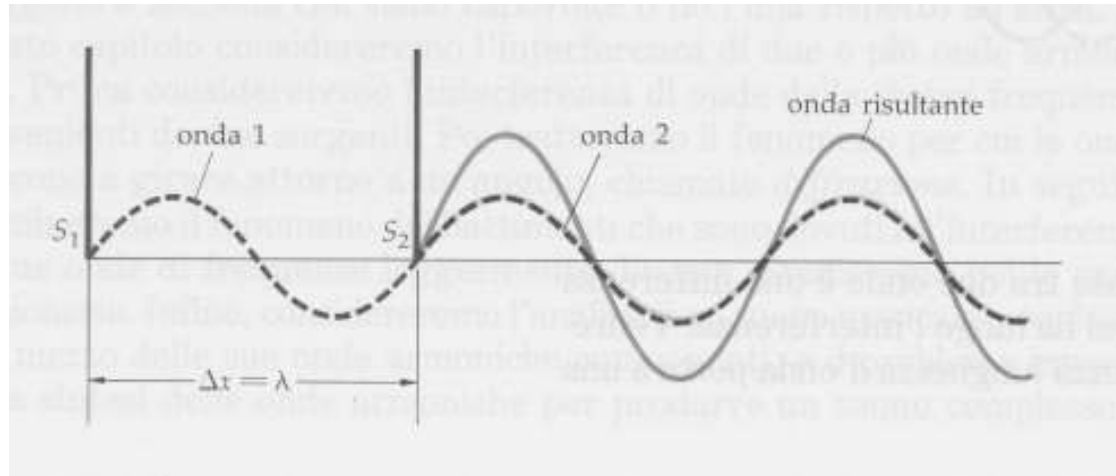
vedremo che la luce presenta il fenomeno dell'interferenza

Nel caso delle onde armoniche, l'interferenza dipende dalla differenza di fase tra le onde. Nel disegno sottostante sono rappresentate due onde di uguale periodo che si propagano lungo x. Essendo state generate in tempi diversi, saranno una in ritardo rispetto all'altra e quindi avranno una differenza di fase.



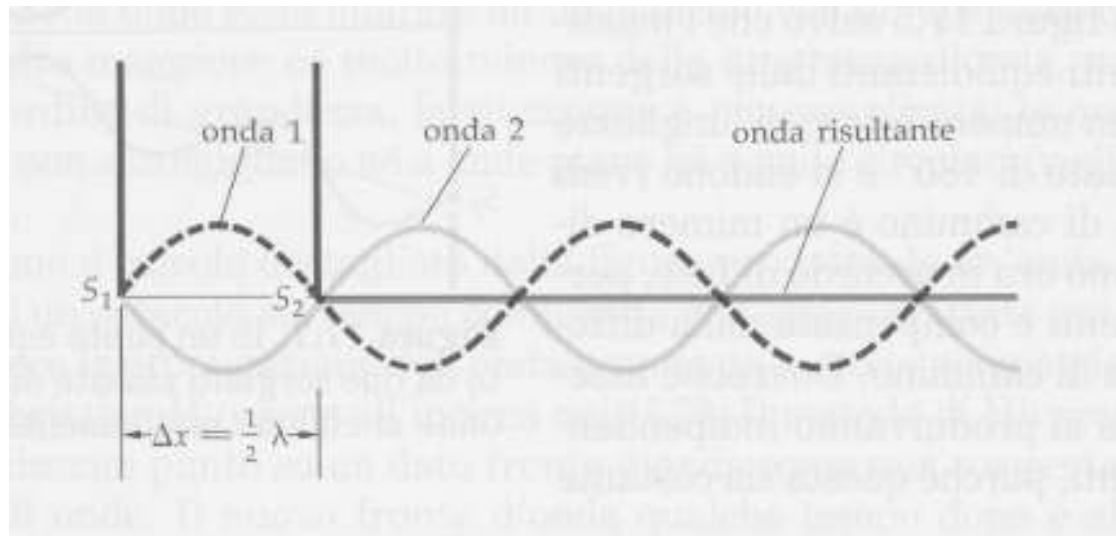
Onde: interferenza

I due casi estremi d'interferenza sono il caso dell'**interferenza costruttiva** e quello dell'**interferenza distruttiva** che si verificano quando le due onde sono in **fase** o in **controfase**.



Onde in fase (costruttiva).

In questo caso supponiamo di avere una sorgente nel punto S₁ ed una nel punto S₂ e che S₂ disti da S₁ una distanza Δx pari a $\Delta x = \lambda$. In questo modo quando l'onda generata da S₁ giunge in S₂ avrà la stessa fase dell'onda S₂ e la risultante sarà un'onda con uguale λ , ma ampiezza doppia.

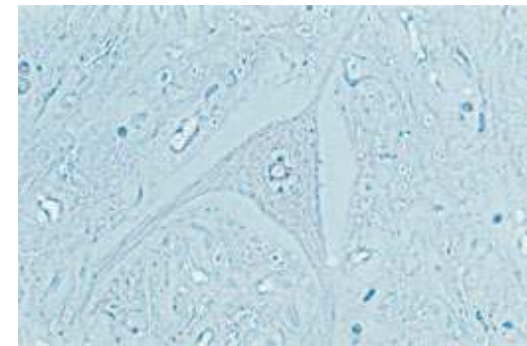
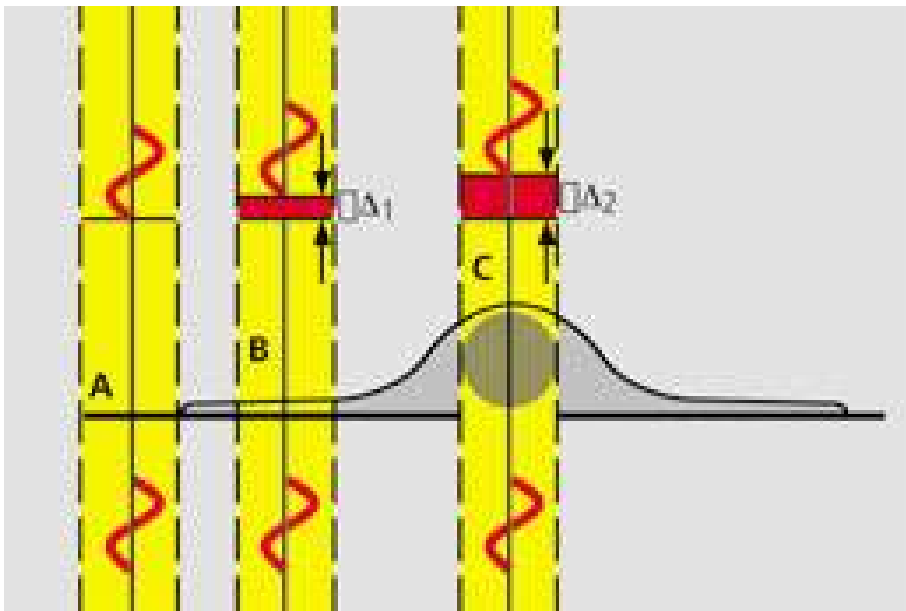


Onde in controfase (distruttiva).

Stessa situazione, ma con la sorgente S₂ distante da S₁ una distanza Δx pari a $\Delta x = \lambda/2$. In questo modo quando l'onda generata da S₁ giunge in S₂ sarà in controfase (una sale mentre l'altra scende) e la risultante sarà un'onda nulla.

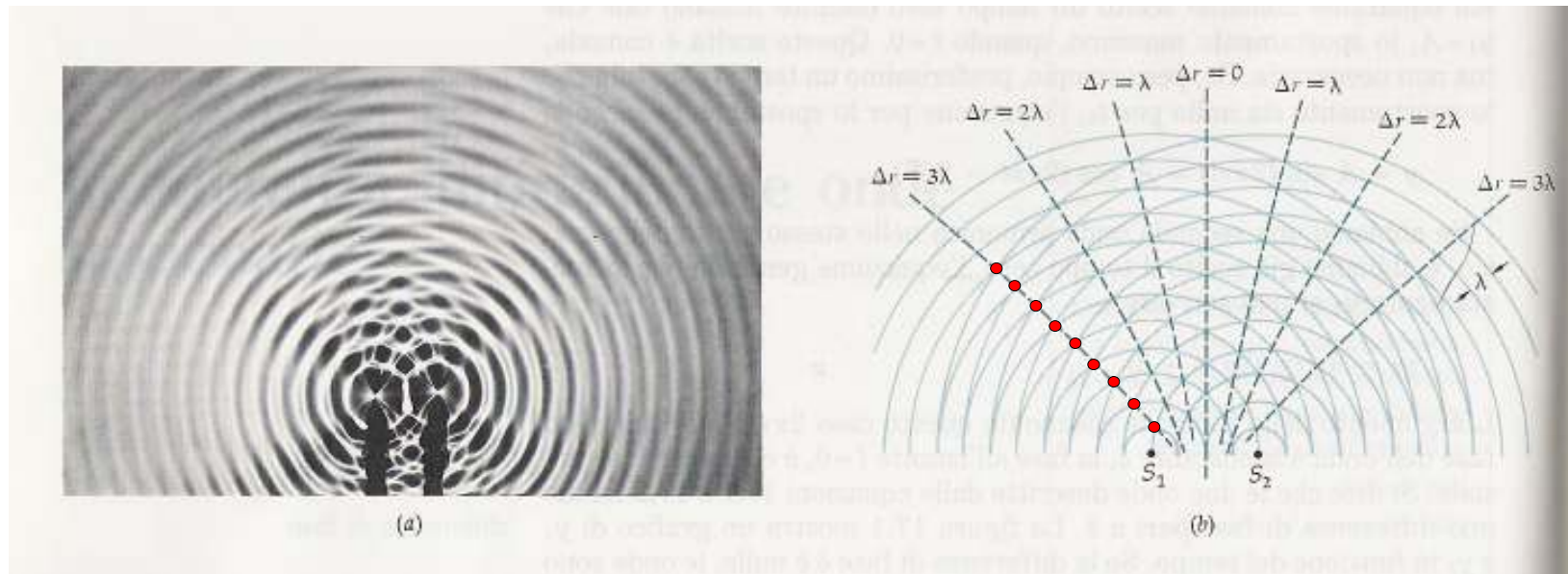
Interferenza: microscopio a contrasto di fase

Questo metodo descritto nel 1934 dal fisico olandese Fritz Zernike gli ha procurato non solo il premio Nobel nel 1953, ma ha anche rivoluzionato la ricerca di base biomedica sulle cellule viventi.



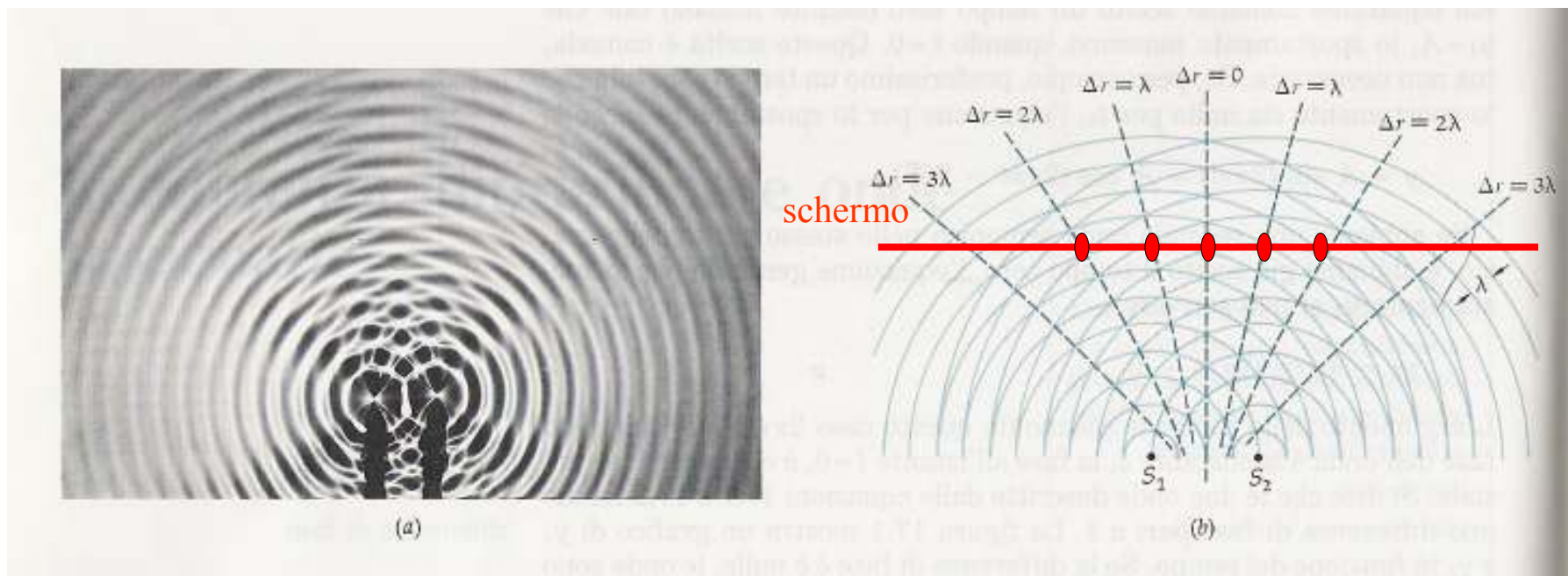
Onde: interferenza

Se due sorgenti S_1 e S_2 poste a breve distanza generano onde sferiche di eguale lunghezza d'onda (e quindi, essendo la velocità di propagazione la stessa, anche ad eguale frequenza, $v = \lambda\nu$) si formano delle zone di massimi (dove l'interferenza è costruttiva) e di minimi (dove l'interferenza è distruttiva).



Nell'immagine di destra le linee concentriche si riferiscono ai massimi delle onde generate dalle due sorgenti. Le onde si sommano costruttivamente nei punti d'intersezione. Tali punti esistono ogni qual volta la differenza tra le distanze delle due sorgenti, Δr , è nulla o è uguale a un numero intero di lunghezze d'onda. Ad esempio, i pallini rossi si riferiscono alle intersezioni nel caso $\Delta r = 3 \cdot \lambda$.

Onde: interferenza



Supponiamo di porre uno schermo ad una certa distanza dalle sorgenti in modo da poter visualizzare la situazione circa i massimi e i minimi delle onde in quella posizione.

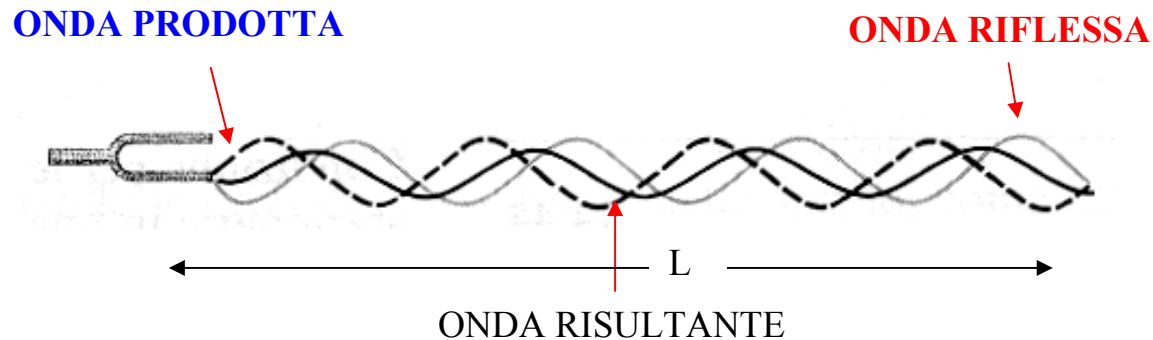
I massimi (punti di interferenza costruttiva) si ripetono per cui sullo schermo compariranno zone a massima intensità intervallate da zona a minima intensità.

Onde stazionarie

Onda confinata in regione di spazio limitata (estremi fissi):

Riflessioni multiple + Interferenza

In generale: configurazione complicata, variabile nel tempo e nello spazio



Interferenza costruttiva o distruttiva, variabile nel tempo

Onde stazionarie

Nel caso in cui la distanza tra i due vincoli (L) sia un **multiplo di $\lambda/2$** si forma un'onda stazionaria (sempre interferenza costruttiva).

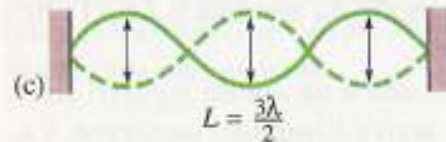
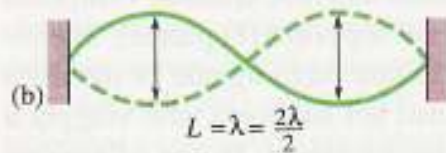
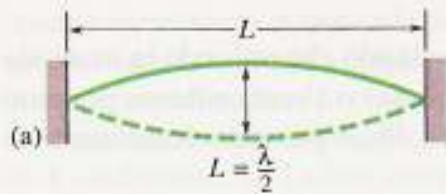


Figura 17.21 Una corda, tesa tra due morse, viene fatta oscillare in modo da avere onde stazionarie. (a) Lo schema più semplice possibile, la *fondamentale* o *prima armonica*, si dice che consiste di un *occhiello*, il nome che si riferisce alla forma composta data dalla corda nelle sue posizioni estreme (la linea continua e quella tratteggiata). (b) Lo schema della *seconda armonica* presenta due occhielli. (c) lo schema della *terza armonica* ha tre occhielli.

$$\frac{\lambda}{2} \quad 2 \cdot \frac{\lambda}{2} = \lambda \quad 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 2\lambda$$

La relazione generale è

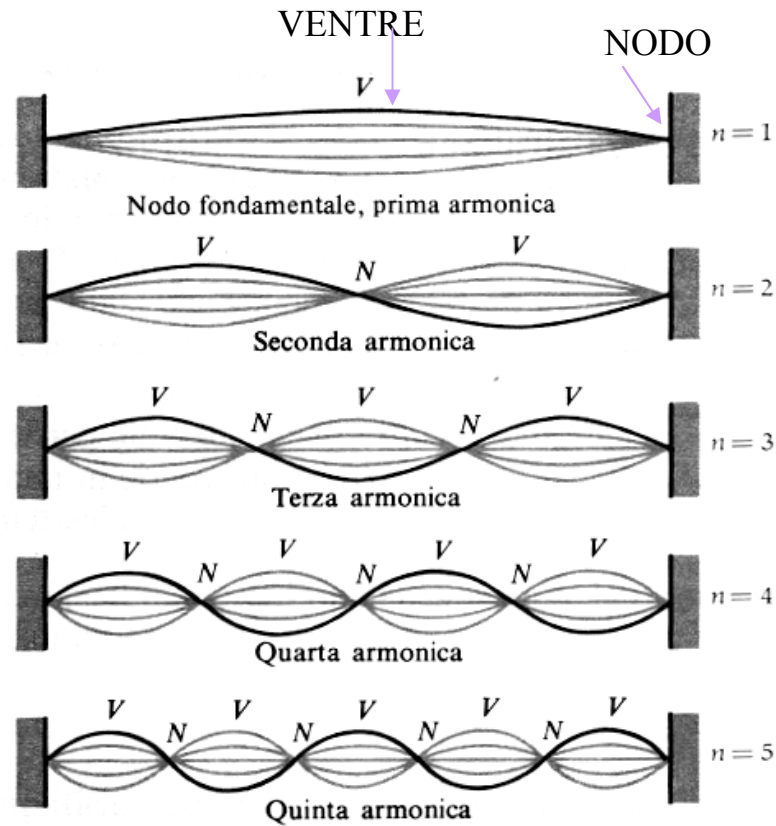
$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\text{CONDIZIONE DI RISONANZA})$$

Applicazioni in strumenti musicali



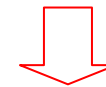
Figura 17.20 Le fotografie stroboscopiche rivelano (non perfettamente) il grafico di un'onda stazionaria su una corda fatta oscillare da un vibratore all'estremità sinistra. Gli schemi corrispondono a opportune frequenze di oscillazione.

Onde stazionarie



- Frequenze di risonanza:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \begin{matrix} v = \lambda \cdot \nu \\ \rightarrow \end{matrix} \quad L = n \cdot \frac{v}{2 \cdot \nu}$$



$$\nu = n \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$$

Chiamando ν_1 la frequenza di risonanza minore (o prima armonica)

$$\nu_1 = \frac{v}{2 \cdot L}$$

$$\nu_n = n \cdot \nu_1 \quad \text{Serie armonica (multipla della frequenza fondamentale)}$$

Onde stazionarie

Esempio:

Ricordando che la velocità del suono in aria è di circa 340 m/s, determinare la frequenza delle prime tre armoniche per un cilindro chiuso di 2 metri di lunghezza.

La prima armonica si ottiene ricordando che:

$$v_1 = \frac{v}{2 \cdot L} = \frac{340 \frac{m}{s}}{2 \cdot 2m} = 85 \text{ Hz}$$

Le altre armoniche sono semplicemente:

$$v_n = n \cdot v_1 \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} v_2 &= 2 \cdot v_1 = 2 \cdot 85 = 170 \text{ Hz} \\ v_3 &= 3 \cdot v_1 = 3 \cdot 85 = 255 \text{ Hz} \end{aligned}$$