

## Lezione 30: Caratteristiche generali delle onde

## 30.1. Lunghezza d'onda, periodo, velocità di propagazione

Per descrivere la propagazione di un'onda nello spazio dobbiamo collegare tre variabili: la grandezza che oscilla, il punto dello spazio in cui vogliamo calcolarla, l'istante di tempo che ci interessa. Nella prossima lezione parleremo del suono: vedremo che la grandezza che oscilla è la pressione dell'aria. Se scegliamo un punto nello spazio, il valore della pressione in quel punto subisce oscillazioni nel corso del tempo. Se scegliamo un istante di tempo, i valori di pressione variano da un punto all'altro dello spazio. Possiamo descrivere le due situazioni con due grafici (► fig.30.1)

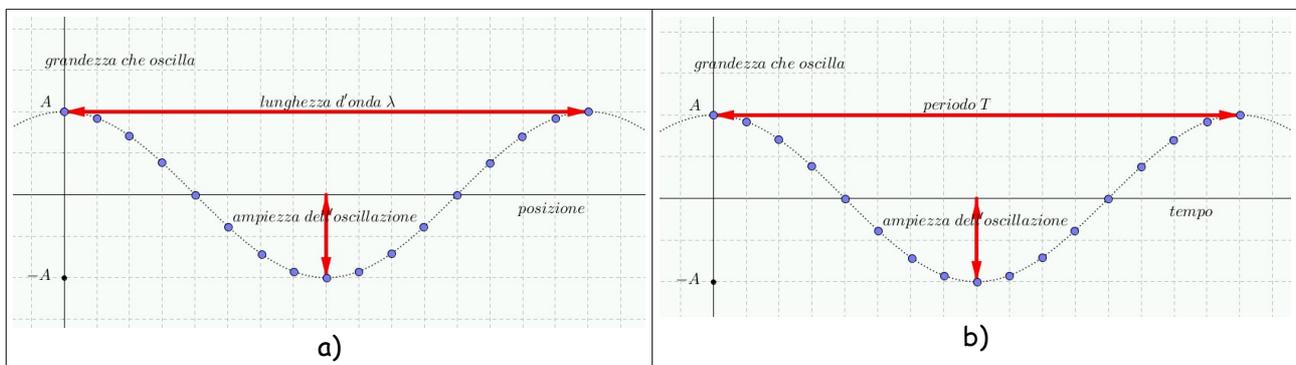


Fig.30.1 due diverse rappresentazioni di un'onda  
a) in funzione della posizione b) in funzione del tempo

I due grafici hanno lo stesso aspetto, ma occorre fare attenzione alla grandezza rappresentata in ascissa. La distanza tra due successivi picchi del tracciato spaziale si chiama *lunghezza d'onda*  $\lambda$ . La distanza tra due successivi picchi del tracciato temporale si chiama, come già sappiamo, *periodo*  $T$ .

C'è un'importante collegamento tra i due grafici. Al trascorrere del tempo il tracciato spaziale si sposta nella direzione in cui l'onda si propaga. Dopo un intervallo di tempo uguale al periodo  $T$ , il tracciato spaziale ritorna identico a sé stesso, perché tutti i suoi punti si sono spostati di una distanza pari alla lunghezza d'onda  $\lambda$ .

Perciò sappiamo calcolare la velocità con cui l'onda si propaga. Se ogni punto del tracciato si sposta di un tratto  $\lambda$  in un tempo  $T$ , allora la velocità di propagazione sarà:

$$v = \lambda/T$$

## 30.2. Sovrapposizione e interferenza

Due corpi materiali non possono coesistere in uno stesso punto dello spazio: può esserci l'uno, può esserci l'altro, ma non entrambi nello stesso istante. Le onde,

viceversa, possono farlo benissimo! All'antenna di un ricevitore FM arrivano contemporaneamente molti diversi segnali, sotto forma di onde che provengono da diverse antenne emettitrici. Infatti dobbiamo selezionare, attraverso il controllo della sintonia, proprio l'onda che trasporta il programma che vogliamo ascoltare.

*L'effetto prodotto da più onde che incidono nello stesso punto è semplicemente la somma degli effetti che ciascuna di esse produrrebbe singolarmente.*

Il suono, come abbiamo detto, è un'onda di pressione. Il mio timpano, se due persone mi parlano contemporaneamente, sente una pressione che è la somma delle pressioni prodotte, con la loro voce, da ciascuno dei miei interlocutori.

La sovrapposizione che abbiamo descritto produce alcuni caratteristici effetti di interferenza, che dobbiamo imparare a riconoscere e descrivere. Poiché è difficile visualizzare onde periodiche che si propagano nello spazio tridimensionale, cominciamo a descrivere i fenomeni di interferenza partendo da un esempio molto semplice: due impulsi che viaggiano lungo una corda, fino ad incontrarsi in un medesimo punto (► fig.30.2).

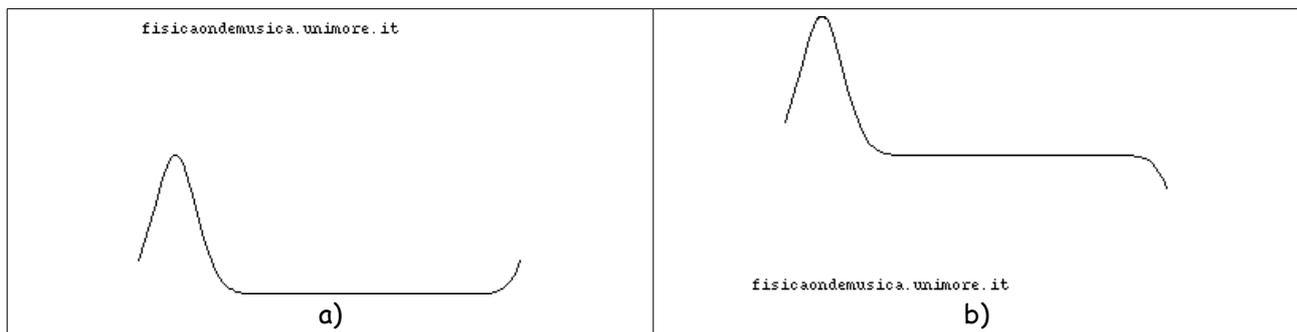


Fig.30.2 Impulsi che viaggiano lungo una corda: interferenza a) costruttiva b) distruttiva ([CLICCA](#))

Nella parte a) della figura vediamo un esempio di interferenza costruttiva: i due impulsi hanno la stessa direzione, perciò i loro effetti si potenziano a vicenda.

Nella parte b) della figura vediamo un esempio di interferenza distruttiva: i due impulsi hanno direzioni opposte, perciò i loro effetti si cancellano a vicenda.

### 30.3. Interferenza in 2 e in 3 dimensioni

Un'ape, ritmicamente, agita le ali sull'acqua. Il disturbo prodotto sulla superficie si propaga, dando origine a un caratteristico disegno, che dobbiamo imparare a riconoscere e a interpretare (► fig.30.3).



Fig.30.3 In un battere d'ali

Ogni ala produce un'onda: abbiamo perciò due sorgenti vicine. La grandezza che oscilla è naturalmente il livello dell'acqua. La caratteristica forma che vediamo è il risultato dell'interferenza tra le onde emesse dalle due sorgenti. D'ora in avanti la chiameremo perciò *figura di interferenza*.

#### 30.4. Come si forma la figura di interferenza

Nella figura che segue (► fig.30.4) le due sorgenti sono indicate con  $S_1$  e  $S_2$ . Ogni sorgente emette onde con la stessa frequenza, la stessa ampiezza e la stessa fase (stessa fase significa che le ali dell'ape battono simultaneamente, e simultaneamente si sollevano).

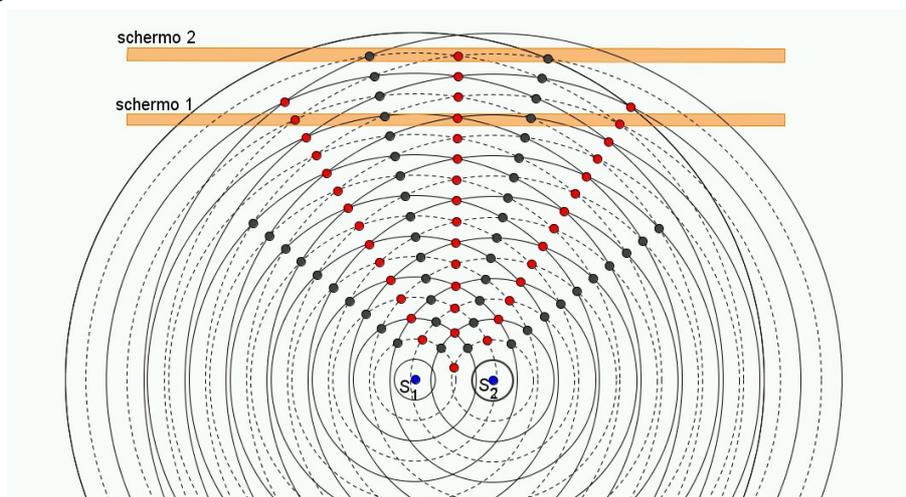


Fig.30.4 Come si forma la figura di interferenza

L'immagine rappresenta un situazione istantanea. Ogni sorgente emette un'onda circolare: i cerchi pieni rappresentano massimi, quelli tratteggiati rappresentano minimi: nella versione dinamica di quest'immagine vedremmo ogni cerchio accrescere il suo raggio con velocità costante  $v$ . Dopo un tempo pari al periodo  $T$  l'istantanea

presenterà lo stesso aspetto: ogni cerchio avrà accresciuto il suo raggio di un tratto pari alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , andando a sovrapporsi al cerchio successivo.

Nei punti evidenziati in rosso abbiamo interferenza costruttiva: massimi con massimi e minimi con minimi. Nei punti evidenziati in nero abbiamo interferenza distruttiva: vi si incontrano infatti massimi con minimi.

Se disponiamo uno schermo parallelo alla retta che contiene le due sorgenti, vediamo alternarsi punti di interferenza costruttiva (oscillazione massima) e punti di interferenza distruttiva (oscillazione inesistente). Sopra un secondo schermo, posto a distanza più grande rispetto alle sorgenti, vediamo presentarsi la stessa successione, ma con distanze più grandi tra un punto e l'altro.

C'è una formula davvero meravigliosa che ci permette di calcolare la lunghezza d'onda a partire da tre grandezze che di solito è facile misurare: la distanza tra le sorgenti, la distanza tra lo schermo e le sorgenti, la distanza tra i massimi sullo schermo. Ecco la formula, valida a condizione che lo schermo sia molto lontano dalle sorgenti:

$$\lambda = yd/D$$

dove  $y$  è la distanza tra i massimi,  $d$  è la distanza tra le sorgenti,  $D$  è la distanza dello schermo. Nel prossimo paragrafo giustificheremo questa formula.

### 30.5. Giustificiamo la formula

Consideriamo la prossima figura (► fig.30.5).

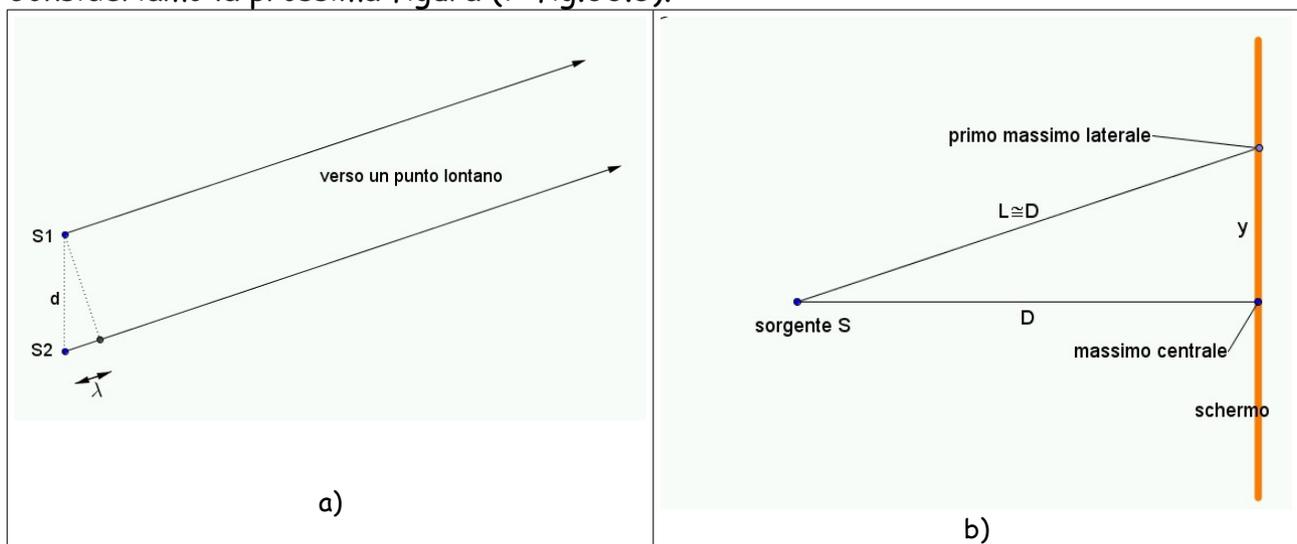


Fig.30.5 Il fenomeno dell'interferenza a) su piccola scala b) su grande scala

La parte a) della figura mostra una piccola zona nei pressi delle due sorgenti. Due segnali viaggiano verso un lontano punto comune. Un momento! Le due direzioni sono uguali, come fanno le due rette ad avere un punto in comune? In realtà le rette sono "quasi parallele" per cui tendono a incontrarsi, anche se in un punto "molto lontano" ...

Se il punto comune è il primo punto dello schermo sul quale ritroviamo interferenza costruttiva, allora il cammino che parte da S2 supera quello che parte da S1 di esattamente una lunghezza d'onda. La parte b) della figura mostra una vista su larga scala, che include anche lo schermo. Tanto larga, in verità, che le sorgenti appaiono confuse in un unico punto S.

Il triangolo rettangolo che vediamo nella parte a) della figura è simile al triangolo rettangolo che vediamo nella parte b) della stessa. Ciò significa che c'è un'uguaglianza di rapporti:

$$\lambda/d = \gamma/D \quad \text{quindi} \quad \lambda = \gamma d/D$$

Il risultato conferma perciò quello che avevamo detto nel precedente paragrafo.

### 30.6. La polarizzazione

Un'onda può presentare oppure no una caratteristica interessante: la polarizzazione. Riprendiamo in considerazione la figura 29.5b: si tratta di un'onda trasversale, cioè un'onda in cui la direzione della vibrazione è perpendicolare a quella di propagazione. C'è però ancora un fatto da notare: la vibrazione avviene in direzione verticale! Pur restando perpendicolare alla direzione di propagazione, la vibrazione avrebbe potuto avere direzione orizzontale, oppure ancora una combinazione delle due direzioni. Nei tre casi si parla rispettivamente di polarizzazione verticale, polarizzazione orizzontale, polarizzazione circolare.

Vediamo tre animazioni che chiariscono meglio il concetto (► fig.30.6):

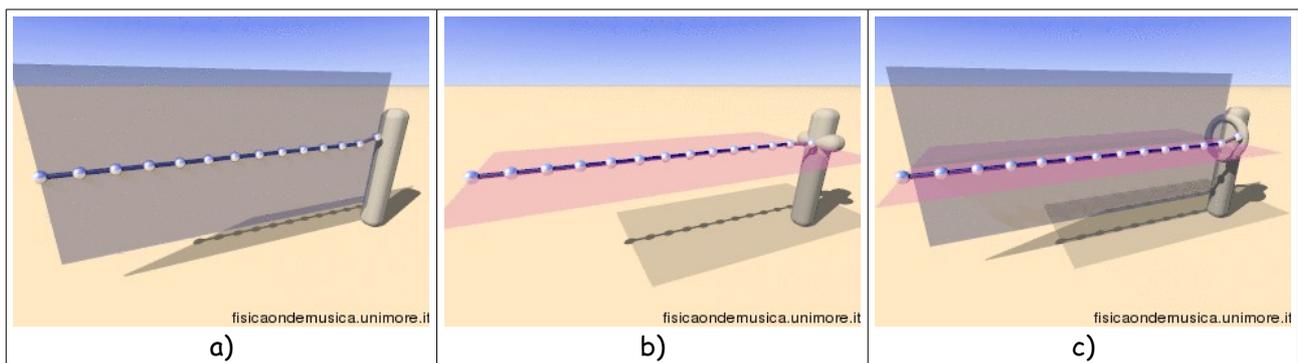


Fig.30.6 Esempi di polarizzazione a) verticale b) orizzontale c) circolare ([CLICCA](#))

Vediamo come, nel caso della polarizzazione circolare, l'oscillazione avviene lungo cerchi perpendicolari alla direzione di propagazione.

L'esempio di onde che si propagano su corde o catene ci ha permesso di illustrare in modo semplice il concetto di polarizzazione di un'onda. Lo stesso esempio ci permette di illustrare in modo altrettanto semplice il comportamento dei dispositivi chiamati polarizzatori, che si lasciano attraversare solo da onde che abbiano il giusto stato di polarizzazione: lo vediamo con la prossima immagine (► fig.30.7).

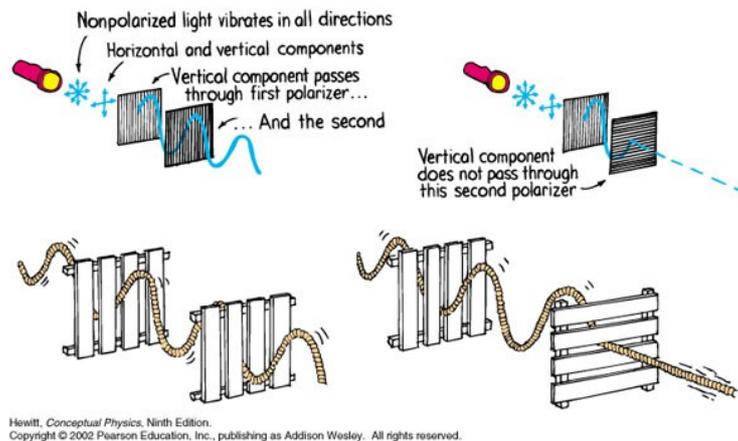


Fig.30.7 un semplice modello di come operano i polarizzatori

Una palizzata verticale lascia passare, attraverso le sue aperture, un'onda polarizzata verticalmente, ma ne blocca una di polarizzazione orizzontale. Succede l'esatto contrario se le aperture della palizzata hanno direzione orizzontale. Se dispongo due palizzate in successione, con aperture disposte lungo direzioni perpendicolari, nessun tipo di onda può attraversarle.

Se l'onda che incide ha polarizzazione circolare, quella che emerge dal polarizzatore ha polarizzazione orizzontale (oppure verticale). Il polarizzatore, cioè, si comporta come un filtro che seleziona uno dei due stati, bloccando lo stato ad esso perpendicolare. La cosa si può osservare in modo spettacolare nella prossima figura (► fig.30.8).

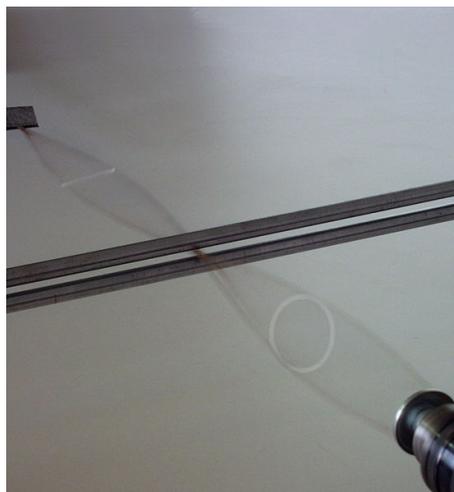


Fig.30.8 L'onda viaggia da destra verso sinistra, la sua polarizzazione è circolare, il filtro ne seleziona la componente orizzontale