# ONDE ELETTROMAGNETICHE (SINTESI)

MAXWELL (TRATTATO DI ELETTRICITÀ E MAGNETISMO - 1873)

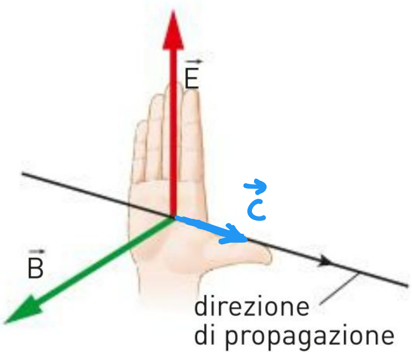
$\Downarrow$

I campi elettrici e magnetici dipendenti dal tempo soddisfano un'**EQUAZIONE D'ONDA LINEARE**. In pratica le equazioni di Maxwell prevedono l'esistenza di **ONDE ELETTROMAGNETICHE** consistenti di campi elettrici e magnetici oscillanti.

## PROPRIETÀ

1) $\vec{E}$ e $\vec{B}$ sono sempre perpendicolari tra loro e perpendicolari alla direzione di propagazione

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{c} \Rightarrow E = cB$$




**VELOCITÀ DELL'ONDA**

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3{,}00 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

VEL. DELLA LUCE

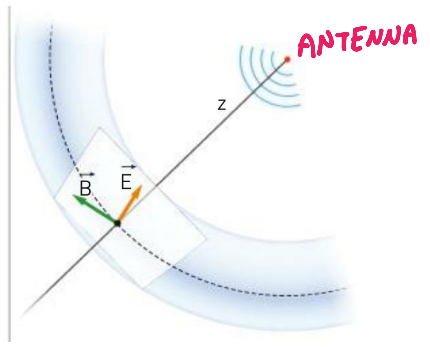
Le onde elettromagnetiche sono **TRASVERSALI** e **SI PROPAGANO ANCHE NEL VUOTO**

2) Se una carica oscilla (ad es. in un'antenna) emette un'onda elettromagnetica. Consideriamo la sorgente puntiforme e i fronti d'onda piani (poiché ne consideriamo solo una piccola parte)

$\Downarrow$

rappresentate come

**ONDE TRASVERSALI PIANE**



3) Se la sorgente si muove di moto armonico con frequenza $f$, anche l'onda elettromagnetica emessa è <u>ARMONICA</u>, cioè

$$E = E_0 \cos[k(x-ct)] \qquad E_0, B_0 \text{ AMPIEZZE}$$

$$B = B_0 \cos[k(x-ct)]$$

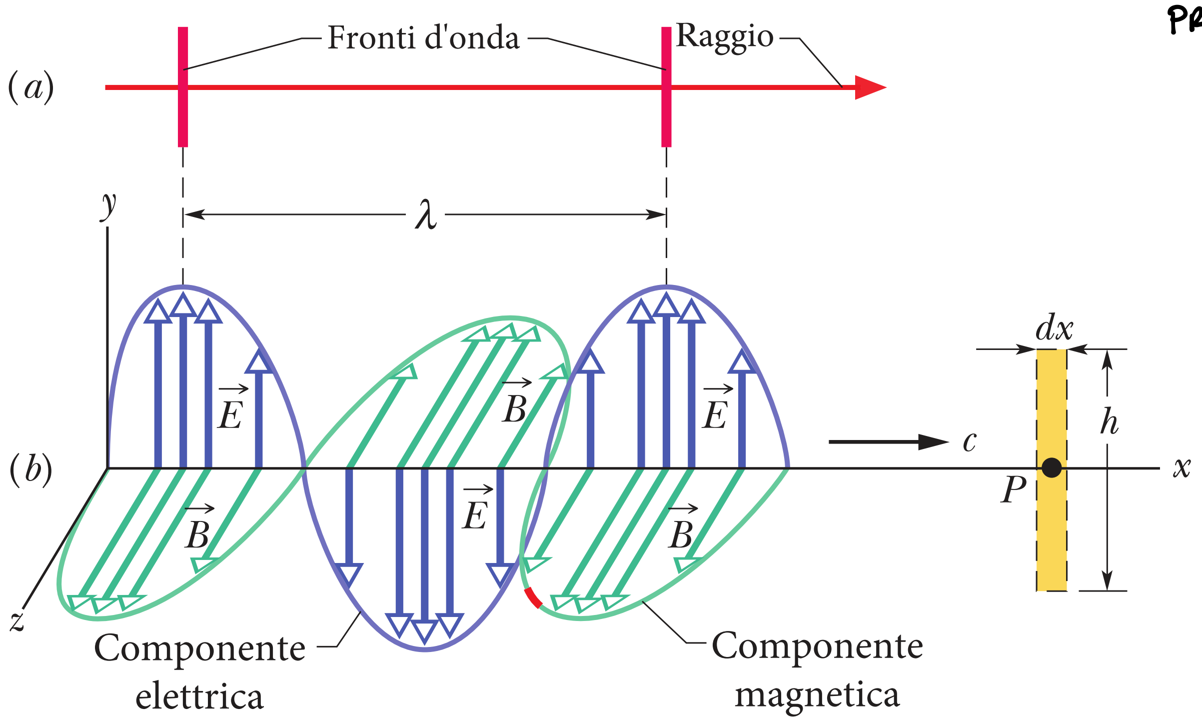
$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ NUMERO D'ONDA $\quad \lambda$ = LUNGHEZZA D'ONDA $\quad f = \frac{c}{\lambda}$ FREQUENZA

$\downarrow$

$\frac{1}{\lambda}$ = numero di oscillazioni nell'unità di lunghezza

$\Downarrow$

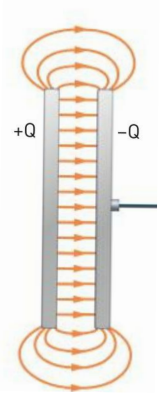
$c = \lambda f$ VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE




Il campo elettrico e il campo magnetico oscillano <u>IN FASE</u>

# ENERGIA TRASPORTATA DA UN'ONDA ELETTROMAGNETICA

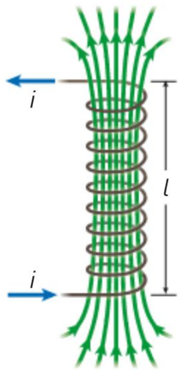
DENSITÀ VOLUMICA DI ENERGIA DEL CAMPO ELETTRICO




$$w_{\vec{E}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

DENSITÀ VOLUMICA DI ENERGIA DEL CAMPO MAGNETICO

$$w_{\vec{B}} = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$




VALGONO IN GENERALE

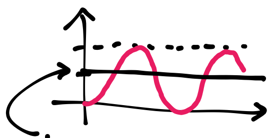
Nello spazio attraversato da un'onda elettromagnetica c'è una densità di energia

$$w = w_{\vec{E}} + w_{\vec{B}}$$ che varia nel tempo

Se l'onda è armonica calcoliamone il valore medio $\overline{w}$

$$\overline{w_{\vec{E}}} = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2 \qquad \overline{w_{\vec{B}}} = \frac{1}{4\mu_0} B_0^2$$

FUNZ. SINUSOIDALI



VALORE MEDIO = $= \frac{1}{2}$ VALORE MAX

$$\overline{w} = \overline{w_{\vec{E}}} + \overline{w_{\vec{B}}} = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2 + \frac{1}{4\mu_0} B_0^2 =$$

$$= \frac{1}{4}\varepsilon_0 \left(E_0^2 + \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0} B_0^2\right) = \frac{1}{4}\varepsilon_0 \left(E_0^2 + c^2 B_0^2\right) =$$

$$= \frac{1}{4}\varepsilon_0 \left(E_0^2 + E_0^2\right) = \boxed{\frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2}$$

DENSITÀ VOLUMICA MEDIA DI ENERGIA DI UN'ONDA ELETTROMAGNETICA

## VALORI EFFICACI

$$B_{eff.} = \frac{B_0}{\sqrt{2}} \qquad E_{eff.} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

INTENSITÀ CHE DOVREBBE AVERE UN CAMPO COSTANTE PER AVERE UNA DENSITÀ DI ENERGIA PARI A QUELLA MEDIA

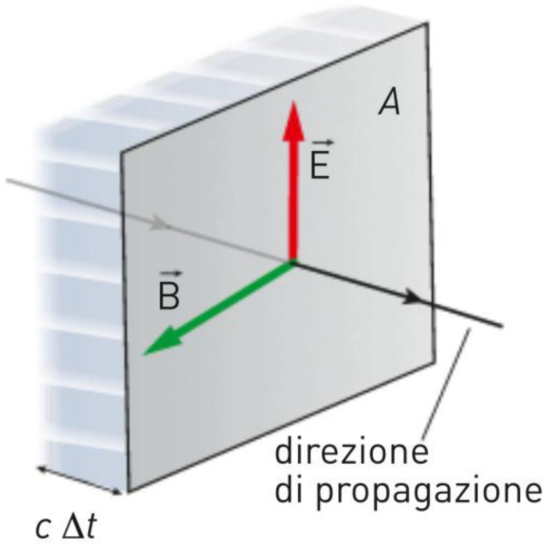
$$w_{\vec{E}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \frac{E_0^2}{2} = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2 = \overline{w_{\vec{E}}}$$

IRRADIAMENTO
(O INTENSITÀ DELL'ONDA)

$$E_R = \frac{\overbrace{\mathcal{E}}^{\text{ENERGIA TRASPORTATA}}}{\underbrace{A}_{\text{SUPERFICIE INVESTITA}} \cdot \underbrace{\Delta t}_{\text{INTERVALLO DI TEMPO}}}$$

SUPERFICIE INVESTITA (PERPENDICOLARE ALLA DIREZIONE DI PROPAGAZIONE)

UNITÀ DI MISURA = $\frac{W}{m^2}$

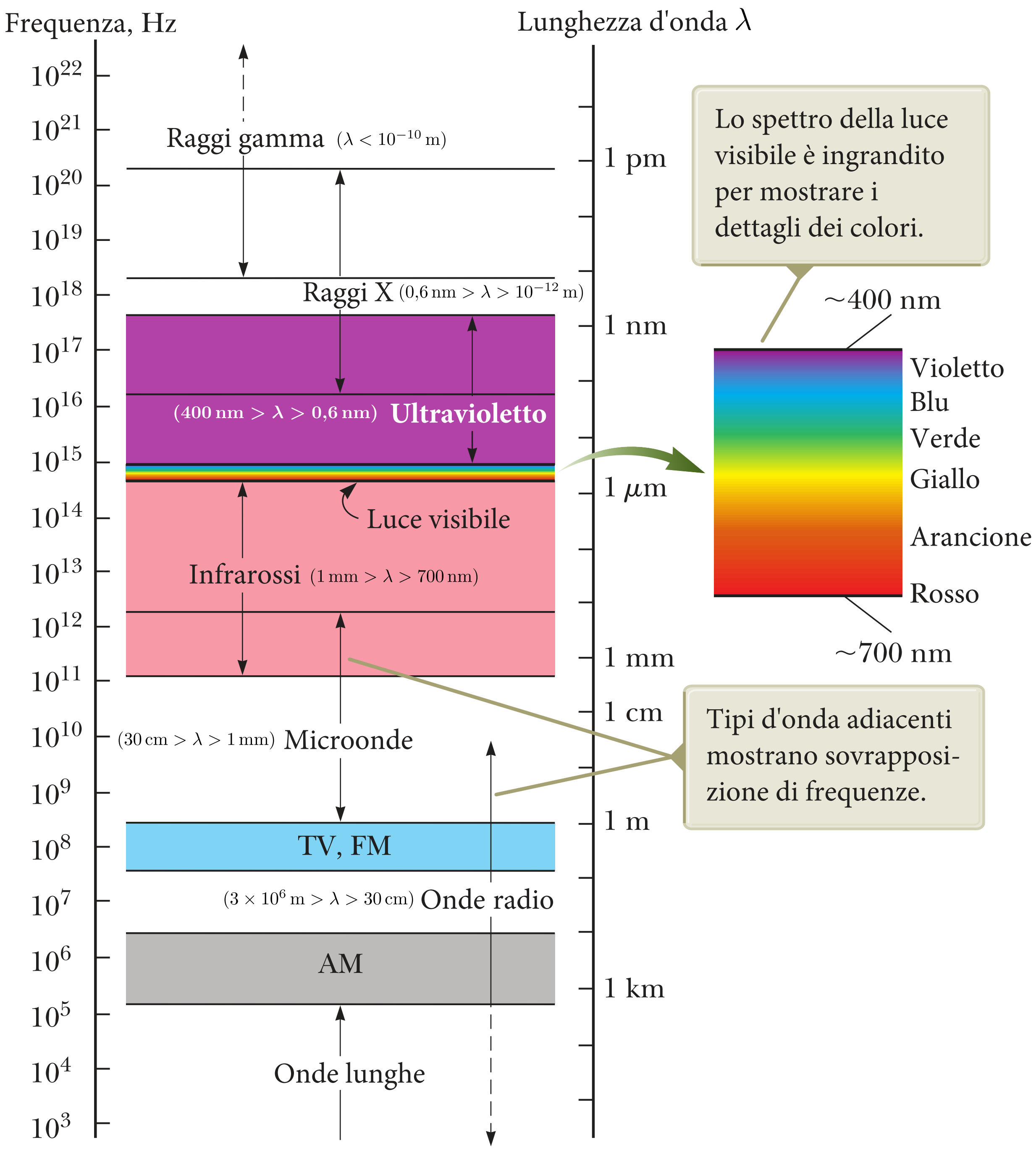



$$\mathcal{E} = \overline{w} A c \Delta t \qquad E_R = \frac{\overline{w} \cancel{A} c \cancel{\Delta t}}{\cancel{A} \cancel{\Delta t}} = c\overline{w}$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{E_R = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 E_0^2}$$

# LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO




Lo spettro è suddiviso convenzionalmente in una successione di bande: ONDE RADIO, MICROONDE, INFRAROSSO, VISIBILE, ULTRAVIOLETTO, RAGGI X, RAGGI $\gamma$.
Le separazioni non sono nette e gli intervalli delle singole bande hanno zone di sovrapposizione.

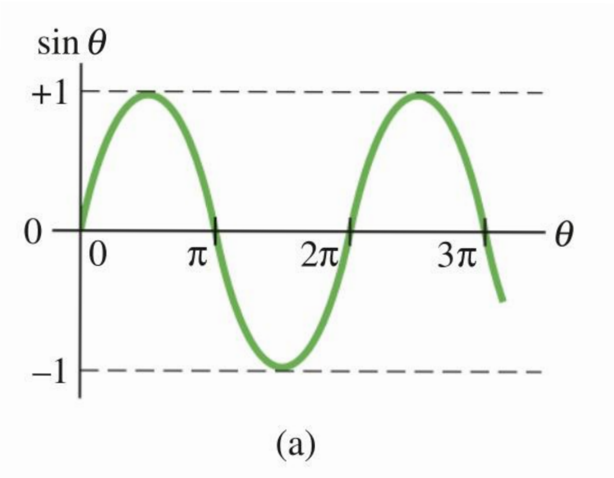
**Spettro elettromagnetico (Caterina Vozzi)**
https://www.youtube.com/watch?v=QCUaNjpJtSg

# PUNTUALIZZAZIONI SU VALORE MEDIO E VALORE EFFICACE

Data una funzione $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ integrabile in $[a,b]$, si dice <u>VALOR MEDIO DI $f$ SU $[a,b]$</u> il numero

$$\frac{1}{b-a}\int_a^b f(x)\,dx$$

che corrisponde al valore di una funzione costante che ha lo stesso integrale di $f$ su $[a,b]$.



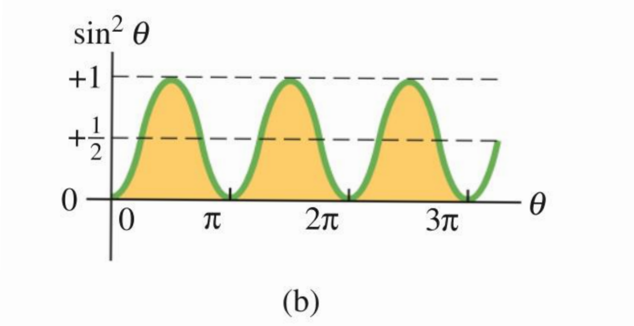




**Figura 35.17** (a) Un grafico di sin $\theta$ in funzione di $\theta$. Il suo valore medio su un periodo è zero. (b) Un grafico di $\sin^2\theta$ in funzione di $\theta$. Il suo valor medio su un periodo è $\frac{1}{2}$.

(Si noti in figura 35.17b come le parti ombreggiate della curva che giacciono sopra la linea orizzontale corrispondente a $\frac{1}{2}$ siano esattamente equivalenti agli spazi bianchi al di sotto della stessa linea.)

Se consideriamo la densità volumica di energia del campo elettrico:

$$w_{\vec{E}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

$E = E(t)$, cioè $E$ varia nel tempo, secondo una funzione sinusoidale

$$E = E_0 \sin[k(x-ct)]$$

dunque $w_{\vec{E}}$ è del tipo COSTANTE $\cdot \sin^2$, per cui il suo valor medio è COSTANTE $\cdot \frac{1}{2}$, cioè proprio $\boxed{\overline{w}_{\vec{E}} = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2}$

Dunque $$w_{\vec{E}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 \quad e \quad \overline{w}_{\vec{E}} = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2$$

Qual è il valore COSTANTE di $E$ per cui $w_{\vec{E}} = \overline{w}_{\vec{E}}$ ?
Tale numero si chiama VALORE EFFICACE di $E$ e corrisponde a

$$E_{eff} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

infatti

$$w_{\vec{E}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0\left(\frac{E_0}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2 = \overline{w}_{\vec{E}}$$

$E_{eff}$ è perciò il valore costante di un campo con la densità volumica di energia uguale a quella media.