

■ FENOMENI ONDULATORI (ONDE)

- la vibrazione di una corda

- Il movimento delle onde sulla superficie di uno specchio d'acqua

- la propagazione del suono nell'aria

- la propagazione della luce e dei segnali radio

→ Sono tutt. fenomeni ondulatori ∴

"Una vibrazione che si propaga in un mezzo"

• ONDE ELASTICHE (o MECCANICHE):

vibrazioni di particelle materiali dovute ad una causa esterna che le sposta da una posizione di equilibrio, e vi ritornano grazie alle forze di richiamo

Esiste un tipo di oscillazione molto semplice
che si dice moto armonico

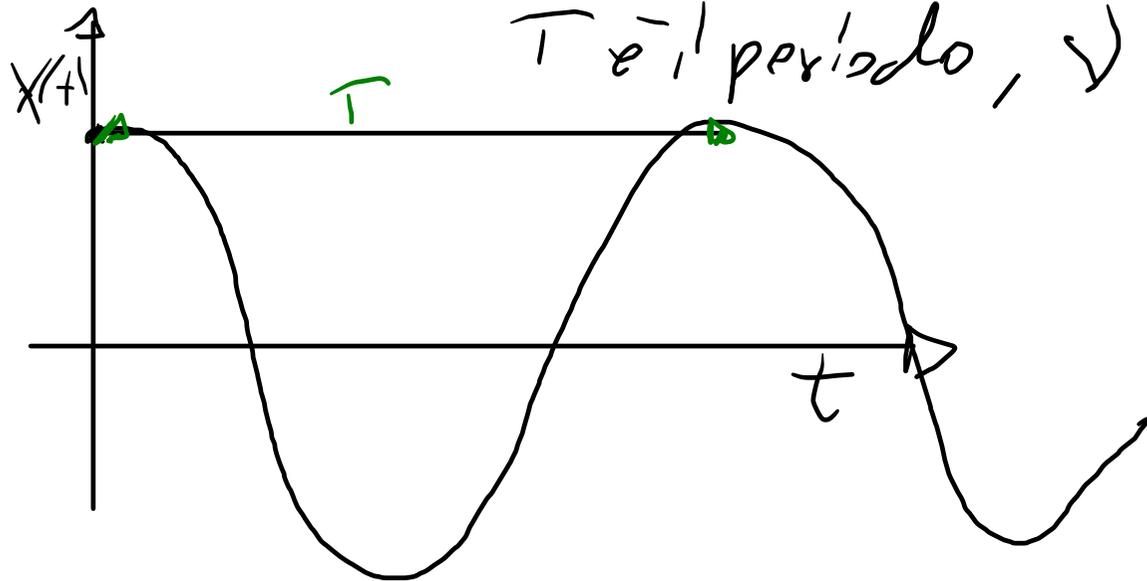
$$X(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

Annotations: A is labeled "ampiezza" (amplitude); $\omega t + \varphi$ is labeled "tempo" (time) and "fase" (phase).

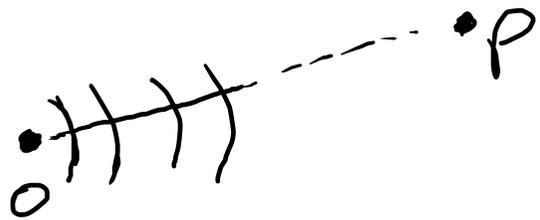
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Annotations: ω is labeled "pulsazione (o frequenza angolare)" (angular frequency).

$$T \text{ è il periodo, } \nu = \frac{1}{T} \text{ la frequenza}$$



Un sistema in cui una o più grandezze oscillano come $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$ si dice oscillatore armonico



una sorgente O che oscilla in maniera armonica ed emette onde che si propagano ad una velocità v .

$$S(t) = S_0 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad \text{dove } x \text{ è la distanza tra } O \text{ e } P$$

Fissiamo per semplicità $\varphi = 0$, $S_0(t) = A \sin(\omega t)$

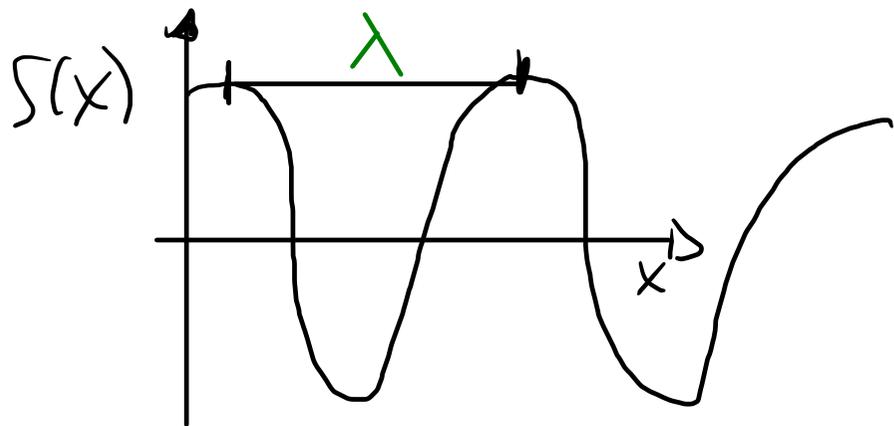
$$\text{Quindi } S(t) = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) \right) = A \sin \left(2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right)$$

$$\text{dove } \lambda = v \cdot T$$

$$\lambda = v \cdot T \rightarrow \text{lunghezza d'onda}$$

$$S(t) = A \sin\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right) \rightarrow S(t, x)$$

- $\lambda \rightarrow$
- distanza percorsa dall'onda in un tempo T
 - distanza minima tra due punti in fase



Un'onda del genere si
dice monocromatica,
ovvero sinusoidale di data
frequenza

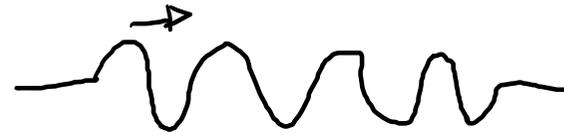
Quindi

$$\lambda \cdot \nu = v$$

Possiamo dividere le onde in

- ONDE TRASVERSALI: la vibrazione è ortogonale alla direzione del moto

Esempio: corda tesa

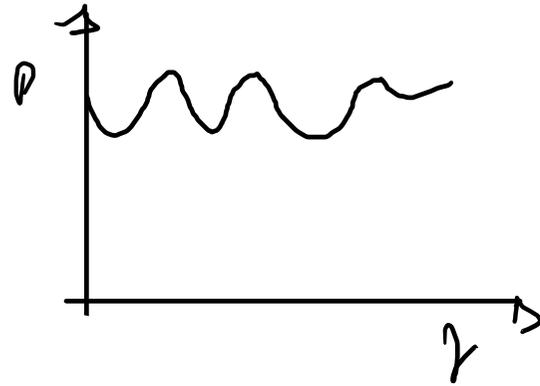
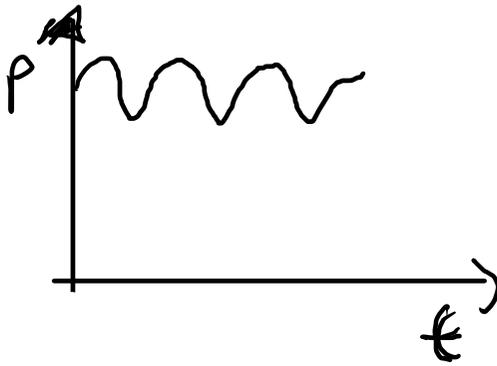
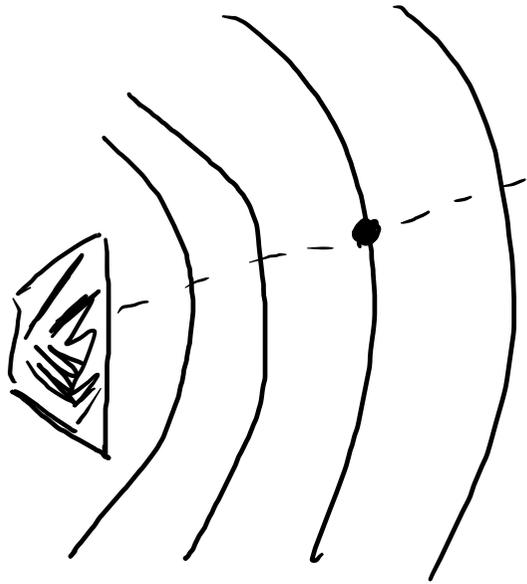


- ONDE LONGITUDINALI: la direzione di propagazione è uguale alla direzione della vibrazione

Esempio: molla, onde acustiche



ONDE SONORE: onde elastiche in un mezzo fluido



ONDE DI PRESSIONE

Le onde si propagano nell'aria a 340 m/s .



Consideriamo la frequenza dell'aria a 440 Hz

$$\lambda = \frac{v}{f} = 77 \text{ cm}$$

Nell'acqua invece la velocità del suono è 1450 m/s

$$\lambda = \frac{v}{f} = 3.3 \text{ m}$$

EFFETTO DOPPLER

Prendiamo una sorgente che emette ad una frequenza ν_0 e che si muove con una velocità v verso l'ascoltatore, allora la frequenza percepita è

$$\nu = \nu_0 \left(\frac{v_s}{v_s - v} \right)$$

dove v_s è la velocità del suono nel mezzo.

Se invece la sorgente si allontana:

$$v = v_0 \left(\frac{v_s}{v_s + v} \right)$$

Nel caso in cui sia l'ascoltatore a muoversi verso la sorgente o

$$v = v_0 \left(\frac{v_s + v}{v_s} \right)$$

se si allontana $v = v_0 \left(\frac{v_s - v}{v_s} \right)$

In generale

$$v = v_0 \left(\frac{v_s \pm v_{asc}}{v_s \pm v_{sorg}} \right)$$

+ v_{asc} se l'ascoltatore va verso la sorgente

+ v_{sorg} se la sorgente si allontana dall'ascoltatore.

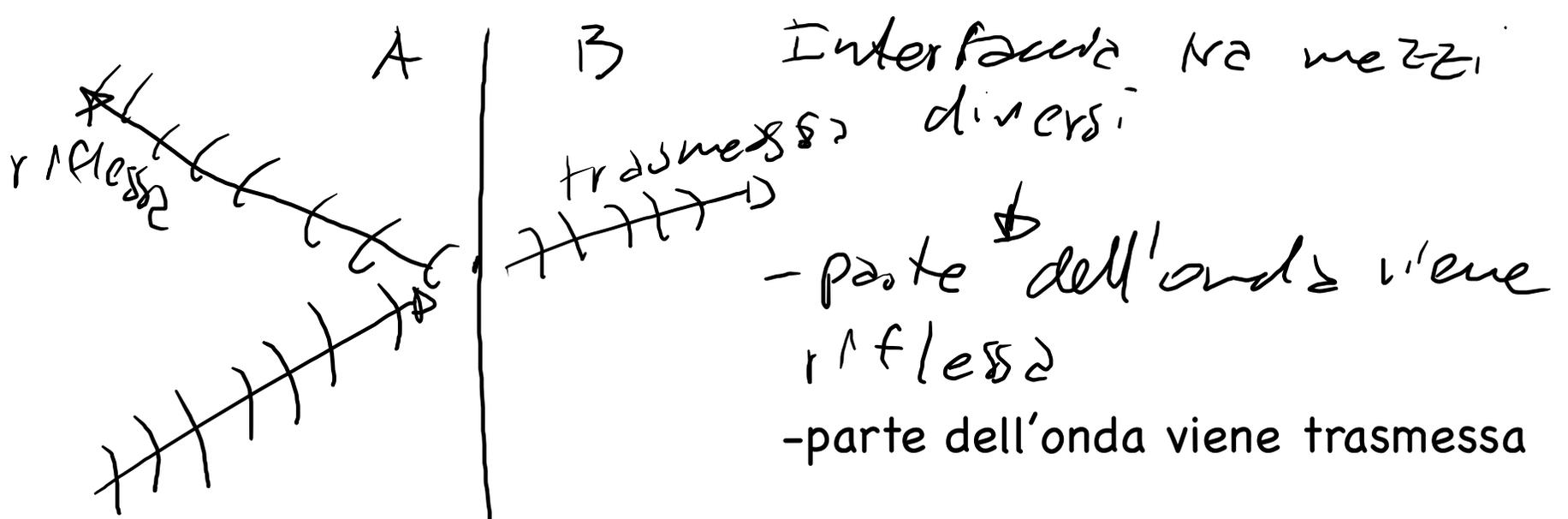
ECOGRAFIA: tecnica diagnostica basata sulla riflessione da parte di interfacce tra mezzi diversi attraversati da Ultrasuoni.

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$$

dove α dipende dalla frequenza e dal mezzo

Ad 1 MHz $\rightarrow \alpha = 0.0006$ in acqua, 0.09 per il sangue, 0.5 nei muscoli, 0.26 nel tessuto adiposo.

Tra 0.5 e 1 MHz vale che $\alpha \sim V$

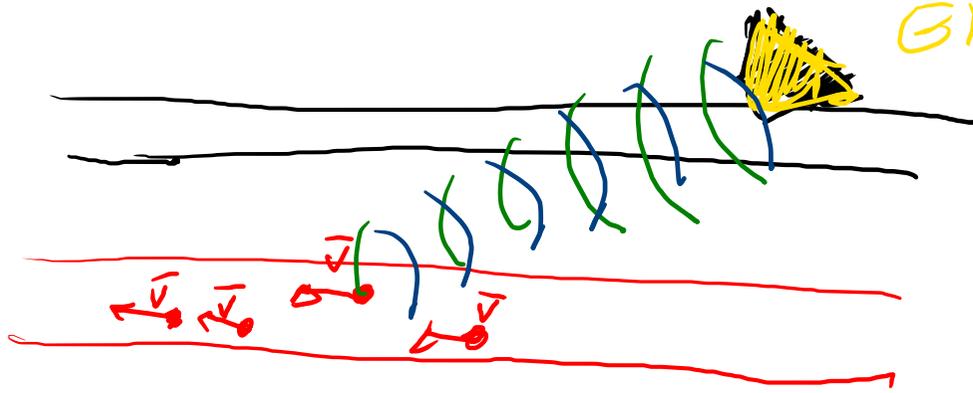


L'ecografia rileva l'eco dovuto alla riflessione degli ultrasuoni.

ECODOPPLER: una ecografia che sfrutta l'effetto Doppler

Un tipo è la flessimetria Doppler

EMETTITORE + RILEVATORE



Gli ultrasuoni vengono riflessi dai globuli rossi in allontanamento dalla sorgente.

Frequenza d'emissione

$$V_i = V_0 \left(\frac{V_s - V_g}{V_s} \right)$$

V_g è la velocità media dei globuli rossi

$$V_r = V_i \left(\frac{V_s}{V_s + V_g} \right) = V_0 \left(\frac{V_s - V_g}{V_s} \right) \left(\frac{V_s}{V_s + V_g} \right)$$

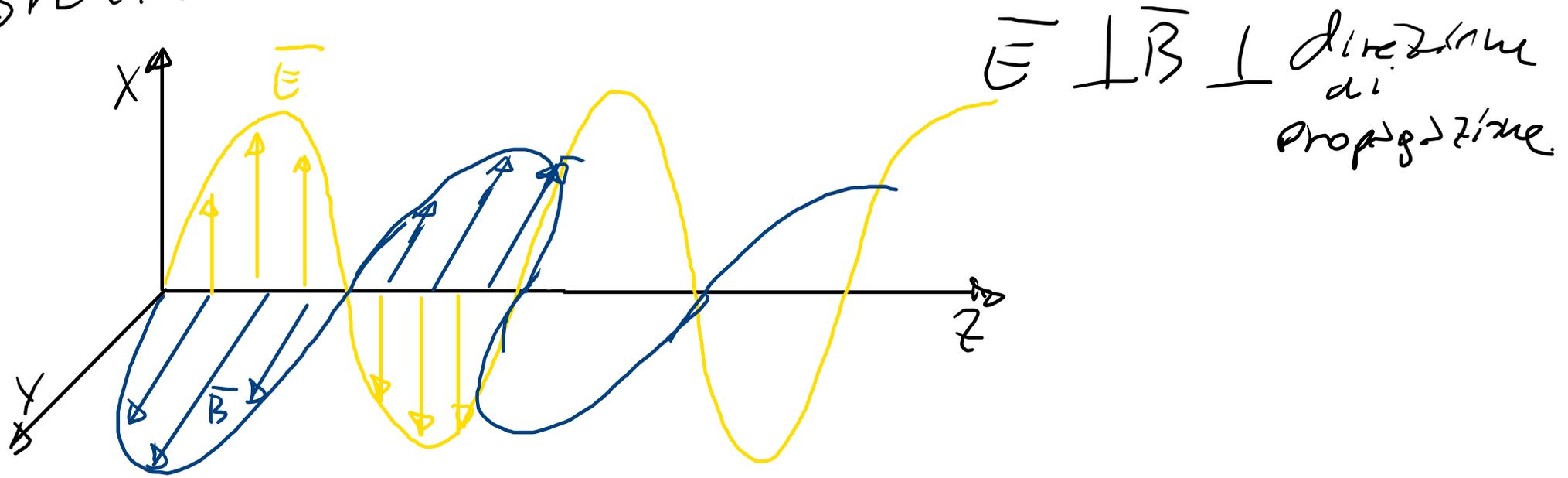
$$V_r = V_0 \left(\frac{V_s - V_g}{V_s + V_g} \right)$$

$$V_0 - V_d = V_0 \left(\frac{2V_g}{v_s + v_g} \right)$$

→ depende de v_g

~~ONDE~~ ONDE ELETTROMAGNETICHE

onde dove il campo elettrico ed il campo magnetico oscillano nel tempo e si propagano nello spazio



Ad esempio un'onda E.M. piana e monocromatica

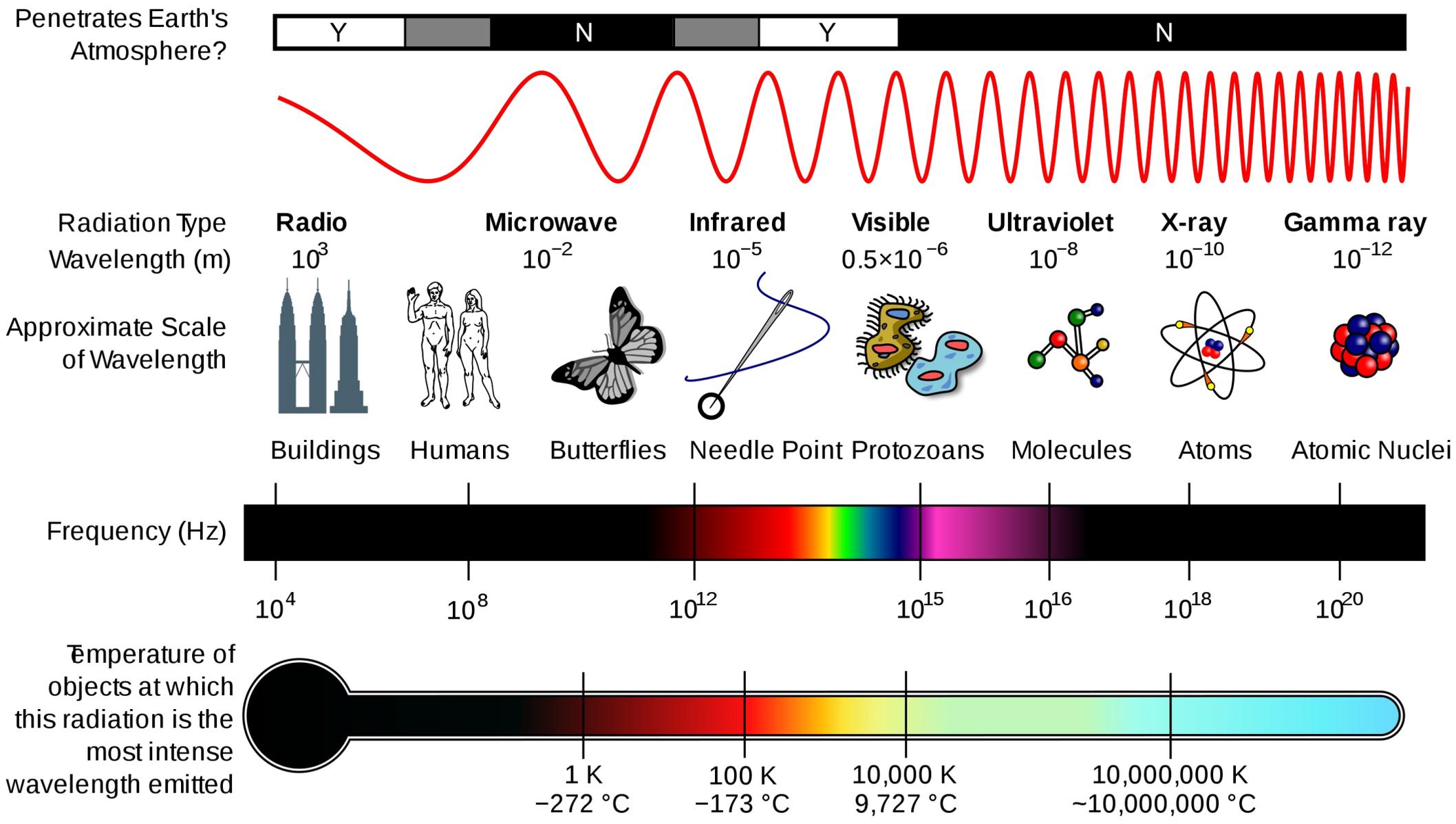
$$\left. \begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda}\right) \\ \vec{B} &= \vec{B}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda}\right) \end{aligned} \right\}$$

Nel vuoto le onde E.M. si propagano alla
velocità della luce

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

dove vale $c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$

Inoltre vale $\lambda \cdot \nu = c$



Radiazione di corpo nero, effetto fotoelettrico

Ci sono alcuni esperimenti in cui la radiazione E.M. si comporta come una particella e non come un'onda



Questo apparente paradosso si chiama dualismo onda-particella



Questo dualismo è completamente risolto dalla meccanica quantistica moderna, che descrive le particelle fondamentali come eccitazioni di campi quantistici

ALCUNI ESEMPI DI APPLICAZIONI MEDICHE DELLA RADIAZIONE E.M.

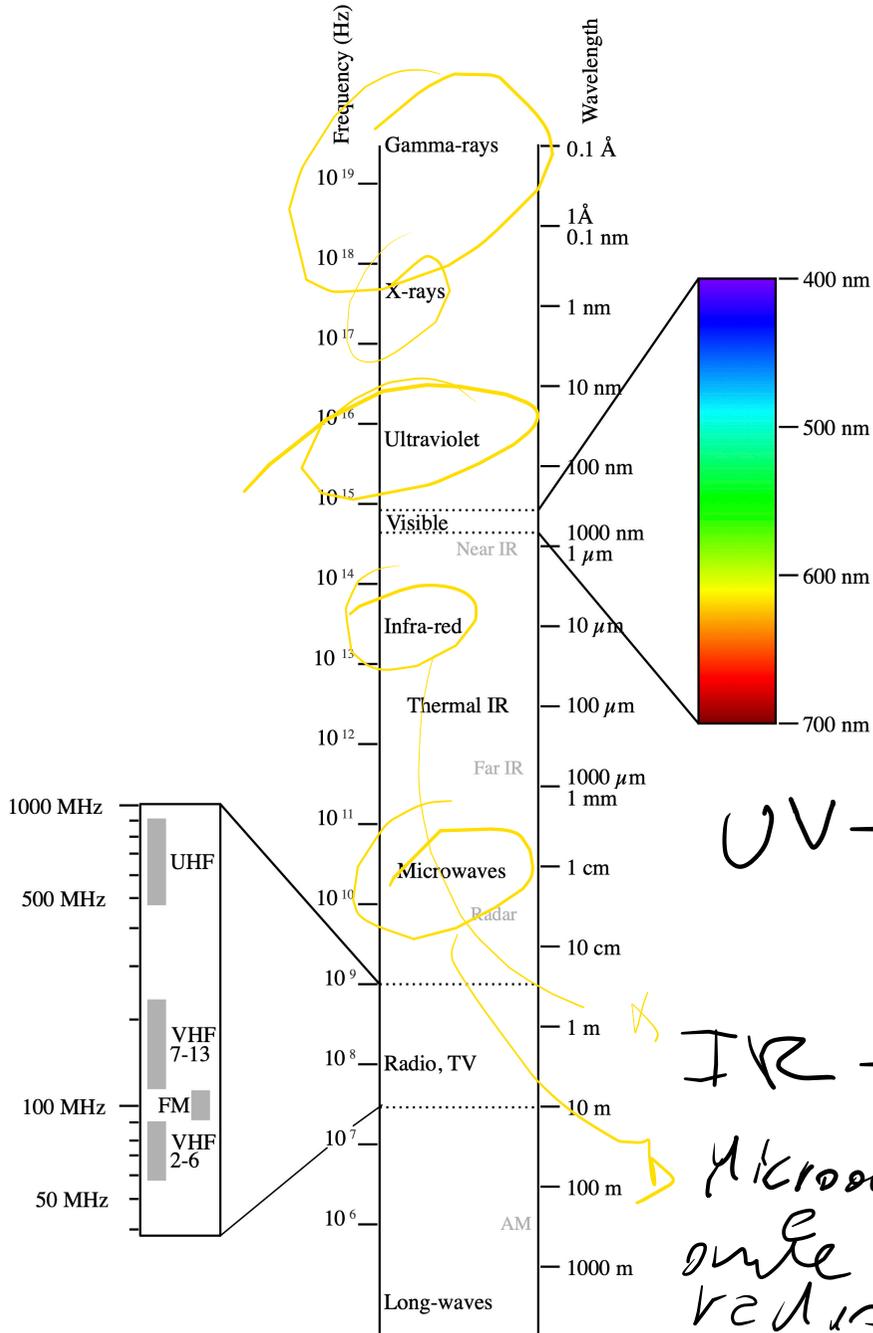
Raggi γ → Radioterapia e medicina nucleare (PET)

Raggi X → Radioterapia e radiodiagnostica (radiografia e CT)

UV → Sterilizzazione, polimerizzazione di resine composite.

IR → Pulsossimetro

Microonde → MRI, terapie contro il cancro, onde radio diatermia.



OTTICA

• OTTICA FISICA, o ONDULATORIA:

studio dei fenomeni di propagazione della luce come onde.

↓

interferenza, effetto Doppler.

• OTTICA GEOMETRICA; se le dimensioni dei

mezzi sono molto maggiori della lunghezza

d'onda, si può assumere che la luce si propaga in linea retta trascurando fenomeni

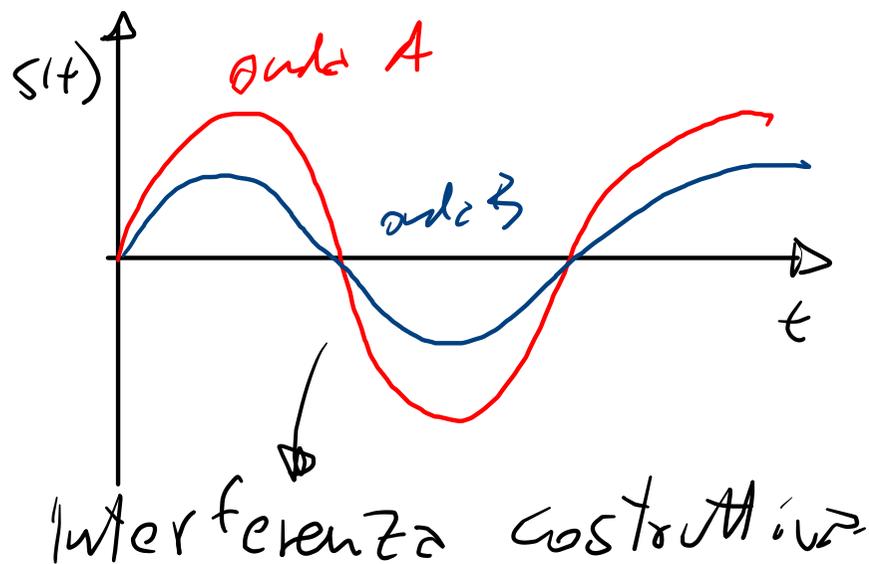
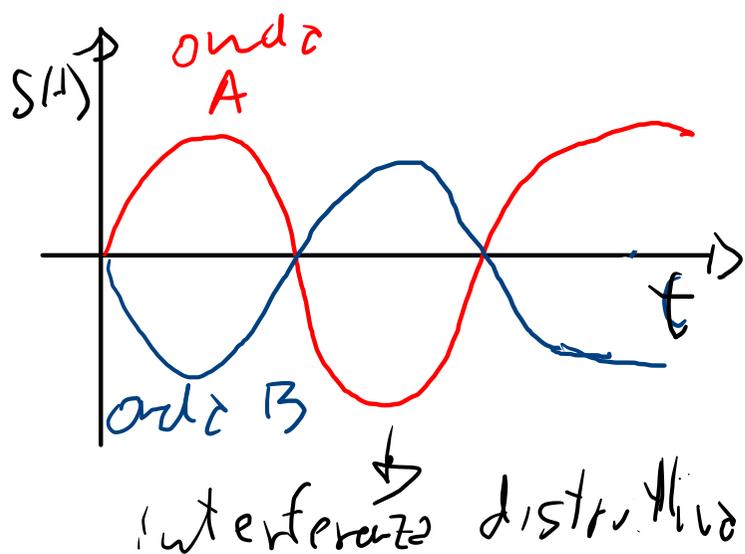
ondulatori

→ raggi luminosi

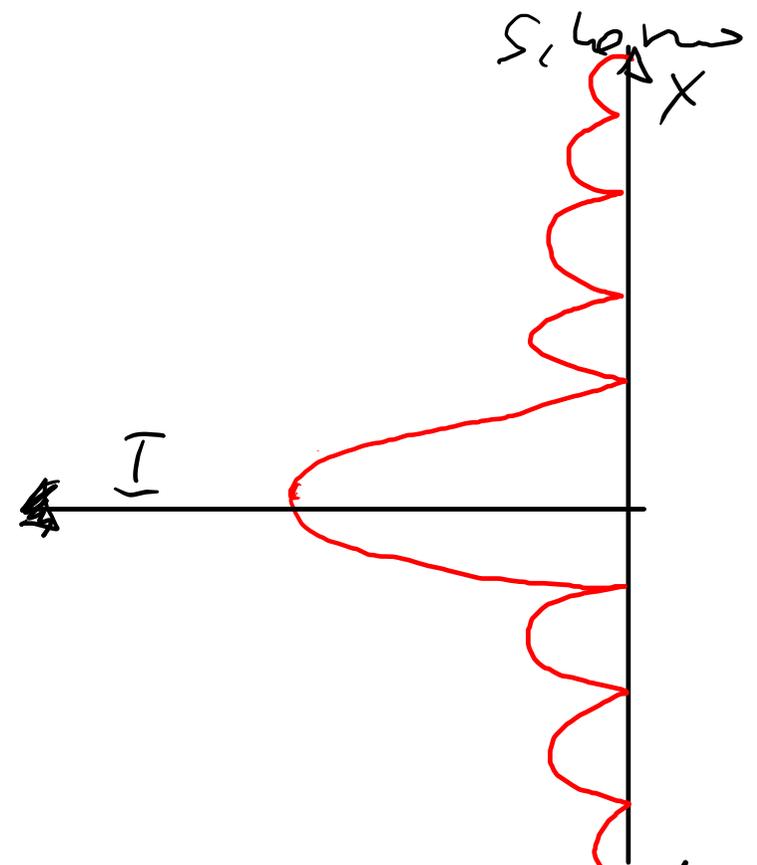
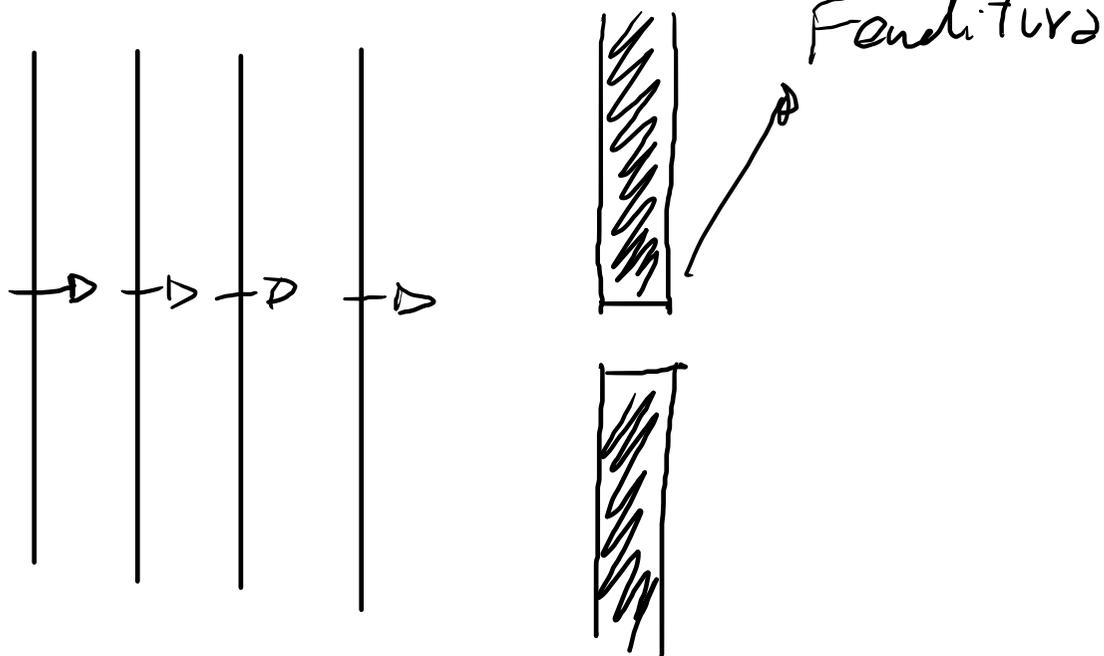
INTERFERENZA

Fenomeno ondulatorio dove in una stessa regione dello spazio si propagano, sovrapposendosi, 2 o più onde

↓
A seconda della fase relativa, le onde possono sommarsi costruttivamente o distruttivamente.



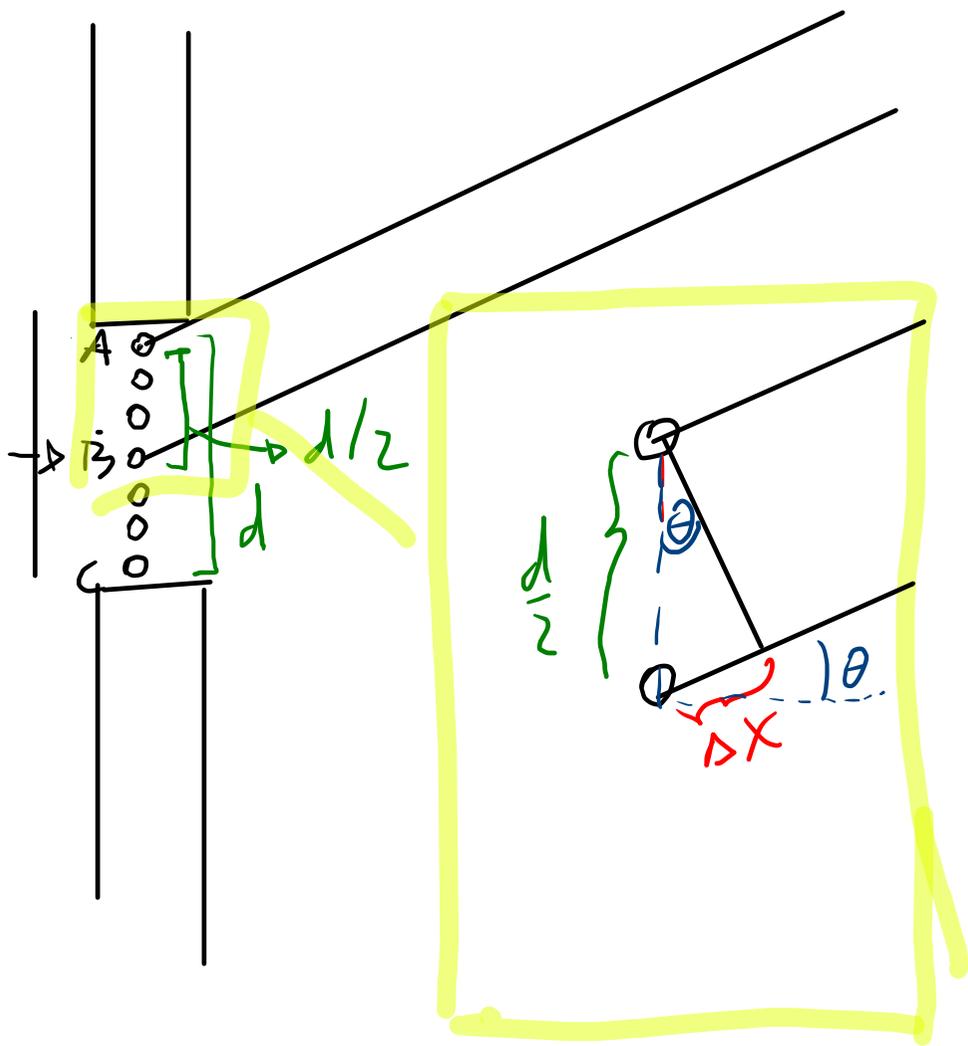
DIFFRAZIONE



La luce attraversa la fenditura e viene proiettata ad una distanza molto superiore rispetto alla larghezza della fenditura.

↓
OTTICA FISICA (ONDULATORIA)

Principio di Huygens: ogni punto di un fronte d'onda primario può essere considerato come una sorgente secondaria di onde sferiche in fase con la primaria.



$$\Delta x = \frac{d}{2} \sin \theta$$

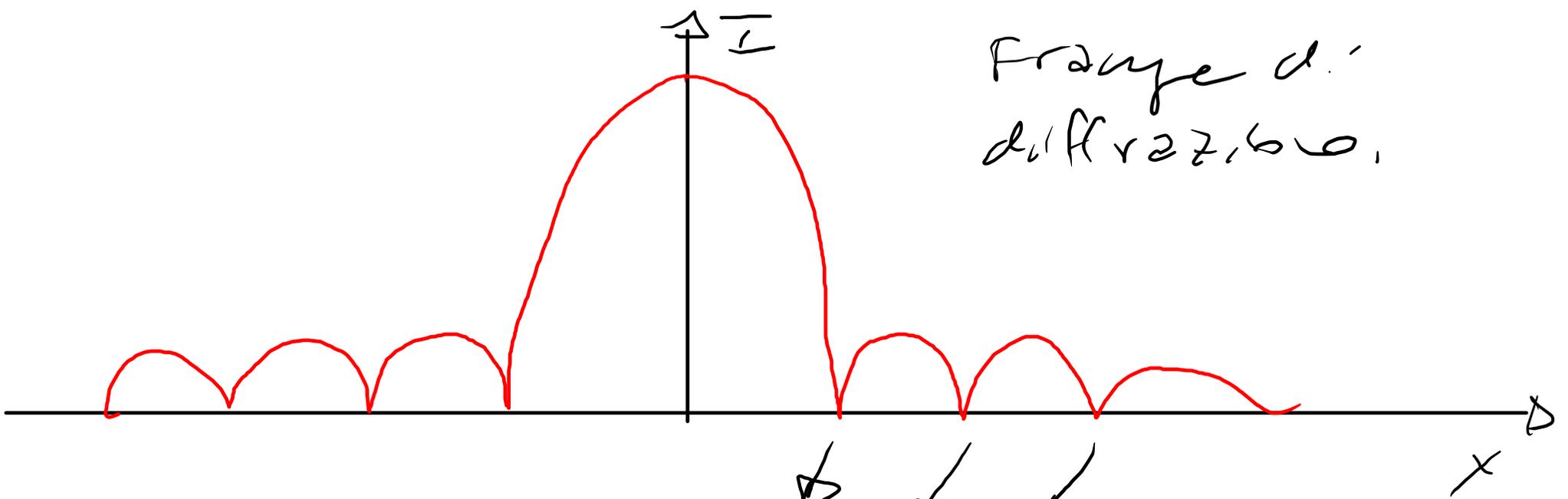
C'è interferenza distruttiva quando

$$\Delta x = \frac{d}{2} = \frac{d}{2} \sin \theta$$

$$\sin \theta \cdot d = \lambda \Rightarrow \text{frangia second}$$

$$\frac{d}{2} \sin \theta = \frac{n}{2} \lambda$$

Fränge d.
diffrazz. b. o.



$\sin \theta = \frac{n \lambda}{d}$

$n = 1, 2, 3, \dots$

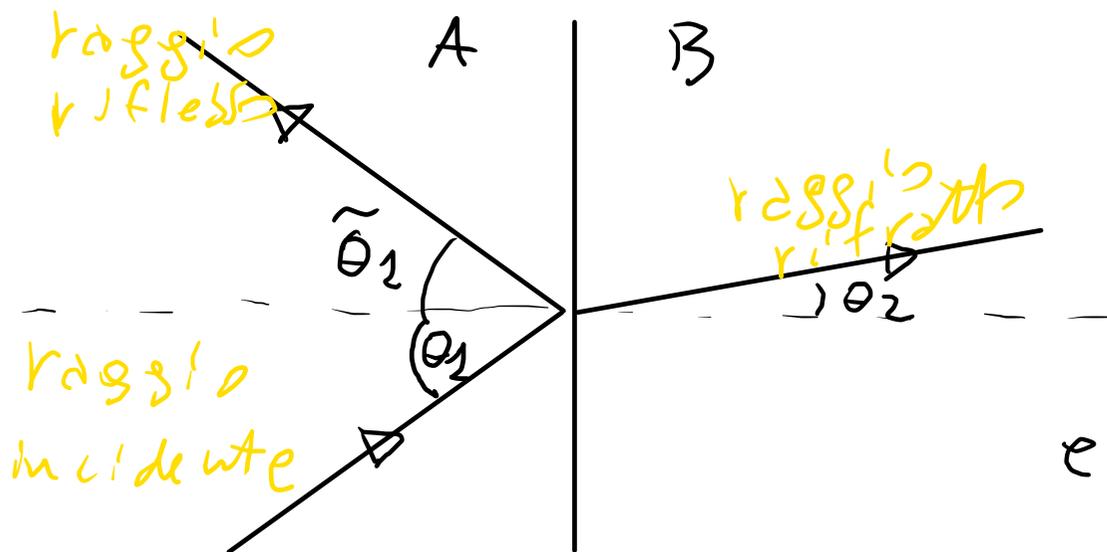
Indice di rifrazione

$$n = \frac{c}{v}$$

do v è la velocità di propagazione della luce in un determinato mezzo.

$$v < c \Rightarrow n > 1$$

RIFLESSIONE e RIFRAZIONE



Quando la luce raggiunge una interfaccia tra 2 mezzi diversi, parte dell'onda viene riflessa e parte viene rifratta

RIFLESSIONE : 1) raggio incidente e riflesso
giacciono sullo stesso piano

2) $\tilde{\theta}_1 = \theta_1$, ovvero l'angolo
di incidenza e di riflessione
sono uguali.

RIFRAZIONE : 1) raggio incidente e rifratto
giacciono sullo stesso piano

2) $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ Legge
di Snell