

# Formulari di Fisica

Raccolta dei più importanti formulari di  
fisica trovati su internet

# FORMULARIO DI FISICA

## 1 Unità di misura e statistica

Lunghezza  $x$ : metri (m).

Tempo  $t$ : secondi (s).

Massa  $M$ : chilogrammi (kg).

Temperatura  $T$ : gradi Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Corrente elettrica  $I$ : Ampere (A).

Valor medio:  $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^N x_i$ .

Scarto quadratico medio:  $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\langle x \rangle - x_i)^2$ .

## 2 Cinematica

Moto rettilineo uniforme:  $x = x_0 + v_0 t$ ,  $v = v_0$ ,  $a = 0$ .

Moto uniformemente accelerato:  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2$ ,  $v = v_0 + a_0 t$ ,  $a = a_0$ .

Moto circolare uniforme:  $\theta = \theta_0 + \omega_0 t$ ,  $\omega = \omega_0$ ,  $v = R\omega$ ,  $a = \frac{v^2}{R}$ ; periodo  $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$ , con  $f$  frequenza lineare.

Moto armonico:  $x = x_M \sin(\omega t + \theta_0)$ , con  $\theta_0$  fase (angolo) iniziale.

## 3 Dinamica

Legge di Newton:  $\vec{F} = M \vec{a}$ .

Forza peso:  $\vec{F} = M \vec{g}$ .

Forza elastica:  $\vec{F} = -k \vec{x}$ .

Forza di attrito in piano orizzontale:  $F = -\mu M g$ .

Forza di attrito viscoso  $\vec{F} = -c \vec{v}$ ; per sfera:  $c = 6\pi R \eta$ .

Quantità di moto:  $\vec{p} = M \vec{v}$ .

Frequenza di oscillazione di un corpo soggetto a forza elastica:  $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$

## 4 Energetica

Lavoro per forza costante:  $L = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = F \Delta x \cos(\theta)$ .

Energia cinetica:  $T = \frac{1}{2} M v^2$ .

Energia potenziale della forza peso:  $U = M g z$ .

Energia potenziale della forza elastica:  $U = \frac{1}{2} k x^2$ .

Potenza:  $P = \frac{L}{\Delta t}$ .

## 5 Fluidodinamica

Densità di un materiale omogeneo:  $\rho = \frac{M}{V}$ .

Legge di Leonardo:  $v_1 S_1 = v_2 S_2$ .

Pressione:  $P = \frac{F}{S}$ .

Legge di Stevino:  $P_B = P_A + \rho g (z_A - z_B)$ .

Legge di Poiseuille:  $v = \frac{R^2}{8\eta L} \Delta P$ , con  $\eta$  viscosità.

## 6 Termodinamica

Calore assorbito:  $Q = c_s M \Delta T$ , con  $c_s$  calore specifico.

Legge di Fourier:  $Q = K \frac{S}{L} \Delta T \Delta t$ .

Legge dei gas perfetti:  $P V = n R T$ .

Lavoro a pressione costante:  $L = P \Delta V$ .

1mo principio della termodinamica:  $\Delta E = Q - L$ , con  $E$  energia interna.

## 7 Elettrologia

Forza di Coulomb:  $F = k_e \frac{Qq}{r^2} = q E$ , con  $E$  campo elettrico.

Potenziale elettrico:  $V = \frac{U}{q}$ , con  $U$  energia potenziale elettrica.

Corrente elettrica:  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ .

1ma legge di Ohm:  $V = R I$ .

2nda legge di Ohm:  $R = \rho \frac{L}{S}$ .

# Formulario di Fisica Generale I

## Cinematica

Velocità:  $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

Accelerazione:  $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$

### Moto uniformemente accelerato

$$v - v_0 = a \cdot t$$

$$x - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v_x)t$$

$$v_x^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

Corpo in caduta da fermo:

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$t = \sqrt{2h/g}$$

### Moto del Proiettile

$$y = x \cdot \tan \theta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2$$

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

$$x_{max} = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$$

### Moto Circolare

Velocità angolare:  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

Accel. angolare:  $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

### Moto Circolare Uniforme

$$\omega = 2\pi/T$$

$$v_{tangenziale} = \omega r$$

$$a_{centripeta} = v^2/r = \omega^2 r$$

### Moto Circolare Unif. Accel.

$$\omega - \omega_0 = \alpha \cdot t$$

$$\theta - \theta_0 = \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

### Moto curvilineo

$$\vec{a} = a_T \hat{\theta} + a_R \hat{r} = \frac{d|\vec{v}|}{dt} \hat{\theta} - \frac{v^2}{r} \hat{r}$$

## Sistemi a più corpi

Massa totale:  $m_T = \sum m_i = \int dm$

Centro di massa:

$$\vec{r}_{CM} = (\sum m_i \vec{r}_i) / m_T = (\int \vec{r}_i dm) / m_T$$

$$\vec{v}_{CM} = d\vec{r}_{CM} / dt = \sum m_i \vec{v}_i / m_T$$

$$\vec{a}_{CM} = d\vec{v}_{CM} / dt = d^2 \vec{r}_{CM} / dt^2$$

Momento di inerzia:

$$I_{asse} = \sum m_i r_i^2 = \int r^2 dm$$

Teorema assi paralleli:

$$I_{asse} = I_{CM} + mD^2$$

## Forze, Lavoro ed Energia

Legge di Newton:  $\vec{F} = m\vec{a}$

Momento della forza:  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

### Forze Fondamentali

Forza peso:  $F_g = mg$

Forza elastica:  $F_{el} = -k(x - l_0)$

Gravità:  $\vec{F}_g = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{r}$

Elettrostatica:  $\vec{F}_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$

### Forze di Attrito

Statico:  $|\vec{F}_S| \leq \mu_S |\vec{N}|$

Dinamico:  $\vec{F}_D = -\mu_D |\vec{N}| \hat{v}$

Viscoso:  $\vec{F}_V = -\beta \vec{v}$

### Lavoro

$$L = \int_{x_i}^{x_f} \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \tau d\omega$$

Forza costante:  $L = \vec{F} \cdot \vec{l}$

Forza elastica:

$$L = -\frac{1}{2}k(x_f - l_0)^2 + \frac{1}{2}k(x_i - l_0)^2$$

Forza peso:  $L = -mgh$

Gravità:  $L = Gm_1 m_2 \cdot \left( \frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)$

Elettrostatica:  $L = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left( \frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right)$

Potenza:  $P = \frac{dL}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} = \tau\omega$

### Energia

Cinetica:  $K = \frac{1}{2}mv^2$

Rotazione:  $K = \left\{ \frac{1}{2}m_T v_{CM}^2 + \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2 \right. \\ \left. \frac{1}{2}I_{AsseFisso}\omega^2 \right.$

Forze vive:  $K_f - K_i = L_{TOT}$

Potenziale:  $U = -L = -\int_{x_i}^{x_f} \vec{F} \cdot d\vec{l}$

Meccanica:  $E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 + U$

Conservazione:  $E_f - E_i = L_{NON CONS}$

En. potenziale forze fondamentali:

Forza peso:  $U(h) = mgh$

Forza elastica:  $U(x) = \frac{1}{2}k(x - l_0)^2$

Gravità:  $U(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r}$

Elettrostatica:  $U(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r}$

## Impulso e Momento Angolare

Quantità di moto:  $\vec{p} = m\vec{v}$

Impulso:  $\vec{I} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$

Momento angolare:  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

Intorno ad un asse fisso:  $|\vec{L}| = I_{asse} \cdot \omega$

### Equazioni cardinali

$$\vec{p}_T = \sum \vec{p}_i = m_T \cdot \vec{v}_{CM}$$

$$\vec{L}_T = \sum \vec{L}_i = I_{asse} \cdot \vec{\omega}$$

I card:  $\sum \vec{F}_{ext} = d\vec{p}_T / dt = m_T \cdot a_{CM}$

II card:  $\sum \vec{\tau}_{ext} = d\vec{L}_T / dt$

Asse fisso:  $|\sum \vec{\tau}_{ext}| = I_{asse} \cdot \alpha_{asse}$

## Leggi di conservazione

$\vec{p}_T = \text{costante} \Leftrightarrow \sum \vec{F}_{ext} = 0$

$\vec{L}_T = \text{costante} \Leftrightarrow \sum \vec{\tau}_{ext} = 0$

$E = \text{costante} \Leftrightarrow L_{NONCONS} = 0$

## Urti

Per due masse isolate  $\vec{p}_T = \text{costante}$ :

Anelastico:  $v_f = \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}}{m_1 + m_2}$

Elastico (conservazione energia):

$$\begin{cases} m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \\ m_1 (v_{1i}^2 - v_{1f}^2) = m_2 (v_{2f}^2 - v_{2i}^2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} \\ v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i} \end{cases}$$

## Moto Armonico

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi_0)$$

$$v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \phi_0)$$

$$a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi_0) = -\omega^2 x(t)$$

$$A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2}$$

$$\phi_0 = \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right)$$

$$f = \omega/2\pi, T = 2\pi/\omega$$

$$\text{Molla: } \omega = \sqrt{k/m}$$

$$\text{Pendolo: } \omega = \sqrt{g/L}$$

## Momenti di inerzia notevoli

Anello intorno asse:  $I = mr^2$

Cilindro pieno intorno asse:  $I = \frac{1}{2}mr^2$

Sbarretta sottile, asse CM:  $I = \frac{1}{12}mL^2$

Sfera piena, asse CM:  $I = \frac{2}{5}mr^2$

Lastra quadrata, asse  $\perp$ :  $I = \frac{1}{6}mL^2$

## Gravitazione

3<sup>a</sup> legge di Keplero:  $T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_S}\right) R^3$

Vel. di fuga:  $v = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}}$

## Elasticità

Modulo di Young:  $F/A = Y \cdot \Delta L/L$

Compressibilità:  $\Delta p = -B \cdot \Delta V/V$

Modulo a taglio:  $F/A = M_t \cdot \Delta x/h$

## Fluidi

Spinta di Archimede  $B_A = \rho_L V g$

Continuità:  $A \cdot v = \text{costante}$

Bernoulli:  $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{costante}$

## Onde

Velocità  $v$ , pulsazione  $\omega$ , lunghezza d'onda  $\lambda$ , periodo  $T$ , frequenza  $f$ , numero d'onda  $k$ .

$$v = \omega/k = \lambda/T = \lambda f$$

$$\omega = 2\pi/T, \quad k = 2\pi/\lambda$$

## Onde su una corda

Velocità:  $v = \sqrt{T/\mu}$

Spostamento:  $y = y_{max} \sin(kx - \omega t)$

Potenza:  $P = \frac{1}{2}\mu v (\omega y_{max})^2$

## Onde sonore

Velocità:  $v = \sqrt{B/\rho} = \sqrt{\gamma p/\rho}$

$$v(T) = v(T_0) \sqrt{T/T_0}$$

Spostamento:  $s = s_{max} \cos(kx - \omega t)$

Pressione:  $\Delta P = \Delta P_{max} \sin(kx - \omega t)$

$$\Delta P_{max} = \rho v \omega s_{max}$$

Intensità:  $I = \frac{1}{2}\rho v (\omega s_{max})^2 = \frac{\Delta P_{max}^2}{2\rho v}$

Intensità(dB):  $\beta = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$

Soglia udibile  $I_0 = 1.0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

## Effetto Doppler

$$f' = \left( \frac{v + v_O \cos \theta_O}{v - v_S \cos \theta_S} \right) f$$

**Termodinamica****Primo principio**Calore e cap. termica:  $Q = C \cdot \Delta T$ Calore latente di trasf.:  $L_t = Q/m$ Lavoro sul sistema:  $dW = -pdV$ En. interna:  $\Delta U = \begin{cases} Q + W_{\text{sistema}} \\ Q - W_{\text{delsistema}} \end{cases}$ Entropia:  $\Delta S_{AB} = \int_A^B \frac{dQ_{REV}}{T}$ **Calore specifico**Per unità di massa:  $c = C/m$ Per mole:  $c_m = C/n$ Per i solidi:  $c_m \approx 3R$ Gas perfetto:  $c_p - c_v = R$ 

	$c_v$	$c_p$	$\gamma = c_p/c_v$
monoatom.	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3}$
biatomico	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5}$

**Gas perfetti**Eq. stato:  $pV = nRT = Nk_bT$ Energia interna:  $\Delta U = nc_v\Delta T$ Entropia:  $\Delta S = nc_v \ln \frac{T_f}{T_i} + nR \ln \frac{V_f}{V_i}$ Isocora ( $\Delta V = 0$ ): $W = 0$ ;  $Q = nc_v\Delta T$ Isobara ( $\Delta p = 0$ ): $W = -p\Delta V$ ;  $Q = nc_p\Delta T$ Isotherma ( $\Delta T = 0$ ): $W = -Q = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$ Adiabatica ( $Q = 0$ ):  $pV^\gamma = \text{cost.}$  $TV^{\gamma-1} = \text{cost.}$ ;  $p^{1-\gamma}T^\gamma = \text{cost.}$  $W = \Delta U = \frac{1}{\gamma-1}(P_f V_f - P_i V_i)$ **Macchine termiche**Efficienza:  $\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$ C.O.P. frigorifero =  $\frac{Q_C}{W}$ C.O.P. pompa di calore =  $\frac{Q_H}{W}$ Eff. di Carnot:  $\eta_{REV} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ Teorema di Carnot:  $\eta \leq \eta_{REV}$ **Espansione termica dei solidi**Esp. lineare:  $\Delta L/L_i = \alpha\Delta T$ Esp. volumica:  $\Delta V/V_i = \beta\Delta T$ Coefficienti:  $\beta = 3\alpha$  $\beta$  gas perfetto,  $p$  costante:  $\beta = 1/T$ **Conduzione e irraggiamento**

Corrente termica:

 $\mathcal{P} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta T}{R} = \frac{kA}{\Delta x} \Delta T$ Resistenza termica:  $R = \frac{\Delta x}{kA}$ Resistenza serie:  $R_{eq} = R_1 + R_2$ Resistenza parallelo:  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ Legge Stefan-Boltzmann:  $\mathcal{P} = e\sigma AT^4$ L. onda emissione:  $\lambda_{max} = \frac{2.898 \text{ mmK}}{T}$ **Gas reali**

Eq. Van Der Waals:

 $(p + a(\frac{n}{V})^2)(V - nb) = nRT$ **Calcolo vettoriale**

Prodotto scalare:

 $\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \cos \theta$  $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$  $|\vec{A}| = \sqrt{\vec{A} \cdot \vec{A}} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ versore:  $\hat{A} = \vec{A}/|\vec{A}|$ 

Prodotto vettoriale:

 $\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$  $\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y)\hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z)\hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x)\hat{k}$ **Costanti fisiche****Costanti fondamentali**Grav.:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{kg})$ Vel. luce nel vuoto:  $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ Carica elementare:  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ Massa elettrone:  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ Massa protone:  $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ Cost. dielettrica:  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ Perm. magnetica:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ Cost. Boltzmann:  $k_b = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ N. Avogadro:  $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ C. dei gas:  $R = \begin{cases} 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \\ 0.082 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \end{cases}$ 

C. Stefan-Boltzmann:

 $\sigma = 5.6 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ **Altre costanti**Accel gravità sulla terra:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ Raggio terra:  $R_T = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ Massa terra:  $M_T = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ Massa sole:  $M_S = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ Massa luna:  $M_L = 7.36 \times 10^{22} \text{ kg}$ Vol. 1 mole di gas STP:  $V_{STP} = 22.4 \text{ L}$ Temp 0 assoluto  $\theta_0 = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$ **Trigonometria** $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$ ,  $\tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$  $\sin(-\alpha) = -\sin(\alpha)$ ,  $\cos(-\alpha) = \cos(\alpha)$  $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin(\alpha)\cos(\beta) \pm \cos(\alpha)\sin(\beta)$  $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) \mp \sin(\alpha)\sin(\beta)$  $\sin(\alpha) = \pm \cos(\pi/2 \mp \alpha) = \pm \sin(\pi \mp \alpha)$  $\cos(\alpha) = \sin(\pi/2 \pm \alpha) = -\cos(\pi \pm \alpha)$  $\sin^2(\alpha) = \frac{1-\cos(2\alpha)}{2}$ ,  $\cos^2(\alpha) = \frac{1+\cos(2\alpha)}{2}$  $\sin(\alpha) + \sin(\beta) = 2 \cos \frac{\alpha-\beta}{2} \sin \frac{\alpha+\beta}{2}$  $\cos(\alpha) + \cos(\beta) = 2 \cos \frac{\alpha+\beta}{2} \cos \frac{\alpha-\beta}{2}$ **Derivate** $\frac{d}{dx} f(x) = f'(x)$  $\frac{d}{dx} (a \cdot x) = a f'(a \cdot x)$  $\frac{d}{dx} f(g(x)) = f'(g(x)) \cdot g'(x)$  $\frac{d}{dx} x^n = nx^{n-1}$  $\frac{d}{dx} \frac{1}{x^n} = -n \frac{1}{x^{n+1}}$  $\frac{d}{dx} e^x = e^x$  $\frac{d}{dx} \ln x = \frac{1}{x}$  $\frac{d}{dx} \sin(x) = \cos(x)$  $\frac{d}{dx} \cos(x) = -\sin(x)$ **Integrali** $\int f(x)dx = I(x)$  $\int f(x-a)dx = I(x-a)$  $\int f(a \cdot x)dx = \frac{I(a \cdot x)}{a}$  $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$ ,  $n \neq -1$  $\int \frac{1}{x^n} = -\frac{1}{(n-1)} \cdot \frac{1}{x^{n-1}}$ ,  $n \neq 1$  $\int \frac{1}{x} dx = \ln x$  $\int e^x dx = e^x$  $\int \sin(x)dx = \cos(x)$  $\int \cos(x)dx = \sin(x)$  $\int_{x_0}^{x_1} f(x)dx = I(x_1) - I(x_0)$ **Approssimazioni** ( $x_0 = 0$ ) $\sin x = x + O(x^2)$  $(1+x)^\alpha = 1 + \alpha x + O(x^2)$  $\ln(1+x) = x + O(x^2)$

## FISICA GENERALE II FORMULARIO di ELETTROMAGNETISMO

### 1) Elettrostatica

$\epsilon = \epsilon_o \epsilon_r$  = costante dielettrica assoluta ;  $\epsilon_r$  = costante dielettrica relativa  
Nel vuoto ( e nella maggior parte dei gas, condizioni STP)  $\epsilon_r \simeq 1$

**Legge di Coulomb nel vuoto :**  $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$

**Campo elettrostatico :**  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$  o  $\vec{E} = \frac{d\vec{F}}{dq}$

**Potenziale :** forma integrale :  $V(P_1) - V(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{l}$   
forma differenziale :  $\vec{E} = -\overrightarrow{grad} V = -\vec{\nabla} V$

#### Conservativit  del campo elettrostatico

Forma integrale :  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$   
Forma differenziale :  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$

#### Campo elettrostatico e potenziale generati da :

-carica isolata puntiforme :  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r^2} \hat{r}$      $V = \frac{1}{4\pi\epsilon r}$

-distribuzione discreta di carica :  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$      $V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum \frac{q_i}{r_i}$

-distribuzione continua di carica :  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{\Omega} \frac{\rho d\tau}{r^2} \hat{r}$      $V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{\Omega} \frac{\rho d\tau}{r}$

#### Dipolo elettrico

Potenziale :  $V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3} = -\frac{1}{4\pi\epsilon} \vec{p} \cdot \vec{\nabla} \left( \frac{1}{r} \right)$

Campo :  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left[ \frac{3(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^5} \vec{r} - \frac{\vec{p}}{r^3} \right]$

Energia del dipolo in un campo esterno :  $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

Forza agente su un dipolo costante:  $\vec{F} = -\vec{\nabla} U = \vec{\nabla} (\vec{p} \cdot \vec{E})$

Momento meccanico agente :  $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

#### Multipoli

Il potenziale generato da una distribuzione di carica, a grande distanza dalle cariche, pu  venir espresso tramite uno sviluppo in serie i cui primi termini sono :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3} + \dots$$

( $Q$  carica totale e  $\vec{p}$  momento di dipolo della distribuzione)

distribuzione discreta :  $\vec{p} = (\sum_i q_i x_i, \sum_i q_i y_i, \sum_i q_i z_i)$

distribuzione continua :  $\vec{p} = (\int \rho x d\tau, \int \rho y d\tau, \int \rho z d\tau)$

### Legge di Gauss

Forma integrale :  $\int_{\Sigma} \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$  ( $\Sigma$  superficie chiusa)

Forma differenziale :  $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

### Conduttori

- $\vec{E}_{int} = 0$
- conduttore è sempre equipotenziale
- campo in vicinanza di un conduttore (Teorema di Coulomb):  $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$
- forza per unità di superficie su un conduttore :  $\frac{dF}{dS} = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$

### Equazione del potenziale elettrostatico

Equazione di Poisson :  $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$

Equazione di Laplace :  $\nabla^2 V = 0$  (dove  $\rho = 0$ )

### Condensatori

Definizione di capacità :  $C = \frac{Q}{\Delta V}$

Capacità cond. piano :  $C = \epsilon \frac{S}{d}$

Capacità cond. cilindrico :  $C = 2\pi\epsilon \frac{L}{\log(r_{est}/r_{int})}$

Capacità cond. sferico :  $C = 4\pi\epsilon \frac{r_{int} r_{est}}{r_{est} - r_{int}}$

Condensatori in parallelo :  $C = C_1 + C_2 + \dots + C_N$

Condensatori in serie :  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$

Energia del condensatore :  $U = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C \Delta V^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

Forza tra armature :  $F = \frac{Q^2}{2\epsilon S}$

(cond. piano)

### Dielettrici

Vettore polarizzazione :  $\vec{P} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta\tau}$

(momento dip. per unità volume)

mezzo isotropo e lineare :  $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$

Suscettività dielettrica :  $\chi_e = N[\alpha_{def} + \alpha_{orien}] \simeq N[4\pi R_{at}^3 + \frac{1}{3\epsilon_0} \frac{p_o^2}{kT}]$

( $N$  = no. molecole per unità di volume)

Costante dielettrica relativa:  $\epsilon_r = \chi + 1$

Vettore spostamento elettrico :  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$

Cariche di polarizzazione :  $\sigma_{pol} = \vec{P} \cdot \hat{n}$

:  $\rho_{pol} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$

**Equazioni dell'elettrostatica in presenza di dielettrici**

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{E} &= 0 & ; & & \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} &= 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho & ; & & \int_{\Sigma} \vec{D} \cdot \hat{n} dS &= Q_{lib} \end{aligned}$$

**Condizioni di continuità all'interfaccia fra due mezzi**

$$E_{t1} = E_{t2} \quad ; \quad D_{n1} = D_{n2}$$

**Dielettrici densi**

$$\text{Campo di Lorentz : } \vec{E}_m = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0}$$

$$\text{Formula Clausius-Mossotti : } \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} = \frac{N\alpha}{3\epsilon_0}$$

**Energia elettrostatica**

$$\text{Energia distribuzione discreta : } U = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_{i,j,i \neq j} \frac{q_i q_j}{r_{ij}} = \frac{1}{2} \sum_i q_i V_i$$

( $V_i$  potenziale di tutte le cariche  $\neq i$ )

$$\text{Energia distribuzione continua : } U = \frac{1}{2} \int \rho V \, d\tau$$

$$\text{Energia sistema conduttori : } U = \frac{1}{2} \sum_i Q_i V_i$$

( $V_i$  potenziale conduttore  $i$  con carica  $Q_i$ )

$$\text{Densità energia del campo : } u = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2$$

Densità energia interazione di un dielettrico in un campo esterno:

$$u = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2$$

**2) Correnti stazionarie**

$$\text{Densità di corrente : } \vec{j} = nq \vec{v} = \rho \vec{v}$$

$$\text{Equazione di continuità : } \vec{\nabla} \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho = \text{densità di carica})$$

$$\text{Intensità di corrente : } i = \frac{dq}{dt} = \int_{\Sigma} \vec{j} \cdot \hat{n} \, dS$$

$$\text{Legge di Ohm (forma locale) : } \vec{j} = \sigma \vec{E} (\sigma = \text{conducibilità})$$

per elemento finito :  $V = R i$

$$\text{Resistenza conduttore di sezione costante : } R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} = \rho_s \frac{l}{S}$$

$$\text{N resistenze in serie : } R = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

$$\text{N resistenze in parallelo : } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

$$\text{Legge di Kirchhoff - legge dei nodi : } \sum_k i_k = 0$$

$$\text{legge delle maglie : } \sum_k i_k R_k = \sum_k V_k$$

Effetto Joule (potenza  $P = dW/dt$ ,  $W = \text{energia}$ ):

$$\text{in forma locale : } dP = \vec{j} \cdot \vec{E} \, d\tau$$

$$\text{conduttore finito : } P = V i = i^2 R$$

### 3) Magnetismo

#### Magnetostatica nel vuoto

Campo generato da una carica in moto :  $\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} q \frac{\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$

Campo generato da una corrente :  $\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} i \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

-filo rettilineo indefinito :  $\vec{B} = \frac{\mu_o i}{2\pi r} \hat{\tau}$

-spira circolare ( sull'asse ! ) :  $\vec{B} = \frac{\mu_o i}{2} \frac{R^2}{\sqrt{(R^2 + z^2)^3}} \hat{k}$

-interno solenoide indefinito :  $B = \mu_o i n$  [ $n = \frac{N_{spire}}{L}$ ]

Forza agente su una corrente :  $\vec{F} = \int i d\vec{l} \times \vec{B}$

Forza su carica in moto (Forza Lorentz) :  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$

Equazioni della magnetostatica nel vuoto:

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 & ; & & \int_{\Sigma_{chiusa}} \vec{B} \cdot \hat{n} dS &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_o \vec{j} & ; & & \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} &= \mu_o \sum i_{conc} \end{aligned}$$

#### Dipolo magnetico

Momento dipolo distrib. correnti:  $\vec{m} = \frac{1}{2} \int \vec{r} \times \vec{j} d\tau$

Per una spira piana:  $\vec{m} = i S \hat{n}$

Potenziale Vettore :  $\vec{A} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{\vec{m} \times \vec{r}}{r^3}$

Campo :  $\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \left[ \frac{3(\vec{m} \cdot \vec{r})}{r^5} \vec{r} - \frac{\vec{m}}{r^3} \right]$

Energia dipolo in campo esterno :  $U = -\vec{m} \cdot \vec{B}$

Momento agente su dipolo in campo esterno :  $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$

Momento magnetico e momento angolare di una

carica q, massa m, in moto circolare uniforme:  $\vec{m} = \frac{q}{2m} \vec{L}$

Precessione (di Larmor) in campo esterno:

$$\omega_L = \frac{qB}{m}$$

#### Potenziale vettore

Definizione :  $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$

Equazione del potenziale :  $\nabla^2 \vec{A} = -\mu_o \vec{j}$

Potenziale generato da un dipolo :  $\vec{A} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{\vec{m} \times \vec{r}}{r^3}$

#### Proprietá magnetiche della materia

Vettore magnetizzazione :  $\vec{M} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta\tau}$   
(momento dipolo per unitá di volume)

mezzo isotropo e lineare :  $\vec{M} = \frac{1}{\mu_o} \frac{\chi}{1 + \chi} \vec{B} = \chi \vec{H}$

Suscettività magnetica:  $\chi_m = \chi_{dia} + \chi_{par} \simeq -\mu_o \frac{NZe^2 \langle r^2 \rangle}{6m_e} + \mu_o \frac{N m_o^2}{3 kT}$

Vettore campo magnetico  $\vec{H}$  :  $\vec{H} = \frac{1}{\chi} \vec{M}$

Relazione fra  $\vec{B}$  e  $\vec{H}$  :  $\vec{B} = \mu_o \vec{H} + \mu_o \vec{M} = \mu_o \mu_r \vec{H}$   
 $:\mu_r = \chi + 1$

Correnti di magnetizzazione :  $j_{sup} = \vec{M} \times \hat{n}$   
 $:\ j_{vol} = \vec{\nabla} \times \vec{M}$

### Equazioni della magnetostatica nei mezzi materiali

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}_{libere} \quad ; \quad \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum i_{conc}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad ; \quad \int_{\Sigma_{chiusa}} \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$$

### Condizioni di continuità all'interfaccia fra due mezzi

$$H_{t1} = H_{t2} \quad ; \quad B_{n1} = B_{n2}$$

### Circuiti magnetici

Legge di Hopkinson :  $F = R\Phi$

$$F = Ni \text{ (forza magnetomotrice)}$$

$$R = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S} \text{ (Riluttanza)}$$

Riluttanze in serie :  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_N$

Riluttanze in parallelo :  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$

## 4) Campi variabili

### Campi quasi-statici

Legge di Faraday-Neumann

$$\text{Forma integrale : } \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_{\Sigma} \vec{B} \cdot \hat{n} dS$$

$$\text{Forma locale : } \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Coefficiente di mutua induzione fra due circuiti :

$$\Phi_2 = M_{12} i_1 \quad ; \quad \Phi_1 = M_{21} i_2 \quad ; \quad M_{12} = M_{21}$$

Coefficiente di autoinduzione :  $\Phi = Li$

$$\text{Induttanza solenoide : } L = \mu_o n^2 l S$$

### Energia magnetica

$$\text{Energia sistema circuiti : } U = \frac{1}{2} \sum_k \Phi_k i_k$$

$$\text{Densità energia del campo : } u = \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} = \frac{1}{2} \mu_o \mu_r H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_o \mu_r}$$

$$\text{Energia induttore : } U = \frac{1}{2} L i^2$$

## 5) Circuiti elettrici

Grandezze variabili sinusoidalmente e fasori :

$$i = i_o \cos(\omega t + \phi) \equiv \Re[i_o \exp(i\phi) \exp(i\omega t)] = \Re[I]$$

$$I = \tilde{I}_o e^{i\omega t} ; \tilde{I}_o = i_o e^{i\phi}$$

Circuito RC :  $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = V$

Carica C :  $q = CV(1 - \exp(-t/\tau)) ; \tau = RC$

Scarica C :  $q = q_o \exp(-t/\tau)$

Circuito RL :  $L \frac{di}{dt} + R i = V$

Extracorrente chiusura :  $i = \frac{V}{R}(1 - \exp(-t/\tau)) ; \tau = L/R$

Extracorrente apertura :  $i = \frac{V}{R} \exp(-t/\tau)$

Circuito RLC serie :  $L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = V$

Frequenza di risonanza :  $\omega_r = 2\pi\nu_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Impedenze complesse :

resistenza :  $Z = R$

capacità :  $Z = \frac{1}{i\omega C}$

induttanza :  $Z = i\omega L$

## 6) Onde elettromagnetiche

### Equazioni di Maxwell

Forma differenziale

Forma integrale

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\int_{\Sigma} \vec{D} \cdot \hat{n} dS = Q_{int}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\int_{\Sigma} \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Sigma} \vec{B} \cdot \hat{n} dS$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_{\Sigma} \vec{j} \cdot \hat{n} dS + \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Sigma} \vec{D} \cdot \hat{n} dS$$

Densità corrente di spostamento :  $\vec{j} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Legge di Ohm(per conduttori) :  $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

### Caratteristiche generali propagazione per onde

Equazione delle onde (3D) :  $\nabla^2 \phi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$

Equazione delle onde (1D) :  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$

parametri dell'onda sinusoidale :

$$\text{numero d'onda : } k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$$

$$\text{vettore d'onda : } \vec{k} = k \overrightarrow{(\text{versore propag.})}$$

$$\text{lunghezza d'onda : } \lambda = \frac{v}{\nu}$$

$$\text{pulsazione : } \omega = 2\pi\nu$$

onda piana sinusoidale progressiva(1D) :

$$\phi = \phi_0 \sin(kz - \omega t) \equiv \phi_0 e^{i(kz - \omega t)}$$

onda sferica sinusoidale progressiva(1D) :

$$\phi = \frac{\phi_0}{r} \sin(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) = \phi_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

### Caratteristiche delle onde elettromagnetiche

$$\text{Velocità di propagazione(fase) : } v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad ; \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$\text{Trasversalità onde e.m. : } \vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

Onda piana (polarizzata || asse-x) :

$$E = E_x = E_o \sin(kz - \omega t)$$

$$B = B_y = B_o \sin(kz - \omega t)$$

$$E_o = vB_o = Z_o H_o \quad ; \quad Z_o = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \simeq 377\Omega$$

$$\text{Velocità di gruppo : } v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c}{n(\omega) + \omega \frac{dn}{d\omega}}$$

Effetto Doppler ( $c$ =velocità onda e.m.):

$$\nu' = \nu \frac{1 - (v_{oss}/c) \cos \theta}{\sqrt{1 - v_{sor}^2/c^2}}$$

Effetto Doppler nel moto collineare(non relativistico,  $v$ =velocità onda):

$$\nu' = \frac{v - v_{oss}}{v - v_{sor}} \nu$$

### Energia e impulso dell'onda

$$\text{Densità di energia : } u = \frac{1}{2}\epsilon E^2 + \frac{1}{2}\mu H^2 = \epsilon E^2 = \frac{B^2}{\mu}$$

(energia per unità di volume)

$$\text{Vettore di Poynting : } \vec{\mathcal{P}} = \vec{E} \times \vec{H}$$

$$\text{Intensità (istantanea)dell'onda : } \mathcal{I} = \left| \vec{\mathcal{P}} \right| = v\epsilon E^2 = v u$$

(potenza per unità di superficie)

$$\text{Intensità (media) dell'onda(sinusoidale) : } \langle \mathcal{I} \rangle = v\epsilon \frac{E^2}{2}$$

$$\text{Quantità di moto dell'onda : } \vec{p} = u_{on} \hat{k} = \frac{\vec{\mathcal{P}}}{v}$$

(per unità di superficie e unità di tempo)

## Dipolo elettrico oscillante

$$p(t) = p_o \sin \omega t$$

Campo a grandi distanze (vuoto) :

$$E_\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{p_o}{r} \sin \theta \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \sin(kr - \omega t) \quad ; \quad B_\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{p_o}{cr} \sin \theta \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \sin(kr - \omega t)$$

$$\text{Intensit\`a (media) irradiata dal dipolo : } \langle \mathcal{I} \rangle = \frac{p_o^2 \omega^4}{32\pi^2 \epsilon_o c^3 r^2} \sin^2 \theta$$

(energia per unit\`a superficie e unit\`a di tempo)

$$\text{Potenza (media) totale irradiata dal dipolo : } P = \langle \frac{dE}{dt} \rangle = \frac{p_o^2 \omega^4}{12\pi \epsilon_o c^3}$$

## Carica accelerata

Potenza (media) totale irradiata (carica  $q$  oscillante sinusoid.  $z = z_o \sin \omega t$ )

$$P = \langle \frac{dE}{dt} \rangle = \frac{q^2 z_o^2 \omega^4}{12\pi \epsilon_o c^3}$$

Intensit\`a irradiata da carica accelerata nella direzione  $\theta$  (rispetto all'accelerazione):

$$I(\theta) = \frac{dP}{d\theta} = \frac{q^2 a^2}{16\pi^2 \epsilon_o c^3} \sin^2 \theta$$

$$\text{Potenza istantanea irradiata da una carica accelerata : } P = \frac{dE}{dt} = \frac{q^2 a^2}{6\pi \epsilon_o c^3}$$

## 7) Ottica

### Ottica geometrica

Indice di rifrazione :  $n = \sqrt{\epsilon_r}$  ;  $\epsilon_r = \epsilon_r(\omega)$  cost. dielettrica

velocit\`a della luce in un mezzo :  $v = \frac{c}{n}$

cammino ottico :  $d = \sum_i n_i l_i$

Leggi di Snell :  $\theta_{inc} = \theta_{rifl}$  ;  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$

angolo limite :  $\sin \theta_{lim} = \frac{n_2}{n_1}$  ; se  $n_2 < n_1$

angolo di Brewster :  $\tan \theta_{Bre} = \frac{n_2}{n_1}$

Formule di Fresnel ( $\mu_1 = \mu_2 \simeq \mu_o$ ):

$$\left(\frac{E_{rifl}}{E_{inc}}\right)_{\parallel} = \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\left(\frac{E_{rifl}}{E_{inc}}\right)_{\perp} = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} = -\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\left(\frac{E_{tra}}{E_{inc}}\right)_{\parallel} = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} = \frac{2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)}$$

$$\left(\frac{E_{tra}}{E_{inc}}\right)_{\perp} = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} = \frac{2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\text{trasmissivit\`a : } t = \left(\frac{E_{tra}}{E_{inc}}\right)^2$$

$$\text{riflettivit\`a : } r = \left(\frac{E_{rifl}}{E_{inc}}\right)^2$$

Caso di incidenza normale di onda non polarizzata:

$$t = \left( \frac{2\sqrt{n_1 n_2}}{n_1 + n_2} \right)^2$$

$$r = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

Formula lenti sottili:  $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$  ;  $\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$

## Interferenza

Interferenza fra onde piane, sinusoidali, lin. polarizzate:

$$E_1 = A_1 \sin[(kz - \omega t) + \phi_1]$$

$$E_2 = A_2 \sin[(kz - \omega t) + \phi_2]$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_1 - \phi_2)$$

Due sorgenti coerenti (alla Young) :  $I = I_o \cos^2 \beta$

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta \quad (d = \text{distanza fra sorgenti})$$

N sorgenti coerenti :  $I = I_o \left[ \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)} \right]$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \quad (b = \text{larghezza fenditura})$$

## Diffrazione

Diffrazione (di Fraunhofer) da fenditura rettangolare :

$$I = I_o \left( \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \right)$$

$$\alpha = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \quad (b = \text{larghezza fenditura})$$

condizione per i minimi ;  $\sin \theta = n \frac{\lambda}{b} \quad [n \neq 0]$

Diffrazione (di Fraunhofer) da foro circolare :

$$I = I_o \left[ \frac{2J_1(2\pi R \sin \theta / \lambda)}{2\pi R \sin \theta / \lambda} \right]^2$$

condizione per il 1° minimo ;  $\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{2R}$

Diffrazione (di Fraunhofer) da reticolo di N fenditure :

$$I = I_o \left( \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \right) \left( \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} \right)$$

$$\alpha = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \quad (b = \text{larghezza fenditura})$$

$$\beta = \frac{\pi p}{\lambda} \sin \theta \quad (p = \text{distanza fra fenditure})$$

massimi di intensità ;  $p \sin \theta = n\lambda \quad [p = \text{passo}]$

Potere dispersivo del reticolo ;  $\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{p \cos \theta}$

Potere risolutivo del reticolo ;  $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN$

## 8) Operatori vettoriali e trasformazioni di coordinate

### Coordinate cartesiane

Elemento di volume :  $d\tau = dx dy dz$

$$\text{grad } f \equiv \vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{i}_x + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{i}_y + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{i}_z$$

$$\text{div } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}$$

$$\text{rot } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{v} = \left[ \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial y} \right] \hat{i}_x + \left[ \frac{\partial v_z}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial z} \right] \hat{i}_y + \left[ \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x} \right] \hat{i}_z$$

$$\text{Laplaciano} : \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

### Coordinate cilindriche

Trasformazione da  $(x, y, z) \Leftrightarrow (\rho, \theta, z)$  :

$$x = \rho \cos \theta ; y = \rho \sin \theta$$

Elemento di volume :  $d\tau = \rho d\rho d\theta dz$

$$\text{grad } f \equiv \vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial \rho} \hat{i}_\rho + \frac{1}{\rho} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{i}_\theta + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{i}_z$$

$$\text{div } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho v_\rho) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \theta} v_\theta + \frac{\partial}{\partial z} v_z$$

$$\text{rot } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{v} = \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} - \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right] \hat{i}_\rho + \left[ \frac{\partial v_\rho}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial \rho} \right] \hat{i}_\theta + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial (\rho v_\theta)}{\partial \rho} - \frac{\partial v_\rho}{\partial \theta} \right] \hat{i}_z$$

$$\text{Laplaciano} : \nabla^2 = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

### Coordinate sferiche

Trasformazione da  $(x, y, z) \Leftrightarrow (\rho, \theta, \phi)$  :

$$x = \rho \sin \theta \cos \phi ; y = \rho \sin \theta \sin \phi ; z = \rho \cos \theta$$

Elemento di volume :  $d\tau = \rho^2 \sin \theta d\rho d\theta d\phi$

$$\text{grad } f \equiv \vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial \rho} \hat{i}_\rho + \frac{1}{\rho} \frac{\partial f}{\partial \theta} \hat{i}_\theta + \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial f}{\partial \phi} \hat{i}_\phi$$

$$\text{div } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho^2 v_\rho) + \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (v_\theta \sin \theta) + \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial v_\phi}{\partial \phi}$$

$$\text{rot } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{v} = \frac{1}{\rho \sin \theta} \left[ \frac{\partial (v_\phi \sin \theta)}{\partial \theta} - \frac{\partial v_\theta}{\partial \phi} \right] \hat{i}_\rho + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial v_\rho}{\partial \phi} - \frac{\partial (\rho v_\phi)}{\partial \rho} \right] \hat{i}_\theta + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial (\rho v_\theta)}{\partial \rho} - \frac{\partial v_\rho}{\partial \theta} \right] \hat{i}_\phi$$

$$\text{Laplaciano} : \nabla^2 = \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho^2 \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2 \sin \theta} \left[ \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) \right] + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}$$

### Relazioni vettoriali utili

$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = \vec{b} (\vec{a} \cdot \vec{c}) - \vec{c} (\vec{a} \cdot \vec{b})$$

$$\text{rot grad } f \equiv \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} f = 0$$

$$\text{div rot } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{v} = 0$$

$$\text{rot rot } \vec{v} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{v} = \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{v}) - \nabla^2 \vec{v}$$

$$\text{rot}(f \vec{v}) \equiv \vec{\nabla} \times (f \vec{v}) = f (\vec{\nabla} \times \vec{v}) - \vec{\nabla} f \times \vec{v}$$

$$\text{div}(f \vec{v}) \equiv \vec{\nabla} \cdot (f \vec{v}) = f (\vec{\nabla} \cdot \vec{v}) + \vec{\nabla} f \cdot \vec{v}$$

## 9) Costanti di uso frequente

Costante dielettrica del vuoto :  $\epsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

Permeabilit  magnetica del vuoto :  $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

Carica dell'elettrone :  $e = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Massa dell'elettrone :  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Rapporto e/m dell'elettrone :  $e/m = 1.76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$

Massa del protone :  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Velocit  delle onde e.m. nel vuoto :  $c = 3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Impedenza del vuoto :  $Z_o = 376.7 \text{ } \Omega$

Costante di Planck :  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Magnetone di Bohr :  $\mu_B = 9.42 \cdot 10^{-24} \text{ A m}^2$

Costante gravitazionale :  $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

Numero di Avogadro :  $N_A = 6.02252 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Costante di Boltzmann :  $k = 1.38054 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

Costante dei gas :  $R = 8.314 \text{ J/(mol K)}$

$$= 1.986 \text{ cal/(mol K)}$$

Volume di una mole(STP gas ideale) :  $k = 22.414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$

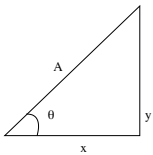
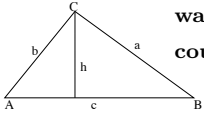
Unit  astronomica :  $AU = 1.49598 \cdot 10^{11} \text{ m}$

Raggio(equatoriale)della terra :  $R_{\oplus} = 6.378 \cdot 10^6 \text{ m}$

Massa della terra :  $M_{\oplus} = 5.973 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Massa del sole :  $M_{\odot} = 1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Nome Grandezza, Simbolo, Unità equivalenti<sup>1</sup>  
**radiante al secondo** Velocità angolare, rad/s  
**radiante al secondo<sup>2</sup>** Accelerazione angolare, rad/s<sup>2</sup>  
**newton** Forza, N, Kg·m/s<sup>2</sup>  
**pascal** Pressione, Pa, N/m<sup>2</sup>  
**joule** Energia, lavoro, calore, J, N·m  
**watt** Potenza, flusso radiante, W, J/s  
**coulomb** Quantità di elettricità, carica elettrica, potenziale elettrico, differenza di potenziale, C, A·s  
**volt** Forza elettromotrice, V, N·m/C  
**volt al metro** Campo elettrico, V/m, N/C  
**farad** Capacità elettrica, F, A·s/V  
**ohm** Resistenza elettrica, Ω, V/A  
**weber** Flusso magnetico, Wb, V·s  
**tesla** Induzione magnetica, T, Wb/m<sup>2</sup>, N/A·m  
**henry** Induttanza, H, V·s/A  
**joule al kelvin** Entropia, J/K  
**joule al Kg per kelvin** Calore specifico, J/Kg·K  
**watt al metro per kelvin** Conducibilità termica, W/m·K  
**watt allo steradiano** Intensità radiante, W/sr



$\alpha$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\tan \alpha$
0°	0	0	1	0
30°	$\pi/6$	1/2	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/3$
45°	$\pi/4$	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1
60°	$\pi/3$	$\sqrt{3}/2$	1/2	$\sqrt{3}$
90°	$\pi/2$	1	0	$\infty$

- $y = A \sin \Theta$ ,  $x = A \cos \Theta$ ,  $A = \sqrt{x^2 + y^2}$
- $\Theta = \tan^{-1}(x/y)$ ,  $\sin \Theta = y/A$ ,  $\cos \Theta = x/A$ ,  $\tan \Theta = y/x$
- $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$
- Area =  $\frac{1}{2}hc = \frac{1}{2}ab \sin C = \frac{c^2 \sin A \sin B}{2 \sin C}$

**Prodotto scalare**  $\vec{A} \cdot \vec{B} = |A||B| \cos \alpha = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$ ;  $A \perp B$  nullo,  $A \parallel B$  max

**Prodotto vettoriale**  $\vec{A} \times \vec{B} = |A||B| \sin \alpha = \vec{i}(A_y B_z - A_z B_y) + \vec{j}(A_z B_x - A_x B_z) + \vec{k}(A_x B_y - A_y B_x)$ ;  $A \perp B$  max,  $A \parallel B$  nullo

**Conversione** da m/s a km/h si moltiplica per 3,6; da km/h a m/s si divide per 3,6

**Conversione rad  $\leftrightarrow$  gradi**

$$180^\circ / \pi = x^\circ / y \text{ rad}$$

<sup>1</sup> Questo formulario non ha la pretesa di essere completo. Può contenere errori e imprecisioni, se ne trovate scrivetemi: Vincenzo Corcione vincenzo.c79@inwind.it

- $\bar{v} = \Delta x / \Delta t \equiv$  pendenza della retta
- $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta x / \Delta t \equiv$  pendenza della tg  $\equiv$  derivata di  $x = x(t)$  rispetto a t
- $\bar{a} = \Delta v / \Delta t \equiv$  der. della vel. rispetto a t

**Moto uniformemente accelerato :**

- $v = v_0 + at$
- $x = x_0 + v_0 t + (1/2)at^2$
- $\bar{v} = (v_0 + v)/2$
- $a = (v - v_0)/t$

**Caduta libera :**

- $v_y = gt$
- $h = (1/2)gt^2$

**Lancio verso l'alto :**

- $h = v_{0y}t - (1/2)gt^2$
- $h_{\max} = (v_0^2)/(2g)$

**Lancio dall'alto :**

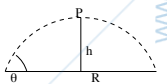
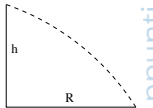
- $t = \sqrt{(2h)/g}$
- $h = (1/2)gt^2$
- $R = v_0 \sqrt{(2h)/g}$
- $v_0 = R \sqrt{g/(2h)}$
- $v_y = \sqrt{2gh}$
- $a_x = 0$
- $a_y = -g$

**Formule utili :**

- $x - x_0 = ((v + v_0)/2)t$  spostamento in funzione del tempo
- $x - x_0 = vt - (1/2)at^2$  spostamento eliminando  $v_0$
- $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$
- $x - x_0 = (v^2 - v_0^2)/(2a)$  spostamento in funzione di  $v_0, v, a$

**Lancio 2d :**

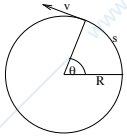
- $x(t) = v_{0x}t$
- $y(t) = v_{0y}t - (1/2)gt^2$
- $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
- $v_x = v \cos \Theta$
- $v_y = v \sin \Theta$
- $\Theta = \tan^{-1}(v_{0y}/v_{0x})$
- $t_P = v_{0y}/g$
- $t_R = 2t_h$
- $h_{\max} = v_{0y}^2/2g$



10.  $2\Theta = \sin^{-1}(gR/v_0^2)$  angolo di lancio
11.  $\sin 2\Theta = (Rg/v_0^2)$  max gittata per  $\pi/2$
12.  $R = (v_0^2 \sin 2\Theta)/g = (2v_{0x}v_{0y})/g$  gittata

**Moto circolare :**

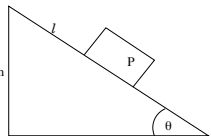
1.  $f = 1/T$
2.  $v = (2\pi R)/T = 2\pi Rf = \omega R$
3.  $\omega = \Theta/T = 2\pi/T = 2\pi f = v/R$
4.  $a_c = (2\pi v)/T = v^2/R = \omega^2 R = (4\pi^2 R)/T^2$
5.  $T = (2\pi)/\omega$
6.  $F_c = m\omega^2 R = m(v^2/R)$
7.  $x(t) = R \cos \omega t$
8.  $y(t) = R \sin \omega t$
9.  $v_x = -\omega R \sin \omega t$
10.  $a_x = -\omega^2 R \cos \omega t = -\omega^2 x$

**Urti :**

1.  $\vec{p} = m\vec{v}$  quantità di moto
2.  $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}$
3.  $I = \vec{F}t$
4. centro di massa =  $(m_1x_1 + m_2x_2)/(m_1 + m_2)$  (2 corpi)
5.  $v_{cdm} = (m_1v_1 + m_2v_2)/(m_1 + m_2)$
6.  $V_1 = v_1(m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)$   
 $V_2 = v_1(2m_1)/(m_1 + m_2)$  velocità dopo urto elastico 1 dimensione
7.  $v_1^2 = V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \alpha$  urto elastico 2 dimensioni; se  $m_1 = m_2 \Rightarrow \alpha = 90^\circ$
8.  $V_1 = (v_1(m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)) + v_2(2m_2)/(m_1 + m_2)$   
 $V_2 = (v_1(2m_1)/(m_1 + m_2)) + v_2(m_2 - m_1)/(m_1 + m_2)$  velocità dopo urto elastico 1 dimensione con bersaglio in moto
9.  $v = (m_1v_1 + m_2v_2)/(m_1 + m_2)$  velocità dopo urto anelastico
10.  $\mu = (m_1m_2)/(m_1 + m_2)$  massa ridotta

**Attrito :**

1.  $\mu_s = (F_a)_s/F_N$  coeff. attr. statico
2.  $\mu_d = (F_a)_d/F_N$  coeff. attr. dinamico
3.  $F_N = mg \cos \Theta$  forza normale
4.  $\mu_n = mg\mu = F$

**Piano inclinato :**

1.  $F = Ph/l = P \sin \Theta$

2.  $P = mg$
3.  $a = gh/l$
4.  $t = l\sqrt{2/(gh)}$
5.  $v = \sqrt{2gh}$

**Molla :**

1.  $\omega = \sqrt{k/m} = 2\pi/T$
2.  $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{m/k}$
3.  $v_{\max} = \omega x_0 = x_0\sqrt{k/m}$
4.  $x = x_0 \cos \omega t$ ,  $\Delta x = v(m/k)^2$
5.  $F = -kx$  forza elastica
6.  $(1/2)kx_0^2$  energia potenziale elastica;  $v = \omega\sqrt{x_0^2 - x^2}$
7.  $W = (1/2)kx_0^2$  lavoro necessario per allungare la molla di  $x_0$

**Pendolo :**

1.  $\omega = 2\pi/T = \sqrt{g/l} = v/l$
2.  $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{l/g}$
3.  $v = \sqrt{2gh}$
4.  $h = l(1 - \cos \Theta)$
5.  $v_p = ((m_p + M)/m_p)\sqrt{2gh}$  vel. del proiettile (pendolo balistico)
6.  $\omega = \sqrt{mgd/I}$  pendolo composto
7.  $T = 2\pi\sqrt{I/mgd}$  pendolo composto

**Moto armonico :**

1.  $x = x_0 \cos \omega t = A \cos(\omega t + \phi)$  con  $A =$  ampiezza,  $\phi =$  fase
2.  $a(t) = -\omega^2 x(t)$  caratteristica del moto armonico
3. velocità =  $-\omega A \sin(\omega t + \phi)$
4. accelerazione =  $-\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$

**Relazione del moto armonico con il moto circolare uniforme**

1.  $x = R \cos(\omega t + \phi)$
2.  $T = 2\pi/\omega$
3.  $y \rightarrow \phi' = y - \pi/2$

**Moto rotazionale (corpi estesi) :**

1.  $\omega \equiv d\Theta/dt$  velocità angolare;  $v = R\omega$  con  $\Theta$  in rad
2.  $\alpha = d^2\Theta/dt^2$  accelerazione angolare;  $a = R\alpha$
3.  $\Theta = \Theta_0 + \omega_0 t + (1/2)\alpha t^2$
4. Se è un moto circolare uniforme:  $f =$  numero di giri al secondo;  $v = 2\pi Rf$ ;  $\omega = 2\pi f$  con  $\omega$  in rad/s

5.  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$  momento angolare con  
 $\vec{p} =$  quantità di moto e  $\vec{r} =$  vettore  
dall'origine a  $\vec{p}$

**Centro di massa :**

1.  $v_{cm} = (\Sigma m_i v_i) / \Sigma m_i$
2.  $\vec{R}_{cm} = \Sigma m_i \vec{r}_i / \Sigma m_i$  baricentro
3.  $\vec{T} = d\vec{L} / dt$
4.  $k = (1/2)mv_{cm}^2 + k'$ ,  $k' =$ energia cinetica  
misurata nel sistema del c.d.m.

**Momento di inerzia (m.i.) :**

1.  $T = I\alpha$  momento delle forze, con  $\alpha$   
accelerazione angolare
2.  $I = \Sigma r_i^2 \Delta m_i$  momento di inerzia;  $I\omega$   
momento angolare
3.  $k = (1/2)I\omega^2$  energia cinetica
4.  $I = I_{cm} + Mh^2$  teorema di Huygens-  
Steiner
5.  $mR^2$  m.i. anello
6.  $(1/2)R^2$  m.i. cilindro
7.  $(ml^2)/12$  m.i. sbarra
8.  $(2/5)mR^2$  m.i. sfera piena
9.  $(2/3)mR^2$  m.i. sfera vuota
10.  $(3/2)mR^2$  m.i. disco (rispetto ad un asse  
periferico)

**Oscillazioni smorzate :**

1.  $\vec{R} = -b\vec{v}$
2.  $F_{Tot} = ma = -kx - bv$
3.  $x(t) = Ae^{-(b/2m)t} \cos(\omega t + \phi)$
4.  $\omega = \frac{\sqrt{(k/m) - (b/2m)^2}}{\sqrt{\omega_0^2 - (b/2m)^2}}$  =  
 $\omega_0 =$  pulsazione in  
assenza di smorzamento

**Varie :**

1.  $P = F\Delta x$
2.  $W = (1/2)mv_B^2 - (1/2)mv_A^2$ ,  $W = \vec{F}_S \cdot \vec{S}$   
lavoro
3.  $\vec{F}_S = F \cos \alpha$  componente del lavoro nella  
direzione dello spostamento

**Elettricità :**

1.  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} C^2 / Nm^2$  costante  
dielettrica nel vuoto
2.  $k_0 = 1 / (4\pi\epsilon_0) = 8.99 \cdot 10^9 Nm^2 / C^2$
3.  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (T \cdot m) / A = 12.56 \cdot 10^{-7}$   
henry/m, permeabilità magnetica nel  
vuoto

4.  $F = k_0(q_1q_2)/r^2$  Legge di Coulomb nel  
vuoto

5.  $p \equiv Q \cdot L$  momento del dipolo

6.  $F = qk_0p/r^3$  forza del dipolo sulla  
carica q

7.  $\vec{E} = \vec{F}/q$  campo elettrico

8.  $\vec{E} = (k_0Q/r^2)\vec{r}$  campo elettrico  
generato da una carica puntiforme

9.  $\oint \vec{E} d\vec{A} = 4\pi k_0 Q_{int} = (1/\epsilon_0) Q_{int}$  Teo-  
rema di Gauss, se  $Q_{int} = 0$  allora #  
linee entranti = # linee uscenti

10.  $\Delta \phi = \vec{E} \Delta \vec{A}$  flusso

11.  $\phi = \int_S \vec{E} d\vec{A}$  per una superficie S

12.  $\oint \vec{E} d\vec{A} = 4\pi k_0 Q$  per una carica  
puntiforme e una superficie chiusa  
qualunque

13.  $U_B - U_A = (qQ/r)k_0$  potenziale  
elettrico per il campo elettrico, Q  
puntiforme

14.  $V \equiv U/q$ ,  $V = (k_0Q)/r$  Potenziale  
elettrostatico = energia potenziale per  
unità di carica, conduttore sferico con  
carica superficiale Q

15.  $\Delta V = -Ex_0 = ED$  differenza di  
potenziale, D = distanza

16.  $E = -4\pi k_0 \sigma$  condensatore 2 strati.  
 $\sigma = Q/A$  densità superficiale

17.  $E = \sigma / (2\epsilon_0) = 2\pi k_0 \sigma$  lamina carica,  
cond. 1 strato

18.  $E = k_0(Q/r^2)$  carica a simmetria sfe-  
rica a distanza  $r > R$ , se  $r < R$   
 $E = 0$

19.  $E = k_0(Q/R^3)r$  sfera uniformemente  
carica

20.  $U = (1/2)Q_0^2/C$  energia condensatore

21.  $U = (k_0Qq)/r = (-k_0e^2)/R$  energia  
potenziale elettrone accelerato

22.  $C = A / (4\pi k_0 x_0)$ ,  $\Delta V = Q/C$   
capacità condensatore

23.  $C'/C = k = 1 / (1 - (q'/q_0))$  costante  
dielettrica,  $q'$  carica indotta

24.  $C' = q_0/V = q_0 / (Ex_0)$  dielettrici

**Elettrodinamica :**

1.  $I = Q/t$  intensità di corrente, carica  
per unità di tempo in  $A = C/S$

2.  $\vec{j} = \rho \cdot \vec{v}$  densità di corrente,  $\rho$  = densità di carica
  3.  $I = \vec{j} \cdot \vec{A}$  corrente per unità di superficie. Se  $\vec{j}$  è variabile allora  $I = \int \vec{j} \cdot \vec{A}$
  4.  $I = \mathcal{N} e \bar{v}_d A$ ,  $\bar{v}_d$  vel. media di deriva
  5.  $R = V/I$  resistenza
  6.  $I = qnAlv$
  7.  $R = (mvx_0)/(\mathcal{N}e^2LA) = \rho x_0/A$  con  $m$  = massa elettrone,  $v$  = velocità elettrone,  $\mathcal{N}$  = num. medio di elettroni per unità di volume,  $L$  = cammino libero medio,  $\rho$  = resistività
  8.  $\Delta q \xi$  energia ricevuta dalla carica,  $\xi$  forza elettromotrice
  9.  $\vec{F}_E = q\vec{E}$  campo  $\vec{E}$  esercita forza su carica  $q$
  10.  $F_{\text{mag}} = q\vec{v} = q\vec{v} \times \vec{B}$  forza magnetica esercitata da un campo  $B$  su una carica  $q$  che si muove con velocità  $\vec{v}$ ,  $\vec{B}$  campo magnetico
  11.  $P = VI = I^2R$  potenza dissipata
  12.  $R = (mv)/(qB)$ ,  $T = (2\pi m)/(qB)$  carica in movimento in un campo magnetico uniforme che percorre una circonferenza
  13.  $B = |(\mu_0/2)(I_1/R_1) - (I_2/R_2)|$  campo magnetico al centro di 2 spire circolari
  14.  $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$  forza totale
  15.  $E/B = -v$  rapporto  $E/B$  affinché forza totale=0
  16. forza totale su una corrente =  $\Sigma$  forze nulle sulle cariche
  17.  $F = I \int d\vec{s} \times \vec{B}$  forza esercitata dal campo magnetico su un elemento  $d\vec{s}$  del filo
  18.  $d\vec{B} = (\mu_0/4\pi)(Id\vec{s} \times \vec{r})/r^2$  Legge di Biot e Savart,  $d\vec{s}$  = elemento di corrente,  $d\vec{B}$  = contributo al campo magnetico di  $d\vec{s}$ ,  $\mu_0$  = permeabilità magnetica nel vuoto
  19.  $B = (\mu_0 I)/(2\pi r)$  Biot e Savart per un filo  $\infty$  rettilineo
  20.  $\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 I$  Legge di Ampère: è l'analogo del teorema di Gauss per calcolare il campo magnetico prodotto da correnti
  21.  $\phi_0 = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{A}$  flusso del campo magnetico; su una superficie chiusa  $\oint \vec{B} d\vec{A} = 0$  flusso in = flusso out
  22.  $f_{\text{em}} = (-d\phi)/(dt)$  Legge di Faraday
  23.  $\int_C \vec{E} d\vec{s} = - \int_S ((d\vec{B})/(dt)) d\vec{A}$  Legge di Lenz. S=superficie, C=contorno
  24.  $(v_1/v_2) = -(n_1/n_2)$  trasformatore
  25.  $\int \vec{E} d\vec{A} = 4\pi k_0 Q_{\text{int}}$  Legge di Gauss<sup>2</sup>
- Termodinamica :**
1.  $PV = nRT$  equazione dei gas perfetti,  $PV$  = costante a  $T$  costante
  2.  $n = m/M$  = num. moli
  3.  $R = 8.31$  J/(mole k) costante universale
  4.  $F = (-2mv_x)/(\Delta t) = (-mv_x^2)/d$ ,  $\Delta t = (2d)/v_x$  Forza della parete sulla molecola
  5.  $F\Delta t = -2mv_x$  Teorema dell'impulso
  6.  $F = (N/3)((m/d)v_x^2)$  forza totale
  7.  $P = (2/3)(N/V)(1/2)mv^2$  pressione
  8.  $C = Q/(m\Delta t)$  calore specifico
  9.  $Q = Cm\Delta t$  quantità di calore trasferita
  10.  $v_q = \sqrt{(3RT)/M}$ ,  $T = 2/(3k_B)(1/2)mv^2$  velocità quadratica media;  $M$  = peso molecolare medio gr/mole;  $R$  = costante dei gas
  11.  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K costante di Boltzman
  12.  $C_x = (m_a c_a (T - T_a))/(m_x (T_x - T))$  calore specifico
  13.  $Q_{\text{netto}} = Q_C - Q_F$
  14.  $e = 1 - (Q_F/Q_C)$  rendimento
  15.  $e_c = 1 - (T_f/T_c)$  macchina di Carnot
  16.  $ds = d(Qr/T)$  variazione di entropia
  17.  $T_{\text{eq}} = (c_1 m T_1 + c_2 m T_2)/(c_1 m + c_2 m)$  temperatura di equilibrio
- Trasformazioni :**
1. Adiabatica:  $Q = 0$ ,  $\Delta U = -W$ , il sistema si raffredda (o si riscalda). L'espansione libera  $Q = 0$ ,  $W = 0$  nessun lavoro,  $\Delta U = 0$   $T$  = costante
  2. Isobara (pressione costante):  $P(v_f - v_i) =$  lavoro
  3. Isocora (volume costante):  $W = 0$ ,  $\Delta U = Q$ , tutto il calore assorbito va in aumento dell'energia interna
  4. Isoterma (temperatura costante): energia interna solo funzione di  $T$  per un gas perfetto,  $\Delta U = 0$ ,  $PV$  = costante

<sup>2</sup>l'integrale è quello col doppio cerchio

**Studente: Ferro Alberto**

**Mat. 449103/IL**

**Anno accademico: 2000/2001**

# **FORMULARIO DI FISICA GENERALE II**

relativo al corso tenuto dal prof. Nigro nel 2001 per ingegneri elettronici

NB: Il sottoscritto non si assume alcuna responsabilità riguardo la correttezza di quanto riportato di seguito  
I riferimenti di pagina sono relativi al volume II del testo "Mazzoldi-Nigro-Voci" Seconda Edizione

**ELETTROSTATICA:**

Legge di Coulomb:	$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$	pg.9
Campo elettrostatico/elettromotore:	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} \vec{u}_{12}$	pg.12
Densità di carica:	$\rho = \frac{dq}{d\tau} \quad \sigma = \frac{dq}{d\Sigma} \quad \lambda = \frac{dq}{dl}$	pg.15
<u>Campo elettrost. di un filo indefinito unif. carico:</u>	$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \vec{u}_y$	pg.17
<u>Campo elettrost. sull'asse di un anello sottile unif. carico di raggio R:</u>	$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{x}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \vec{u}_x$ per $x \gg R$ $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x^2} \vec{u}_x$	pg.18
Lavoro del campo elettrost./elettromot.	$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad W = q_0 \int_{C_1} \vec{E} \cdot d\vec{s}$	pg.29
Tensione elettrica, f.e.m., in generale:	$T_1 = \int_{C_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \mathcal{E} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s}$	pg.29
Differenza di potenziale elettrostatico:	$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \mathcal{E} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$	pg.31
Lavoro, $U_e$ in campo elettrostatico:	$U_e = q_0 V \quad W = -\Delta U_e = -q_0 \Delta V$	pg.31
Potenziale elettrostatico:	$V(P) = \int_P^\infty \vec{E} \cdot d\vec{s} = \sum_i \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$	pg.33
Operatore $\nabla$ :	$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{u}_x + \frac{\partial}{\partial y} \vec{u}_y + \frac{\partial}{\partial z} \vec{u}_z$	pg.46
Campo elettrostatico in funzione di $V$ :	$\vec{E} = -\text{grad}V = -\nabla V$	pg.46
Campo elettrost. in funzione di $V(r, \theta, \varphi)$ :	$E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} \quad E_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \quad E_\varphi = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \varphi}$	pg.47
Momento di dipolo elettrico:	$\vec{p} = q\vec{a}$	pg.57
Potenziale, $U_e$ e mom. su dipolo elettrico:	$V(P) = \frac{\vec{p} \cdot \vec{u}_r}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad U_e = -\vec{p} \cdot \vec{E} \quad \vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$	pg.63
Forza su dipolo elettrico in campo $E$ non costante:	$\vec{F} = p_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + p_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + p_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z}$ se conservativo: $F_x = p_x \frac{\partial E_x}{\partial x} + p_y \frac{\partial E_y}{\partial x} + p_z \frac{\partial E_z}{\partial x}$ $F_y = p_x \frac{\partial E_x}{\partial y} + p_y \frac{\partial E_y}{\partial y} + p_z \frac{\partial E_z}{\partial y}$ $F_z = p_x \frac{\partial E_x}{\partial z} + p_y \frac{\partial E_y}{\partial z} + p_z \frac{\partial E_z}{\partial z}$	pg.64
Angolo solido:	$d\Omega = \frac{d\Sigma \cos \alpha}{r^2} = \frac{d\Sigma_0}{r^2} \quad \Omega = \int \sin \theta d\theta d\varphi$	pg.72
Legge di Gauss, nel vuoto:	$\Phi(\vec{E}) = \int_\Sigma \vec{E} \cdot \vec{u}_n d\Sigma = \frac{1}{\epsilon_0} \left( \sum_i q_i \right)_{\text{int}} \quad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	pg.70, 80

<u>Campo elettrost. di una sup. sferica:</u>	dentro: $E = 0$	fuori: $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_r$	pg.73
<u>Campo elettrost. di un volume sferico:</u>	dentro: $\vec{E} = \frac{qr}{4\pi\epsilon_0 R^3} \vec{u}_r$	fuori: $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_r$	pg.74
<u>Campo elettrost. di un cilindro:</u>	dentro: $\vec{E} = \frac{\lambda r}{2\pi\epsilon_0 R^2} \vec{u}_r$	fuori: $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \vec{u}_r$	pg.75
<u>Campo elettrost. di un piano indefinito:</u>	$\vec{E} = \pm \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{u}_x$		pg.76
Capacità di un condutt. e di un condens.:	$C = \frac{q}{V}$	$C = \frac{q}{V_1 - V_2}$	pg.91, 101
<u>Capacità di un conduttore sferico isolato:</u>	$C = 4\pi\epsilon_0 R$		pg.92
<u>Capacità di un condensatore sferico nel vuoto:</u>	$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \cong \epsilon_0 \frac{\Sigma}{h}$		pg.102
<u>Capacità di un condensatore cilindrico nel vuoto:</u>	$C = 2\pi\epsilon_0 \frac{d}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cong \epsilon_0 \frac{\Sigma}{h}$		pg.103
<u>Capacità di un condensatore piano nel vuoto:</u>	$C = \epsilon_0 \frac{\Sigma}{h}$		pg.103
Condensatori in parallelo:	$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$		pg.105
Condensatori in serie (stessa carica):	$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$		pg.105
Energia elettrost. di un condensatore:	$U_e = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} qV$		pg.108
Densità di energia elettrostatica generica:	$u_e = \frac{dU_e}{d\tau} = \frac{1}{2} \epsilon E^2$		pg.109, 148
Energia elettrost. tra due sfere distanti, nel vuoto:	$U_e = \frac{1}{2} \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{1}{2} \frac{q_2^2}{4\pi\epsilon_0 R_2} + \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 d}$		pg.112
Pressione elettrostatica tra le armature, nel vuoto:	$p = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$		pg.117
Forza tra le armature di un condensatore (> 0 se repulsiva, x=dist. tra le armature):	q=cost $F = -\frac{\partial U_e}{\partial x}$	V=cost $F = \frac{\partial U_e}{\partial x}$	pg.118
Costante dielettr. relativa $k_e$ e assoluta $\epsilon$ (q cost.):	$k_e = \frac{V_0}{V_k} = \frac{E_0}{E_k} > 1$	$\epsilon = k_e \epsilon_0$	pg.128
Suscettività elettrica:	$\chi_e = k_e - 1 > 0$		pg.128
Polarizzazione del dielettrico:	$\vec{P} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta \tau} = n < \vec{p} >$ dove $n = n^\circ$ atomi/m <sup>3</sup>		pg.131
Polarizzazione di un dielettrico lineare:	$\vec{P} = \epsilon_0 (k_e - 1) \vec{E} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$		pg.131
Densità di carica nel dielettrico in funzione della polarizzazione:	$\sigma_p = \vec{P} \cdot \vec{u}_n$		pg.132
Induzione dielettrica:	$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$		pg.136
Legge di Gauss per il campo D:	$\Phi(\vec{D}) = \left( \sum_i q_i \right)_{int,libere}$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	pg.136

Induzione dielettrica nei dielettr. lineari:	$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$	pg.138
Discontinuità dei campi sulla sup. di separazione tra due dielettrici:	$E_{1t} = E_{2t} \quad D_{1n} = D_{2n}$ $E_{2n} - E_{1n} = \frac{\sigma_{1p} - \sigma_{2p}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma_p}{\epsilon_0} \quad \frac{tg\theta_2}{tg\theta_1} = \frac{k_2}{k_1}$	pg.141
N° di molecole/m <sup>3</sup> di un materiale (pari al n° di portatori di carica/m <sup>3</sup> se sono uno per molecola):	$n = \frac{N_A \rho}{A} \quad N_A = 6,023E^{26}$ se A è in Kg	pg.161
Corrente elettrica, densità di corrente:	$i = \frac{dq}{dt} \quad \vec{j} = nq\vec{v} \quad i = \int_{\Sigma} \vec{j} \cdot \vec{u}_n d\Sigma$	pg.164
Principio di conservazione della carica:	$i = \oint \vec{j} \cdot \vec{u}_n d\Sigma = -\frac{\partial q_{int}}{\partial t}$	pg.167
Condizione di stazionarietà:	$\oint \vec{j} \cdot \vec{u}_n d\Sigma = 0 \quad \nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad i_1 = i_2$	pg.168
Legge di Ohm:	$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad \vec{E} = \rho \vec{j}$	pg.170
Potenza spesa per unità di volume:	$P_v = \sigma E^2 = \rho j^2$	pg.170
Legge di Ohm per conduttori metallici:	$V = Ri$	pg.172
Resistenza di un conduttore:	$R = \int_A^B \rho \frac{dh}{\Sigma} \quad \text{a sezione costante: } R = \rho \frac{h}{\Sigma}$	pg.172
Resistività di un condutt. per piccoli intervalli di temperatura:	$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha \Delta t)$	pg.173
Potenza spesa in un conduttore:	$P = Ri^2$	pg.176
Resistenze in serie (stessa corrente):	$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	pg.179
Resistenze in parallelo:	$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$	pg.180
f.e.m. di un generatore di tensione, resistenza interna r:	$\mathcal{E} = \int_A^B \vec{E}^* \cdot d\vec{s} \quad \int_A^B (\vec{E}^* + \vec{E}_{el}) \cdot d\vec{s} = ri = \mathcal{E} - Ri$	pg.182
Legge di Ohm generalizzata:	$V_A - V_B + \sum_k \mathcal{E}_k = Ri$	pg.185
Carica di un condensatore in un circuito RC:	$V_C = \mathcal{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad q = C\mathcal{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$ $W_{gen} = C\mathcal{E}^2 = 2W_C = W_C + W_R$	pg.188
Scarica di un condensatore in un circuito RC:	$V_C = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad i = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$	pg.190
<b>MAGNETOSTATICA:</b>		
Legge di Gauss per il campo magnetico:	$\oint \vec{B} \cdot \vec{u}_n d\Sigma = 0 \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0$	pg.213
Forza di Lorentz:	$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$	pg.214
Campo elettromotore magnetico:	$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$	pg.230
Raggio di curvatura e $\omega$ in campo B uniforme e ortogonale alla traiettoria:	$r = \frac{mv}{qB} \quad \vec{\omega} = -\frac{q}{m} \vec{B}$ (m relativistica)	pg.215

Massa in funzione della velocità:	$m = m_0 \gamma = m_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$	pg.215
Raggio di curvatura e passo $p$ in campo $B$ uniforme:	$r = \frac{mv_n}{qB} = \frac{mv \sin \theta}{qB} \quad p = v_p T = \frac{2\pi m v \cos \theta}{qB}$	pg.217
1 <sup>a</sup> legge elementare di Laplace nel vuoto:	$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{u}_r}{r^2}$ (campo B gen. da tratto infin. di filo)	pg.241
2 <sup>a</sup> legge elementare di Laplace:	$d\vec{F} = i d\vec{s} \times \vec{B}$ (forza su tratto infinitesimo di filo)	pg.218
Forza magnetica su un filo conduttore disposto su un piano in campo uniforme:	$\vec{F} = i PQ \times \vec{B}$ se rettilineo: $\vec{F} = i \vec{l} \times \vec{B}$	pg.219
Momento di dipolo magnetico:	$\vec{m} = i \Sigma \vec{u}_n$ (valida $\forall$ forma del circuito)	pg.221
$U_p$ e momento su dipolo magnetico:	$U_p = -\vec{m} \cdot \vec{B} \quad \vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$	pg.221/3
Campo elettromotore di Hall:	$\vec{E}_H = \vec{v}_d \times \vec{B} = \frac{\vec{j}}{ne} \times \vec{B}$	pg.230
1 <sup>a</sup> legge elem. di Laplace nel vuoto per conduttori non filiformi:	$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{j} \times \vec{u}_r}{r^2} d\tau$	pg.241
Legge di Ampere-Laplace, ovvero campo $B$ generato da un circuito chiuso:	$\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \oint \frac{\vec{j} \times \vec{u}_r}{r^2} d\tau$ se filif.: $\vec{B} = \frac{\mu i}{4\pi} \oint \frac{d\vec{s} \times \vec{u}_r}{r^2}$	pg.241, 271
Legge di Biot-Savart, ovvero campo $B$ generato da un filo indefinito di raggio $R$ :	$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \vec{u}_\phi$ (nel vuoto)	pg.244, 255
<u>Campo <math>B</math> sull'asse di una spira circolare, nel vuoto:</u>	$\vec{B} = \frac{\mu_0 i R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}} \vec{u}_n$ per $x \gg R$ $B = \frac{\mu_0 i R^2}{2x^3} \vec{u}_n$	pg.246
<u>Campo <math>B</math> al centro di un solenoide rett. e in un solenoide rett. indefinito, nel vuoto:</u>	$B = \mu_0 n i \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4R^2}}$ per $d \rightarrow \infty$ $B = \mu_0 n i$ dove $n = n^\circ \text{spire/m}$	pg.248, vedi 279
Forza tra 2 fili parall. e indefiniti per unità di lunghezza, nel vuoto:	$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi r}$	pg.251
Legge di Ampere, nel vuoto:	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum i_{conc.} = \mu_0 \int_{\Sigma} \vec{j} \cdot \vec{u}_n d\Sigma \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$	pg.253
<u>Campo <math>B</math> in un solenoide toroidale, in generale:</u>	$\vec{B} = \frac{\mu N i}{2\pi r} \vec{u}_\phi \quad \vec{H} = \frac{N i}{2\pi r} \vec{u}_\phi$	pg.257, 279
Campo $B$ generato da una corrente piana indefinita, nel vuoto:	$\vec{B} = \frac{\mu_0 j}{2} \vec{u}_t$	pg.257
Coefficiente di mutua induzione:	$\Phi_{1,2} = M i_1 \quad \Phi_{2,1} = M i_2$	pg.259
Autoflusso e coeff. di autoinduzione $L$ :	$\Phi = L i$	pg.260
<u>Coeff. di autoinduzione nei solenoidi tor., e rett. per unità di lunghezza, nel vuoto:</u>	toroid., $r \gg a$ $L = \frac{\mu_0 N^2 \Sigma}{2\pi R}$ rett.indef.: $L_l = \mu_0 n^2 \Sigma$	pg.260
Permeabilità magnetica relativa $k_m$ e assoluta $\mu$ ( $i$ cost.):	$k_m = \frac{B_k}{B_0} \quad \mu = k_m \mu_0$	pg.271
Suscettività magnetica:	$\chi_m = k_m - 1$	pg.272
1 <sup>a</sup> legge di Curie (per sostanze diamagnetiche):	$\chi_m = \frac{C \rho}{T}$	pg.273

2 <sup>a</sup> legge di Curie, valida per sostanze ferromagnetiche per $T > T_C$ :	$\chi_m \frac{(T - T_C)}{\rho} = C$	pg.291
Magnetizzazione:	$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{m}}{\Delta \tau} = n \langle \vec{m} \rangle \quad \text{dove } n = n^\circ \text{ atomi/m}^3$	pg.274
Magnetizzazione di un mezzo lineare (non valida nei ferromagnetici):	$\vec{M} = \chi_m \vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \frac{k_m - 1}{k_m} \vec{B}$	pg.277
Densità lineare di corrente amperiana in funzione della magnetizzazione:	$\vec{j}_{s,m} = \vec{M} \times \vec{u}_n \quad \oint \vec{M} \cdot d\vec{s} = i_m \quad \nabla \times \vec{M} = \vec{j}_m$	pg.275
Campo $H$ :	$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$	pg.277
Legge di Ampere per il campo $H$ :	$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \left( \sum i \right)_{\text{conc. cond.}} \quad \nabla \times \vec{H} = \vec{j}$	pg.277
Campo $H$ nei mezzi lineari (non valida nei ferromagnetici):	$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} \quad \vec{B} = \mu \vec{H}$	pg.278
Discontinuità dei campi sulla sup. di separazione tra due mezzi:	$H_{1t} = H_{2t} \quad B_{1n} = B_{2n} \quad \frac{B_{1,t}}{k_{1,m}} = \frac{B_{2,t}}{k_{2,m}}$ $k_{1,m} H_{1n} = k_{2,m} H_{2n} \quad \frac{\text{tg} \theta_1}{\text{tg} \theta_2} = \frac{k_{1,m}}{k_{2,m}}$	pg.283
Campo $B$ in anello toroidale con traferro:	$B = -\mu_0 \frac{s-h}{h} H + \mu_0 \frac{Ni}{h} \quad (\text{da inters. con il ciclo di ist.})$	pg.296
Modello classico della magnetizzazione nei diamagnetici:	$L = m_e v r = (l+1)\hbar \quad \vec{m} = -\frac{e}{2m_e} \vec{L} = (l+1)\mu_B$ mom. di spin: $\mu_e = \pm \mu_B \quad \text{con } \mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$ $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}_{loc} = -\frac{e}{2m_e} \vec{L} \times \vec{B} = \vec{\omega}_L \times \vec{L} \rightarrow$ $\vec{\omega}_L = \frac{e}{2m_e} \vec{B}_{loc} \rightarrow \Delta m = \Delta i \pi r^2 = -\frac{e^2 r^2}{4m_e} B_{loc}$ con $r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2 = \frac{2}{3} r_i^2$ e $\bar{r}^2 = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z r_i^2 \rightarrow$ $\vec{M} = n \sum_{i=1}^Z \Delta \vec{m}_i = -\frac{e^2 n Z \bar{r}^2}{6m_e} \vec{B}_{loc} \rightarrow$ $\chi_m = -n \mu_0 \frac{e^2 Z \bar{r}^2}{6m_e}$	pg.302, 303, 308, 309, 310
<b>ELETTROMAGNETISMO:</b>		
Legge di Faraday:	$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi(\vec{B})}{dt} \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{u}_n d\Sigma$ $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	pg.320
f.e.m. generata dalla forza di Lorentz:	$\mathcal{E} = \oint \vec{v} \times \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (\text{dove } v \text{ è la velocità della spira})$	pg.323
f.e.m. e forza su circuito rettangolare con sbarra mobile:	$\mathcal{E} = -vBb \quad i = -\frac{vBb}{r+R} \quad \vec{F} = -\frac{B^2 b^2}{r+R} \vec{v}$	pg.324, 328

f.e.m. e momento su disco di Barlow:	$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \omega B a^2$	$\vec{M} = -\frac{B^2 a^4}{4R} \vec{\omega}$	pg.329
f.e.m. su spira rettangolare rotante:	$\mathcal{E} = \omega B \Sigma \sin \omega t$	$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$	pg.330
Betatrone, variazione di campo $B$ nel tempo rispetto a variazione geometrica:	$\Delta p = \frac{eR}{2} \Delta B_m = ER \Delta B_{orb} \rightarrow \Delta B_m = 2 \Delta B_{orb}$		pg.333
Legge di Felici, ovvero spostamento di carica per variazione di flusso magnetico:	$q = \frac{\Phi_1(\vec{B}) - \Phi_2(\vec{B})}{R}$		pg.335
f.e.m. per autoinduzione:	$\mathcal{E} = -\frac{d}{dt}(Li)$ se $L$ è costante: $\mathcal{E} = -L \frac{di}{dt}$		pg.337
Carica di un'induttanza (chiusura del circuito) in un circuito RL:	$\mathcal{E}_L = -\mathcal{E} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad \tau = \frac{L}{R}$		pg.338
Scarica di un'induttanza (apertura del circuito) in un circuito RL:	$\mathcal{E}_L = \frac{R^1}{R} \mathcal{E} e^{-\frac{t}{\tau^1}} \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{\tau^1}} \quad \tau^1 = \frac{L}{R^1}$ ( $R^1$ è la res. di ap.)		pg.339
Energia magnetica di un'induttanza:	$U_L = \frac{1}{2} Li^2$		pg.340
Densità di energia magnetica in generale, per materiali non ferromagnetici:	$u_m = \frac{dU_L}{d\tau} = \frac{1}{2\mu} B^2 \quad U_m = \int \frac{B^2}{2\mu} d\tau$	Nei ferrom. $U_m$ è l'area del ciclo di isteresi	pg.341, 344,345
Induttanza per unità di lunghezza di un cavo coassiale con intercapedine vuota:	$L_{\prime a} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{R_2}{R_1}\right)$ (somma di cavo int. e intercap.)		pg.343
Pressione magnetica verso l'esterno sulle spire di un solenoide rettilineo, nel vuoto:	$p = \frac{B^2}{2\mu_0}$		pg.347
Forza in un circuito percorso da corrente costante durante una deformazione:	$dU_m = \frac{i^2}{2} dL \quad F = \frac{\partial U_m}{\partial x}$		pg.346
Forza su un materiale magn. parz. inserito in un solenoide rett. lungo $d$ di pari sez.:	$F = \frac{\partial U_m}{\partial x} = \frac{1}{2} \mu_0 \chi_m \Sigma n^2 i^2$	( $i$ cost.) $F$ è attratt. se $\chi_m > 0$ , repulsiva se $\chi_m < 0$	pg.347
f.e.m. su un circuito dovuta alla variazione di corrente nell'altro:	$\mathcal{E}_1^1(t) = -M \frac{di_2}{dt} \quad \mathcal{E}_2^1(t) = -M \frac{di_1}{dt}$ se $M$ è cost.		pg.350
Energia magnetica tra due circuiti accoppiati con $M$ cost.:	$U_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2$		pg.352
Lavoro e forze di spostamento di due circuiti accoppiati, a correnti costanti:	$dW_{mecc} = dU_m = i_1 i_2 dM \quad F_x = \frac{dU_m}{dx} \quad M_\theta = \frac{dU_m}{d\theta}$		pg.353
Corrente di spostamento nel vuoto:	$i_s = \int \vec{j}_s \cdot \vec{u}_n d\Sigma = \epsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot \vec{u}_n d\Sigma = \epsilon_0 \frac{\partial \Phi(\vec{E})}{\partial t}$		pg.359
Legge di Ampere-Maxwell nel vuoto:	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum (i + i_s) = \mu_0 \int \left( \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot \vec{u}_n d\Sigma$ $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 (\vec{j} + \vec{j}_s) = \mu_0 \left( \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$		pg.359
Legge di Ampere-Maxwell con dielettrici lineari:	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum (i + i_s) = \mu_0 \int \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot \vec{u}_n d\Sigma$ $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 (\vec{j} + \vec{j}_s) = \mu_0 \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right)$ $\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \vec{j}_s = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$		pg.361

Equazioni di Maxwell nel vuoto in presenza di sorgenti:	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	pg.361
	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	
Equazioni di Maxwell nel vuoto in assenza di sorgenti:	$\nabla \cdot \vec{E} = 0$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	pg.363
	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	

**ONDE:**

Equazione delle onde piane o di D'Alembert:	$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$		pg.444
Soluzione generale dell'equazione di D'Alembert:	$\xi(x, t) = \xi_1(x - vt) + \xi_2(x + vt)$		pg.445
Onde longitudinali in una sbarra solida:	$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{1}{E} \frac{F}{S}$	$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	$\xi$ è lo spostamento longitudinale dalla posizione di equilibrio pg.446, 450
Onde trasversali in una corda tesa:	$v = \sqrt{\frac{T}{\rho_l}}$		$\xi$ è lo spostamento verticale dalla posizione di equilibrio pg.452
Onde longitudinali in un gas ideale:	$\frac{dV}{V} = -\frac{dp}{\beta}$	$\beta = \rho \frac{dp}{d\rho}$	$\beta_T = p$ a T=cost. pg.452, 455, 469
	$\beta_S = \gamma p$ in cond. adiab.	$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{A}}$ adiab.	
	per le onde sonore: $\Delta p_{\max} = 2\pi \nu \rho_0 v A$		$I = \frac{(\Delta p)_{\max}^2}{2\rho_0 v}$
Onda piana armonica:	$\xi(x, t) = \xi_0 \text{sen}(kx - \omega t)$	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$ pg.457, 461
	$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}$	se trasversale si può scrivere:	
	$\xi_y = \xi_{0y} \text{sen}(kx - \omega t)$	$\xi_z = \xi_{0z} \text{sen}(kx - \omega t + \delta)$	
Teorema di Fourier per funzioni periodiche:	$f(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} (a_m \text{sen} m\omega t + b_m \text{cos} m\omega t)$		
	$a_m = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \text{sen} m\omega t dt$	$b_m = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \text{cos} m\omega t dt$	pg.459
	$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$	Analog. nello spazio, con $\lambda$ e $k$	
Teorema di Fourier per funzioni non periodiche:	$f(t) = \int_0^{\infty} (a(\omega) \text{sen} \omega t + b(\omega) \text{cos} \omega t) d\omega$		pg.459, 460
	$a(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \text{sen} \omega t dt$	$b(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \text{cos} \omega t dt$	
	Analog. nello spazio, con $\lambda$ e $k$		

Onda piana armonica trasversale con polarizzazione rettilinea ( $\delta = m\pi$ ):	$tg\theta = \frac{\xi_z}{\xi_y} = \frac{\xi_{0z}}{\xi_{0y}} \quad \xi_{0y} = \xi_0 \cos\theta \quad \xi_{0z} = \xi_0 \sin\theta$ $\xi_y = \xi_0 \cos\theta \sin(kx - \omega t) \quad \xi_0 = \sqrt{\xi_{0x}^2 + \xi_{0y}^2}$ $\xi_z = \pm \xi_0 \sin\theta \sin(kx - \omega t)$	pg.461
Onda piana armonica trasversale con polarizzazione ellittica ad assi coincidenti con gli assi coordinati ( $\delta = (m+1)\frac{\pi}{2}$ ):	$\frac{\xi_y^2}{\xi_{0y}^2} + \frac{\xi_z^2}{\xi_{0z}^2} = 1 \quad \text{se } \xi_{0y} = \xi_{0z} = \xi_0 \Rightarrow \xi_y^2 + \xi_z^2 = \xi_0^2$ $\xi_y = \xi_{0y} \sin(kx - \omega t) \quad \xi_z = \pm \xi_{0z} \cos(kx - \omega t)$	pg.462
Intensità di un'onda:	caso tridim.: $I = \frac{P_m}{\Sigma} = w_r v$ caso bidim.: $I = \frac{P_m}{l} = w_\Sigma v$ caso unidim.: $I = P_m = w_l v$ dove $w_i$ è la dens. di energia che risulta, per l'onda in un gas: $w_\Sigma = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2$	pg.467
Livello sonoro:	$B = 10 \log \frac{I}{I_0}$ dove $I_0$ si assume pari a $10^{-12} \text{ W/m}^2$	pg.471
Battimento tra due onde:	$s_1 = A \sin \omega_1 t \quad s_2 = A \sin \omega_2 t$ $s = s_1 + s_2 = 2A \cos(\Omega t) \sin(\omega t) \quad \text{dove}$ $\Omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad \omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ per l'intensità si ha: $v_b = v_1 - v_2$	pg.472, 473
Onda piana armonica nello spazio:	$\xi = \xi_0 \sin(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) \quad \vec{k} \cdot \vec{r} = kx$	pg.474
Equazione delle onde piane, sferiche e cilindriche nello spazio:	$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$	pg.475
Onda sferica armonica:	$\xi(x, t) = \frac{\xi_0}{r} \sin(kr - \omega t) \quad I = \frac{I_0}{r^2}$	pg.476
Onda cilindrica armonica:	$\xi(x, t) = \frac{\xi_0}{\sqrt{r}} \sin(kr - \omega t) \quad I = \frac{I_0}{r}$	pg.478
Assorbimento:	$dI = -\alpha I(x) dx \quad I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad \xi_0^1 = \xi_0 e^{-\alpha x/2}$	pg.479
Pacchetti d'onde:	$\Delta k = \frac{2\pi}{\Delta x} \quad \Delta \omega = \frac{2\pi}{\Delta t} \quad \Delta v = \frac{1}{\Delta t}$	pg.480
Effetto Doppler:	$v_R = \frac{v - v_R}{v - v_s} v_0$	pg.488
Onda d'urto (con $\theta'$ angolo formato tra il fronte d'onda d'involuppo e la direzione di moto):	$\sin \theta' = \frac{v}{v_s}$	pg.489
<b>ONDE ELETTROMAGNETICHE:</b>		
Velocità:	$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$	pg.492
Relazione tra $B$ ed $E$ in un'onda elettromagnetica:	$\vec{E} = E_y(x - vt)\vec{u}_y + E_z(x - vt)\vec{u}_z$ $v\vec{B} = -E_z(x - vt)\vec{u}_y + E_y(x - vt)\vec{u}_z$	pg.493

	$E = vB \quad \vec{E} \cdot \vec{B} = 0 \quad \vec{E} \times \vec{B} = EB\vec{u}_x$	
Indice di rifrazione assoluto:	$n = \frac{c}{v} = \sqrt{k_e}$	pg.494
Impedenza caratteristica del mezzo:	$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \frac{Z_0}{n} \quad Z_0 = 377\Omega \quad (\text{se } B = \mu H)$	pg.494
Densità istant. di energia elettromagn.	$u = \epsilon E^2$	pg.498
Vettore di Poynting:	$\vec{S} = u\vec{v} = \epsilon E^2 \vec{v} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B}$	pg.498
Potenza ist. mediante vettore di Poynting:	$P = \int_{\Sigma} \vec{S} \cdot \vec{u}_n d\Sigma$	pg.499
Intensità di un'onda armonica piana pol. rettilineamente:	$I = S_m = \frac{1}{2} \epsilon v E_0^2 = \frac{n}{Z_0} \frac{E_0^2}{2} = \frac{E_{eff}^2}{Z}$ $I_y = I \cos^2 \theta \quad I_z = I \sin^2 \theta$	pg.599
Intensità di un'onda armonica piana comunque polarizzata:	$I = I_y + I_z = \frac{1}{2} \epsilon v E_{0y}^2 + \frac{1}{2} \epsilon v E_{0z}^2$	pg.599
Intensità di un'onda e.m. piana qualsiasi:	$I = I_y + I_z = \epsilon v (E_y^2)_m + \epsilon v (E_z^2)_m = \epsilon v (E^2)_m$ $I_y = I_z = \frac{I}{2} \quad (E_y^2)_m = (E_z^2)_m = \frac{(E^2)_m}{2}$	pg.500, 501
Pressione di radiazione:	sup. tot. ass: $P_{rad} = \frac{I}{c} \cos^2 \theta$ sup.tot rifl: $P_{rad} = \frac{2I}{c} \cos^2 \theta$	pg.503
Intensità di un'onda e.m. sferica e cilindrica:	$I = \frac{1}{2} \epsilon v \frac{E_0^2}{r^2} \quad I = \frac{1}{2} \epsilon v \frac{E_0^2}{r}$	pg.505, 506
Intensità e potenza di un'onda e.m. emessa da un dipolo elettrico oscillante nel vuoto:	$I(r, \theta) = \frac{p_0^2 \omega^4}{32\pi^2 \epsilon_0 c^3} \frac{\sin^2 \theta}{r^2} = \frac{I_0}{r^2} \sin^2 \theta$ con $I_0 = \frac{p_0^2 \omega^4}{32\pi^2 \epsilon_0 c^3} \quad P = \frac{8\pi}{3} I_0 = \frac{1}{2} R_{ant} i_0^2$ con $R_{ant} = \frac{a^2 \omega^2}{6\pi \epsilon_0 c^3} = 789.5 \frac{a^2}{\lambda^2}$	pg.509, 510
Formula di Larmor, ovvero potenza irradiata da particella carica accelerata:	$P_{Larm} = \frac{q^2 a^2}{6\pi \epsilon_0 c^3}$	pg.511
Energia e quantità di moto di un fotone, n° di fotoni/m <sup>2</sup> e su secondo:	$U = h\nu \quad p = \frac{h}{\lambda} \quad N = \frac{I}{h\nu}$	pg.532
<b>RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DI ONDE:</b>		
Teorema di Kirchoff per superficie d'onda sferica di raggio q:	$\xi_P = \oint \frac{\xi_0}{\lambda q} \frac{1}{s} f(\theta) \cos \left[ k(q+s) - \omega t - \frac{\pi}{2} \right] d\Sigma$ con $f(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2}$ dove s è la dist. tra dΣ e P	pg.540
Leggi della riflessione e rifrazione:	$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \theta_i = \theta_r$	pg.542, 545

	$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_t} = \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{Legge di Snell})$	
Angolo limite (riflessione totale):	$\text{sen } \theta_0 = \frac{n_2}{n_1}$	pg.546
<u>Distanza tra i raggi di un fascio monocr. in ingresso e uscita da una lastra trasp.:</u>	$\theta_3 = \theta_1 \quad d = h \cdot \text{sen } \theta_1 \left( 1 - \frac{\cos \theta_1}{\sqrt{n^2 - \text{sen}^2 \theta_1}} \right)$ dove $h$ è lo spess.	pg.547
Campo elettrico, intensità e potenza riflessi e rifratti per onde polarizzate rettilineamente nel piano di incidenza $\pi$ :	$r_\pi = \frac{E_{0,\pi}^r}{E_{0,\pi}^i} = \frac{\text{tg}(\theta_i - \theta_t)}{\text{tg}(\theta_i + \theta_t)}$ $t_\pi = \frac{E_{0,\pi}^t}{E_{0,\pi}^i} = \frac{2 \text{sen } \theta_i \cos \theta_i}{\text{sen}(\theta_i + \theta_t) \cos(\theta_i - \theta_t)}$ $\frac{I_\pi^r}{I_\pi^i} = \left( \frac{E_{0,\pi}^r}{E_{0,\pi}^i} \right)^2 = r_\pi^2 \quad \frac{I_\pi^t}{I_\pi^i} = \frac{n_2}{n_1} \left( \frac{E_{0,\pi}^t}{E_{0,\pi}^i} \right)^2 = \frac{n_2}{n_1} t_\pi^2$ $R_\pi = \frac{W_\pi^r}{W_\pi^i} = r_\pi^2 \quad R_\pi + T_\pi = 1$ $T_\pi = \frac{W_\pi^t}{W_\pi^i} = \frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} t_\pi^2 = \frac{\text{sen} 2\theta_i \text{sen} 2\theta_t}{\text{sen}^2(\theta_i + \theta_t) \cos^2(\theta_i - \theta_t)}$	pg.549, 550
Campo elettrico, intensità e potenza riflessi e rifratti per onde polarizzate rettilineamente nel piano $\sigma$ ortogonale al piano di incidenza:	$r_\sigma = \frac{E_{0,\sigma}^r}{E_{0,\sigma}^i} = -\frac{\text{sen}(\theta_i - \theta_t)}{\text{sen}(\theta_i + \theta_t)}$ $t_\sigma = \frac{E_{0,\sigma}^t}{E_{0,\sigma}^i} = \frac{2 \text{sen } \theta_i \cos \theta_i}{\text{sen}(\theta_i + \theta_t)}$ $\frac{I_\sigma^r}{I_\sigma^i} = \left( \frac{E_{0,\sigma}^r}{E_{0,\sigma}^i} \right)^2 = r_\sigma^2 \quad \frac{I_\sigma^t}{I_\sigma^i} = \frac{n_2}{n_1} \left( \frac{E_{0,\sigma}^t}{E_{0,\sigma}^i} \right)^2 = \frac{n_2}{n_1} t_\sigma^2$ $R_\sigma = \frac{W_\sigma^r}{W_\sigma^i} = r_\sigma^2 \quad R_\sigma + T_\sigma = 1$ $T_\sigma = \frac{W_\sigma^t}{W_\sigma^i} = \frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} t_\sigma^2 = \frac{\text{sen} 2\theta_i \text{sen} 2\theta_t}{\text{sen}^2(\theta_i + \theta_t)}$	pg.551
Relazioni di Stokes, ovvero coeff. di Fresnel in $\sigma$ e $\pi$ per invers. del cammino:	$r_2 = -r_1 \quad t_1 t_2 = 1 - r_1^2 \quad R_1 = R_2 \quad T_1 = T_2$	pg.551
Campo elettrico, intensità e potenza riflessi e rifratti per incidenza normale alla superficie di separazione:	$r = \frac{E_r}{E_i} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad t = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$ $R = \frac{W_r}{W_i} = \frac{I_r}{I_i} = r^2 \quad T = \frac{W_t}{W_i} = \frac{I_t}{I_i} = \frac{n_2}{n_1} t^2$ $R + T = 1$	pg.553
Campo elettrico, intensità e potenza riflessi e rifratti in generale (mediante scomposizione):	$\vec{E}_i = \vec{E}_\pi^i + \vec{E}_\sigma^i \quad I_i = I_\pi + I_\sigma \quad R + T = 1$ $R = \frac{W_r}{W_i} = \frac{I_r}{I_i} = R_\pi \frac{I_\pi^i}{I_i} + R_\sigma \frac{I_\sigma^i}{I_i}$ $T = \frac{W_t}{W_i} = \frac{I_t \cos \theta_t}{I_i \cos \theta_i} = T_\pi \frac{I_\pi^i}{I_i} + T_\sigma \frac{I_\sigma^i}{I_i}$	pg.554, 555
Grado di polarizzazione:	$P = \frac{W_\sigma - W_\pi}{W_\sigma + W_\pi}$	pg.556

Campo elettrico, intensità e potenza riflessi e rifratti per onda non polarizzata:	$R = \frac{W_r}{W_i} = \frac{I_r}{I_i} = \frac{1}{2}(R_\pi + R_\sigma)$	pg.556
	$T = \frac{W_t}{W_i} = \frac{I_t \cos \theta_t}{I_i \cos \theta_i} = \frac{1}{2}(T_\pi + T_\sigma)$	
	$P_R = \frac{W_\sigma^r - W_\pi^r}{W_\sigma^r + W_\pi^r} = \frac{r^2_\sigma - r^2_\pi}{r^2_\sigma + r^2_\pi}$	
	$P_T = \frac{W_\pi^t - W_\sigma^t}{W_\pi^t + W_\sigma^t} = \frac{t^2_\pi - t^2_\sigma}{t^2_\pi + t^2_\sigma}$	

Angolo di Brewster, ovvero angolo di annull. dell'onda riflessa per onda pol. rettilineamente nel piano di incidenza $\pi$ :	$tg \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \quad r_\pi = 0 \quad t_\pi = \frac{1}{tg \theta_B}$	pg.557
	$r_\sigma = \cos 2\theta_B \quad t_\sigma = 2 \cos^2 \theta_B$	
	$R_\pi = 0 \quad R_\sigma = r_\sigma^2 = \left( \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} \right)^2$	
	$T_\pi = 1 \quad T_\sigma = \left( \frac{2n_1 n_2}{n_1^2 + n_2^2} \right)^2$	

Legge di Snell per lamina di cristallo con asse ottico parallelo alla sup. e piano di incidenza ortogonale alla sez. principale:	$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_o} = n_o \quad \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_s} = n_s$	pg.566
--	---	--------

Legge di Malus, ovvero intensità di un'onda pol. rettilin. dopo un polarizz.:	$I_p = I_0 \cos^2 \theta$	pg.568
---	---------------------------	--------

Intensità di un'onda dopo un polarizzatore inclinato di $\alpha$ gradi rispetto all'asse y:	ellittica: $I = I_y + I_z \quad I_p = I_y \cos^2 \alpha + I_z \sin^2 \alpha$	pg.569
	circolare: $I = I_y = I_z \quad I_p = \frac{I}{2}$ indip. da $\alpha$	
	rett.: $I_y = I \cos^2 \theta \quad I_z = I \sin^2 \theta \quad I_p = I \cos^2(\theta - \alpha)$	
	non pol. (luce ordinaria): $I_y = I_z = \frac{I}{2} \quad I_p = \frac{I}{2}$	

Sfasamento introdotto dalle lamine di ritardo in generale, lamina quarto d'onda e lamina mezz'onda:	in generale: $\Delta\Phi = \Phi_s - \Phi_o = k(n_s - n_o)d$	pg.573
	quarto d'onda: $\Delta\Phi = (2m+1)\frac{\pi}{2} \quad d = \frac{\lambda(2m+1)}{4(n_s - n_o)}$	
	mezz'onda: $\Delta\Phi = (2m+1)\pi \quad d = \frac{\lambda(2m+1)}{2(n_s - n_o)}$	
	con $m=0,1,2,\dots$	

## INTERFERENZA:

Somma di due onde armoniche isofrequenziali (metodo dei fasori):	$\xi = \xi_1 + \xi_2 = A \cos(\omega t + \alpha) \quad \text{con}$	pg.579
	$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta} \quad \delta = \alpha_1 - \alpha_2$	
	$tg \alpha = \frac{A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin \alpha_2}{A_1 \cos \alpha_1 + A_2 \cos \alpha_2}$	
	$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$	

Interferenza tra 2 sorgenti isofreq. coerenti e sincrone (diff. di fase nulla):	<p>int. costr: <math>\Delta r = m\lambda</math>    int. distr: <math>\Delta r = (2m^1 + 1)\frac{\lambda}{2}</math></p> <p>con m e m<sup>1</sup> n° interi quals. Per r&gt;&gt;d si ha:</p> <p><math>\Delta r = d\text{sen}\theta</math>                      <math>I = 4I_1 \cos^2 \frac{\pi d\text{sen}\theta}{\lambda}</math></p> <p>int. costr: <math>\text{sen}\theta = m\frac{\lambda}{d}</math>                      <math>I_{\max} = 4I_1</math></p> <p>int. distr: <math>\text{sen}\theta = (2m^1 + 1)\frac{\lambda}{2d}</math>                      <math>I_{\min} = 0</math></p> <p>con m e m<sup>1</sup> limitati dalla presenza del seno.</p>	pg.582, 583
Esp. di Young, ovvero interferenza tra 2 sorgenti luminose distanti L>>d da uno schermo, in un mezzo con indice di rifraz. n:	<p><math>I = 4I_1 \cos^2 \frac{\pi dnx}{\lambda_0 L}</math>    int. costr: <math>x = m\frac{\lambda_0 L}{nd}</math></p> <p>x è la dist. del pt. di oss. dall'asse centrale    int. distr: <math>x = (2m^1 + 1)\frac{\lambda_0 L}{2nd}</math></p>	pg.589
Differenza di fase con cammino ottico:	$\delta = k_2 r_2 - k_1 r_1 = k_0(n_2 r_2 - n_1 r_1)$ nr= camm. ottico	pg.593
Posizione del pt. di convergenza dei raggi di una lente sottile convergente:	<p><math>f \cdot \text{tg}\theta = x</math>    dove f è la dist. focale, <math>\theta</math> è l'angolo del raggio incid. rispetto al piano focale, x è la dist. del pt. di converg. dal fuoco</p>	pg.593, 594
Interferenza tra N sorgenti isofreq. coerenti e sincrone (diff. di fase nulla):	<p><math>I(\theta) = I_1 \left( \frac{\text{sen} \frac{N\pi d\text{sen}\theta}{\lambda}}{\text{sen} \frac{\pi d\text{sen}\theta}{\lambda}} \right)^2</math>    dove I<sub>1</sub> è l'int. di una sorgente</p> <p>max principali: <math>\text{sen}\theta = m\frac{\lambda}{d}</math>    <math>I_{\max} = N^2 I_1</math></p> <p>minimi: <math>\text{sen}\theta = m^1 \frac{\lambda}{Nd}</math>    <math>I_{\min} = 0</math> con m' ≠ 0, N, 2N..</p> <p>max secondari: <math>\text{sen}\theta = (2m''+1)\frac{\lambda}{2Nd}</math> con m' ≠ 0, N-1, N, 2N-1, 2N..</p> <p><math>I_m = \frac{I_1}{\left[ \text{sen} \frac{(2m''+1)\pi}{2N} \right]^2}</math></p> <p>largh. ang. di un max principale: <math>\Delta(\text{sen}\theta) = \frac{2\lambda}{Nd}</math></p>	pg.597, 598, 599
Interferenza dei raggi riflessi da lamine sottili:	<p>con n<sub>1</sub> e n<sub>2</sub>: <math>\delta = \frac{4\pi n_2 d}{\lambda_0} + \pi</math></p> <p>Interf. costruttiva se: <math>d = (2m+1)\frac{\lambda_0}{4n_2}</math></p> <p>Interf. distruttiva se: <math>d = 2m'\frac{\lambda_0}{2n_2}</math></p> <p>con n<sub>1</sub> &lt; n<sub>3</sub> &lt; n<sub>2</sub> (strato antiriflettente): <math>\delta = \frac{4\pi n_3 d}{\lambda_0}</math></p> <p>Interf. costruttiva se: <math>d = m\frac{\lambda_0}{2n_3}</math></p> <p>Interf. distruttiva se: <math>d = (2m^1+1)\frac{\lambda_0}{4n_3}</math></p> <p>si ottiene un minimo di intensità quando: <math>n_3 = \sqrt{n_1 n_2}</math></p>	pg.602, 605

	onda diretta + riflessa: $s(x, t) = (2a \sin kx) \cos \omega t$	
	pos. nodi: $x = (2m + 1) \frac{\lambda}{4}$ pos. ventri: $x = m' \frac{\lambda}{2}$	
Onde stazionarie in una corda tesa:	estremi fissi: $L = m \frac{\lambda}{2}$ $v = \frac{v}{2L} m = v_1 m$	pg.613, 614
	estr. libero: $L = (2m + 1) \frac{\lambda}{4}$	
	$v = \frac{v}{4L} (2m + 1) = v_1 (2m + 1)$	

**DIFFRAZIONE:**

	int. costr: $\Delta r = m \lambda$ int. distr: $\Delta r = (2m' + 1) \frac{\lambda}{2}$	
	con m e m' n° interi quals. Tra 2 fend.: $\Delta r = \Delta y \sin \theta$	
	$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta y \sin \theta$ In totale: $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$	
Diffrazione ad una fenditura rettilinea:	$I = I_{\max} f^2(\theta) \left[ \frac{\sin \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}}{\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}} \right]^2$ dove $I_{\max}$ è l'int. nel centro	pg.632, 633, 634
	minimi: $\sin \theta = m \frac{\lambda}{a}$ $I_{\min} = 0$	
	massimi secondari: $\sin \theta = (2m' + 1) \frac{\lambda}{2a}$	
	largh. ang. del max principale: $\Delta(\sin \theta) = \frac{2\lambda}{a}$	
Diffrazione ad un foro circolare:	primo minimo: $\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$	pg.636
Potere risolutivo di una lente:	angolo min. tra 2 pt.: $\alpha_R = 1.22 \frac{\lambda}{D}$ pot. ris: $\rho = \frac{1}{\alpha_R}$	pg.638
Intensità ad un reticolo di diffrazione:	$I = I_0 \left[ \frac{\sin \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}}{\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}} \right]^2 \left[ \frac{\sin \frac{\pi N d \sin \theta}{\lambda}}{\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}} \right]^2$ dove $I_0$ è l'intensità di una sorgente a $\theta = 0$	pg.641
	cond. max di interf. = min di diff. $\frac{m \lambda}{d} = \frac{m' \lambda}{a}$	
Potere risolutivo e potere dispersivo di un reticolo:	$D = \frac{d \theta}{d \lambda} = \frac{m}{d \cos \theta_m}$ $R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m N$	pg.645, 646

**PROPRIETA' CORPUSCOLARI DELLA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA:**

Radiazione del corpo nero:	$\frac{\mathcal{E}_\lambda}{a_\lambda} = F(\lambda, T) = \mathcal{E}_{\lambda, cn}$ $\mathcal{E}_{cn} = \int_0^\infty \mathcal{E}_{\lambda, cn} d\lambda$ <p>Legge di Stefan-Boltzmann: <math>\mathcal{E}_{cn} = \sigma T^4</math></p> <p>Prima legge di Wien: <math>\lambda_{\max} T = k</math></p> <p>Seconda legge di Wien: <math>\mathcal{E}_{\lambda, cn, \max} = a T^5</math></p>	pg.693, 694
Effetto fotoelettrico:	$E_{k, \max} = eV_0$ $E_{k, \max} = h\nu - W_e \rightarrow V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_e}{e} \quad \nu_0 = \frac{W_e}{h}$	pg.699, 700
Energia nella relatività ristretta:	$U = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$	pg.702
Effetto Compton:	$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$	pg.704