

# Formulario di Fisica

Gianluca Parpanesi

2022/2023

## Prefazione

Questo formulario ha l'intenzione di fornire tutte le nozioni teoriche base ai fini di comprendere al meglio le formule qui riportate. Ogni argomento e ogni formula trattata sono precedute da una breve spiegazione teorica. Per chi desiderasse avere un riassunto conciso con le sole formule, può trovarlo in fondo al formulario.

## Argomenti trattati

Gli argomenti trattati in questo formulario si basano sul corso di Fisica frequentato a settembre 2022 della facoltà di Informatica. Gli argomenti trattati sono i seguenti:

- Meccanica Classica
  - Cinematica
  - Dinamica
  - Energia e Lavoro
  - Moto Armonico e Oscillazioni
- Gravitazione
- Fluidodinamica
- Termodinamica
- Magnetismo
- Elettrostatica
- Elettromagnetismo
- Circuiti

## Materiale di riferimento

Il libro adottato come riferimento per questo formulario è l'Halliday-Resnick Fondamenti di Fisica (Jearl Walker), Edizione 7, Casa Editrice Ambrosiana (Volume 1 e 2)

# Indice

<b>1</b>	<b>Cinematica</b>	<b>7</b>
1.1	Moto rettilineo uniforme . . . . .	7
1.2	Moto uniformemente accelerato . . . . .	7
1.3	Moto di un proiettile . . . . .	8
1.4	Moto circolare uniforme . . . . .	9
1.4.1	Moto Armonico . . . . .	10
1.5	Moto circolare uniformemente accelerato . . . . .	11
1.5.1	Tabelle di riepilogo . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Dinamica</b>	<b>13</b>
2.1	Principi della Dinamica - Leggi di Newton . . . . .	13
2.1.1	Prima Legge di Newton . . . . .	13
2.1.2	Seconda Legge di Newton . . . . .	13
2.1.3	Terza Legge di Newton . . . . .	13
2.2	Forza Elastica . . . . .	14
2.3	Carrucola . . . . .	14
2.4	Attrito Statico e Dinamico . . . . .	14
2.5	Resistenza di un corpo . . . . .	15
2.6	Lavoro . . . . .	15
2.6.1	Lavoro compiuto dalla Forza Gravitazionale . . . . .	15
2.6.2	Lavoro compiuto dalla Forza Elastica . . . . .	15
2.7	Energia Cinetica . . . . .	16
2.7.1	Teorema dell'Energia Cinetica . . . . .	16
2.7.2	Energia Cinetica del Moto Armonico Semplice . . . . .	17
2.8	Potenza . . . . .	17
2.8.1	Un altro sguardo alla Potenza . . . . .	17
2.9	Energia Potenziale . . . . .	17
2.9.1	Energia Potenziale Gravitazionale . . . . .	18
2.9.2	Energia Potenziale Elastica . . . . .	18
2.9.3	Energia Potenziale del Moto Armonico Semplice . . . . .	18
2.10	Energia Meccanica . . . . .	18

2.10.1	Principio di conservazione dell'Energia Meccanica . . .	19
2.11	Moto Armonico e Pendolo . . . . .	19
2.12	Momento Lineare . . . . .	20
2.13	Impulso . . . . .	20
2.14	Urti . . . . .	21
2.14.1	Urti Anaelastici . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Gravitazione</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Fluidostatica</b>	<b>25</b>
4.1	Pressione . . . . .	25
4.2	Densità . . . . .	25
4.3	Legge di Stevino . . . . .	25
4.4	Forza di Bouyant . . . . .	26
4.4.1	Oggetto totalmente sommerso . . . . .	26
4.4.2	Oggetto galleggiante . . . . .	26
4.5	Peso appartenente di un oggetto . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Fluidodinamica</b>	<b>28</b>
5.1	Equazione di Continuità . . . . .	28
5.2	Equazione di Bernoulli . . . . .	28
5.2.1	Sviluppo dell'Equazione . . . . .	29
5.2.2	Applicazione Teorema del Lavoro . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Termodinamica</b>	<b>31</b>
6.1	Principio Zero della Termodinamica . . . . .	31
6.2	Dilatazione Termica . . . . .	31
6.2.1	Dilatazione Lineare . . . . .	31
6.2.2	Dilatazione Volumica . . . . .	32
6.3	Calore . . . . .	32
6.3.1	Capacità Termica . . . . .	32
6.3.2	Calore Specifico . . . . .	32
6.3.3	Calore Latente . . . . .	32
6.4	Lavoro associato ad una variazione di Volume . . . . .	33
6.5	Primo Principio della Termodinamica . . . . .	33
6.5.1	Applicazioni del Primo Principio . . . . .	33
6.6	Conduzione, Convezione ed Irraggiamento . . . . .	34
6.6.1	Conduzione . . . . .	34
6.6.2	Convezione . . . . .	34
6.6.3	Irraggiamento . . . . .	35
6.7	Numero di Avogadro . . . . .	35

6.7.1	Massa molare . . . . .	35
6.7.2	Numero di moli . . . . .	35
6.8	Gas ideale o Gas perfetti . . . . .	35
6.8.1	Equazione di stato per i gas ideali DA VERIFICARE .	36
6.9	Pressione, temperatura e velocità molecolare . . . . .	36
<b>7</b>	<b>Elettrostatica</b>	<b>37</b>
7.1	Legge di Coulomb . . . . .	37
7.1.1	Principio di sovrapposizione . . . . .	37
7.1.2	Corrente elettrica . . . . .	37
7.1.3	La carica è quantizzata . . . . .	37
7.2	Campo Elettrico . . . . .	38
7.2.1	Principio di sovrapposizione . . . . .	38
7.2.2	Campo elettrico generato da una carica lineare . . . . .	38
7.3	Flusso di Campo Elettrico . . . . .	39
7.3.1	Caso 1: superficie piana e parallela con campo $E$ uni- forme . . . . .	39
7.3.2	Caso 2: superficie chiusa e campo $E$ uniforme . . . . .	39
7.4	Teorema di Gauss . . . . .	39
7.5	Potenziale Elettrico . . . . .	40
7.5.1	Energia Potenziale Elettrica . . . . .	40
7.6	Energia Meccanica . . . . .	41
7.7	Superfici Equipotenziali . . . . .	41
7.7.1	Calcolo di $V$ a partire da $E$ . . . . .	41

## Nozioni Generiche

- La velocità di un corpo è identificata come lo spostamento sul tempo :

$$v = \frac{dx}{dt}$$

- L'accelerazione di un corpo è identificata come la velocità sul tempo :

- 

$$a = \frac{dv}{dt}$$

- La massa non influisce sul tempo di caduta dovuto da un campo gravitazionale. Due oggetti con masse completamente diverse subiscono la stessa identica accelerazione.
- Una forza è conservativa se il Lavoro netto che una particella compie in un percorso chiuso è 0. In modo equivalente, una forza è conservativa se il Lavoro netto che compie una particella in movimento non dipende dal percorso che essa compie. La forza gravitazionale e la forza elastica sono forze conservative, l'attrito dinamico non è una forza conservativa.

**Prodotto tra vettori** Il prodotto tra due vettori può essere eseguito in due modi differenti: il primo tipo di prodotto dà origine ad uno scalare (prodotto scalare) mentre l'altro darà origine ad un vettore (prodotto vettoriale).

- **Prodotto scalare:** il prodotto scalare dei vettori  $a$  e  $b$  si scrive  $a \cdot b$  ed è definito dall'espressione

$$a \cdot b = ab \cos \Theta$$

dove  $a$  è il modulo del vettore  $\mathbf{a}$ ,  $b$  il modulo del vettore  $\mathbf{b}$  e  $\Theta$  è l'angolo formato dalle semirette equiverse su cui giacciono i due vettori.

- **Prodotto vettoriale:** il prodotto vettoriale dei vettori  $a$  e  $b$  si scrive  $a \times b$  ed è definito dall'espressione

$$a \times b = ab \sin \Theta$$

dove  $a$  è il modulo del vettore  $\mathbf{a}$ ,  $b$  il modulo del vettore  $\mathbf{b}$  e  $\Theta$  è il minore dei due angoli formati dalle semirette equiverse su cui giacciono i due vettori. La direzione del vettore risultante è **perpendicolare** al piano individuato da  $a$  e  $b$ .

# Capitolo 1

## Cinematica

### 1.1 Moto rettilineo uniforme

**Velocità** La velocità viene rappresentata da uno scalare:

$$v_x = k \text{ [m/s]} \quad (1.1)$$

**Velocità media** La velocità media viene rappresentata come un intervallo di uno spostamento su un intervallo di tempo:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (1.2)$$

**Velocità istantanea** detta anche semplicemente velocità di una particella, è definita come:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (1.3)$$

**Spostamento**

$$x(t) = x_i + v_x t \text{ [m]} \quad (1.4)$$

### 1.2 Moto uniformemente accelerato

**Accelerazione media** è il rapporto fra la variazione della velocità  $\Delta v$  che avviene in un intervallo di tempo  $\Delta t$ , definita come:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (1.5)$$

**Accelerazione istantanea** o semplicemente accelerazione, è la rapidità di variazione della velocità. Matematicamente si tratta della derivata seconda della posizione  $x(t)$  rispetto al tempo:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1.6)$$

**Spostamento**

$$x(t) = x_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2 \text{ [m]} \quad (1.7)$$

**Velocità finale**

$$v_f(t) = v_i + at \quad (1.8)$$

**Caso particolare** Per determinare il tempo possiamo effettuare la formula inversa dello spostamento. È possibile notare come il tempo non dipende dalla massa degli oggetti, ma dall'altezza e dalla forza di gravità. In assenza d'aria di conseguenza due oggetti con masse completamente diverse arrivano a terra allo stesso tempo!

$$t_c = \sqrt{\frac{2h}{g}} \text{ [s]} \quad (1.9)$$

## 1.3 Moto di un proiettile

Il moto di un proiettile è scomponibile lungo gli assi cartesiani in due moti ben distinti, agenti su un unico corpo:

- **Asse X:** moto rettilineo uniforme.
- **Asse Y:** moto rettilineo uniformemente accelerato.

Soffermandoci su questo ragionamento possiamo notare come la forza di gravità (accelerazione) agisca in modo costante lungo l'asse y effettuando un'accelerazione negativa (decelerazione) lungo questa componente del moto. Il moto dell'asse x invece non viene intaccato da nessun'altra forza (trascurando ovviamente l'attrito dell'aria).

**Equazioni del moto** (Per assi cartesiani)

$$\text{Moto : } \begin{cases} x(t) &= x_0 + v_{0x}t \\ y(t) &= y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases} \quad (1.10)$$

$$\text{Velocità : } v_f = v_0 + at \quad (1.11)$$



## 1.4 Moto circolare uniforme

Nel moto circolare uniforme agiscono 3 forze:

- Velocità tangenziale
- Accelerazione centripeta
- Accelerazione centrifuga

Le prime due sono forze fisiche reali, mentre la terza è chiamata forza apparente. Difatti la forza che ci fa sentire spinti verso l'esterno è data dalla nostra inerzia nel tendere a proseguire il nostro moto dritti, mentre l'accelerazione centripeta (sempre rivolta verso il centro della curva) ci tiene in traiettoria circolare. Questo accade perché ci troviamo in un sistema non inerziale: difatto se lanciassimo una pallina mentre ci troviamo all'interno di un moto circolare essa ci sembrerà allontanarsi da noi con una sua traiettoria, spinta da una forza (apparente) verso l'esterno. Vista da un osservatore posto al di fuori del moto (in un sistema inerziale) semplicemente la pallina proseguirà dritta nella sua traiettoria.

Analizziamo ora le formule del moto circolare uniforme:

**Velocità tangenziale** La velocità tangenziale è lo spazio percorso dal punto materiale in un intervallo di tempo:

$$v = \frac{2\pi r}{T} [m/s] \quad (1.12)$$

**Accelerazione centripeta** L'accelerazione centripeta è quella forza che mantiene un corpo in un moto circolare uniforme. Essa è sempre diretta verso il centro della circonferenza!.

$$a_c = \frac{v^2}{r} [m/s^2] \quad (1.13)$$

Come vedremo più avanti in questo formulario l'accelerazione è impressa da una forza agente sul corpo, descrivibile (tramite la Seconda Legge di Newton) come:

$$F_{accelerazione} = ma = m \frac{v^2}{r} \left[ N = \frac{Kg \cdot m}{s^2} \right] \quad (1.14)$$

**Periodo** Il tempo richiesto perché una particella completi una circonferenza è:

$$T = \frac{2\pi r}{v} \left[ N = \frac{Kg \cdot m}{s^2} \right] \quad (1.15)$$

### 1.4.1 Moto Armonico

Il moto circolare uniforme può essere scomposto in due moti sinusoidali sin e cos. Il moto circolare uniforme e quello uniformemente accelerato possono essere perfettamente paragonati al moto rettilineo uniforme e quello uniformemente accelerato. In questo caso  $\Theta$  è la nostra  $x$  mentre la velocità  $v$  diventa  $\omega$ .

Nel caso uniformemente accelerato l'accelerazione  $a$  diventa  $\alpha$ .

**Legge oraria (equazione del moto)** Essa descrive il moto del moto circolare uniforme, espresso come angolo in funzione del tempo:

$$\Theta = \Theta_0 + \omega t = \begin{cases} x(t) = R \cos \Theta(t) \\ y(t) = R \sin \Theta(t) \end{cases} = \begin{cases} x(t) = R \cos (\Theta_o + \omega t) \\ y(t) = R \sin (\Theta_o + \omega t) \end{cases} \quad (1.16)$$

**Velocità angolare** La velocità angolare è l'angolo percorso dal punto materiale in un intervallo di tempo:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (1.17)$$

Espressa in radianti al secondo.

**Velocità tangenziale** La velocità tangenziale è lo spazio percorso dal punto materiale in un intervallo di tempo:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \begin{cases} v_x = -R\omega \sin (\Theta_o + \omega t) \\ v_y = R\omega \cos (\Theta_o + \omega t) \end{cases} \quad (1.18)$$

Da notare come (per definizione) le equazioni della velocità non sono altro che la derivata ' dell'equazione del moto (Legge oraria)!

**Accelerazione centripeta** L'accelerazione centripeta è quella forza che mantiene un corpo in un moto circolare uniforme. Essa è sempre diretta verso il centro della circonferenza!.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \begin{cases} a_x = -R\omega^2 \cos(\Theta_o + \omega t) \\ a_Y = -R\omega^2 \sin(\Theta_o + \omega t) \end{cases} \quad (1.19)$$

Da notare come (per definizione) le equazioni dell'accelerazione non sono altro che la derivata " dell'equazione del moto (Legge oraria)!

## 1.5 Moto circolare uniformemente accelerato

Nel moto circolare uniformemente accelerato entra in gioco l'accelerazione totale come somma vettoriale dell'accelerazione centripeta e dell'accelerazione tangenziale. Di conseguenza l'equazione del moto sarà il sistema:

**Legge oraria (equazione del moto)**

$$\begin{cases} \Theta = \Theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \\ \omega = \omega_0 + \alpha t \end{cases} \quad (1.20)$$

### 1.5.1 Tabelle di riepilogo

Di seguito sono riportate due tabelle contenenti un riepilogo delle formule (comprese le formule inverse) sia del Moto circolare uniforme 1.1 che del Moto circolare uniformemente accelerato 1.2.

Velocità tangenziale	Velocità angolare	Frequenza e periodo	Accelerazione centripeta
$v = \frac{s}{t}$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$	$f = \frac{1}{T}$	$a_c = \frac{v^2}{r}$
$v = \frac{2\pi r}{T}$	$\omega = 2\pi f$	$T = \frac{1}{f}$	$a_c = \omega^2 r$
$r = \frac{vT}{2\pi}$	$T = \frac{2\pi}{\omega}$		$v = \sqrt{a_c r}$
$T = \frac{2\pi r}{v}$	$v = \omega r$		$r = \frac{v^2}{a_c}$
	$\omega = \frac{v}{r}$		$\omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}}$
	$r = \frac{v}{\omega}$		$r = \frac{a_c}{\omega^2}$

Figura 1.1: Formule del Moto circolare uniforme

Tipo di formula	Formula per il MCUA
Accelerazione totale	$\vec{a}_{tot} = \vec{a}_T + \vec{a}_C$
Modulo accelerazione totale	$a_{tot} = \sqrt{a_T^2 + a_C^2}$
Modulo <b>accelerazione tangenziale</b>	$a_T = \alpha r$
<b>Accelerazione angolare</b>	$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_f - t_i}$
Legge oraria con $t_0 = 0$	$\theta = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t + \theta_0$
<b>Velocità angolare</b>	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
Equazione senza il tempo	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$

Figura 1.2: Formule del Moto circolare uniformemente accelerato

# Capitolo 2

## Dinamica

### 2.1 Principi della Dinamica - Leggi di Newton

#### 2.1.1 Prima Legge di Newton

Se la somma delle forze che agiscono su un corpo è nulla, allora il corpo in quiete rimarrà in quiete, mentre se è in moto, continuerà a muoversi di moto rettilineo uniforme.

#### 2.1.2 Seconda Legge di Newton

La forza agente su un corpo è direttamente proporzionale all'accelerazione e ne condivide la direzione e il verso, ed è direttamente proporzionale alla massa. Di contro l'accelerazione cui è soggetto il corpo è direttamente proporzionale alla forza e inversamente proporzionale rispetto alla massa.

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \left[ N = \frac{Kg \cdot m}{s^2} \right] \quad (2.1)$$

#### 2.1.3 Terza Legge di Newton

Se un corpo A esercita una forza su un corpo B, allora il corpo B esercita su A una forza uguale e contraria.

$$F_{ab} = -F_{ba} \quad (2.2)$$

Attenzione! Le forze hanno modulo uguale ma con segno vettoriale opposto!

## 2.2 Forza Elastica

La forza elastica di un corpo (o di una molla) è descritta dalla Legge di Hook nel seguente modo:

$$F = -kx \quad (2.3)$$

Dove  $-k$  è chiamata **costante elastica** ed è una misura della rigidità della molla. Maggiore è  $k$ , più rigida è la molla: cioè maggiore è  $k$ , maggiore sarà la forza per uno stesso valore di spostamento.

## 2.3 Carrucola

Le forze agenti su due corpi collegati in un sistema a carrucola (se aventi masse diverse) sono sempre una l'opposta dell'altra.

$$\begin{cases} F_{y1} = T - m_1g \\ F_{y2} = m_2g - T \end{cases} \quad (2.4)$$

In questo caso si considera  $m_2 > m_1$  e con un sistema di riferimento verticale. Si considera infatti un sistema a carrucola con forze agenti solo sull'asse  $y$  e con forze nulle sull'asse  $x$ . Nel caso in cui la carrucola non sia orientata unicamente lungo l'asse  $y$  basterà scomporre la forza lungo gli assi di riferimento!

## 2.4 Attrito Statico e Dinamico

La forza di attrito è una forza che agisce in direzione opposta allo spostamento (opponendosi al movimento). La forza di attrito può agire in due modi differenti:

- **Attrito statico:** agente quando il corpo è fermo, impedendo lo spostamento iniziale.
- **Attrito dinamico:** agente da quando il corpo ha appena compiuto lo spostamento iniziale ed è in movimento.

Le formule sono per l'attrito statico:

$$f_{s,max} = \mu_s F_N \left[ N = \frac{Kg \cdot m}{s^2} \right] \quad (2.5)$$

Mentre per quello dinamico:

$$f_k = \mu_k F_N \left[ N = \frac{Kg \cdot m}{s^2} \right] \quad (2.6)$$

## 2.5 Resistenza di un corpo

Quando un corpo solido si muove all'interno di un fluido, ad esso si oppone una forza contraria chiamata resistenza  $D$  la quale farà raggiungere al corpo una velocità massima:

$$D = \frac{1}{2}CA\rho v^2 \quad (2.7)$$

Con:

- $C$  : Coefficiente di resistenza aerodinamica.
- $A$  : Area efficace della sezione trasversale del corpo.
- $\rho$  : densità dell'aria
- $v$  : velocità.

## 2.6 Lavoro

Si applichi una forza  $F$  ad un oggetto per spostarlo. La Forza sarà tanto efficace ad ottenere uno spostamento **tanto più è applicata nella stessa direzione dello spostamento**.

$$W = Fd = Fd \cos \Theta \left[ J = N \cdot m = \frac{Kg \cdot m^2}{s^2} \right] \quad (2.8)$$

### 2.6.1 Lavoro compiuto dalla Forza Gravitazionale

Il Lavoro svolto dalla Forza Gravitazionale ovviamente è descritto come  $Fd$ , per un corpo che sale la  $F_g$  è diretta in senso opposto allo spostamento formando un angolo  $\Theta$  di  $180^\circ$ .

$$F = mgd \cos \Theta = mgd \cos 180 = -mgd \quad (2.9)$$

Mentre nel momento in cui un corpo cade, la  $F_g$  avrà stessa direzione dello spostamento (verso il basso), conferendo un segno positivo al Lavoro.

### 2.6.2 Lavoro compiuto dalla Forza Elastica

La Forza Elastica non è una forza costante e di conseguenza non possiamo utilizzare la classica equazione del Lavoro (per una forza costante). Possiamo però suddividere lo spostamento della molla in parti infinitesime in modo da

avere forze infinitesime per ogni spostamento infinitesimo, facendo risultare così la forza infinitesima costante su uno spostamento infinitesimo. Integrando questa operazione otterremo così la formula del lavoro per la Forza Elastica (e in generale per una forza non costante!).

$$\begin{aligned}
 W_{molla} &= \int_{x_f}^{x_i} -F dx \\
 W &= \int_{x_f}^{x_i} -kx dx \\
 W &= -k \int_{x_f}^{x_i} x dx \\
 &= \left(-\frac{1}{2}k\right) \left[x^2\right]_{x_f}^{x_i} \\
 &= \left(-\frac{1}{2}k\right)(x_f^2 - x_i^2) \\
 W_m &= \frac{1}{2}kx_i^2 - \frac{1}{2}kx_f^2 [J]
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

Il Lavoro  $W_m$  è positivo quando il blocco si avvicina alla posizione di riposo  $x = 0$  ed è negativo quando se ne allontana. Il Lavoro è nullo se la distanza finale da  $x = 0$  non è mutata.

## 2.7 Energia Cinetica

Rappresenta la quantità di energia associata al moto di una particella (corpo puntiforme) che si muove alla velocità  $v$ .

$$K = \frac{1}{2}mv^2 [J] \tag{2.11}$$

Il lavoro fatto su una particella è uguale a  $\Delta K$ . L'energia cinetica (e la velocità) aumentano se il lavoro svolto è positivo, mentre diminuiscono se il lavoro svolto è negativo.

### 2.7.1 Teorema dell'Energia Cinetica

Chiamiamo  $\Delta K$  la variazione di Energia Cinetica del corpo e  $L$  il Lavoro totale compiuto su di esso. Allora possiamo scrivere:

$$\Delta K = K_f - K_i = W \tag{2.12}$$



### 2.7.2 Energia Cinetica del Moto Armonico Semplice

Si consideri un sistema molla-blocco, nel caso senza attriti, possiamo visualizzare il suo andamento come un'oscillazione armonica e descrivere la sua Energia Cinetica come:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\Theta + \omega t) \quad (2.13)$$

## 2.8 Potenza

Se una forza esterna è applicata ad un oggetto e se il Lavoro è fatto in un intervallo di tempo, definiamo **potenza**:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \left[ W \text{ Watt} = \frac{J}{s} = \frac{Kg \cdot m^2}{s^2} \cdot \frac{1}{s} = \frac{Kg \cdot m^2}{s^3} \right] \quad (2.14)$$

### 2.8.1 Un altro sguardo alla Potenza

La Potenza Istantanea può essere espressa derivando la formula della Potenza (ovviamente!). Di conseguenza possiamo scrivere la potenza come:

$$P = \frac{dL}{dt} = \frac{F \cos \Theta dx}{dv} = F \cos \Theta \left( \frac{dx}{dt} \right)$$

Ma sappiamo benissimo che  $\frac{dx}{dv}$  non è altro che la definizione di velocità. Possiamo quindi riscriverla in modo più semplice:

$$P = Fv \cos \Theta$$

Ovvero il **prodotto scalare** tra  $F$  e  $v$  (dove  $v$  è la velocità della particella). Possiamo quindi scrivere che la Potenza Istantanea di una paricella a velocità  $v$  non è altro che:

$$P = F \cdot v \quad (2.15)$$

## 2.9 Energia Potenziale

Se la configurazione di un sistema cambia, allora cambierà anche la sua Energia potenziale. Quando un oggetto si trova ad una certa distanza dal suolo, il sistema terra-oggetto ha un'energia potenziale che si trasforma in lavoro. L'Energia Potenziale è associata con la configurazione del sistema nel quale

le forze conservative agiscono. Quando una forza conservativa compie lavoro  $W$  su una particella (corpo) del sistema, il cambiamento  $\Delta U$  dell'energia potenziale del sistema è definito come:

$$\Delta U = -W [J] \quad (2.16)$$

### 2.9.1 Energia Potenziale Gravitazionale

L'energia potenziale in un sistema composto dalla terra e dalla particella (corpo) è chiamata Energia Potenziale Gravitazionale. Se la particella si muove da un'altezza iniziale  $y_i$  ad una finale  $y_f$ , il cambiamento dell'Energia Potenziale Gravitazionale è definito come:

$$\Delta U = mg(y_f - y_i) = mg\Delta y \quad (2.17)$$

Se considerassimo come punto di arrivo un'altezza  $h = 0$ , allora l'Energia Potenziale gravitazionale può essere riscritta come:

$$\Delta U = mgh \quad (2.18)$$

Dove  $h$  è l'altezza dalla quale il corpo cade.

### 2.9.2 Energia Potenziale Elastica

L'energia Potenziale Elastica è l'energia associata allo stato di compressione o estensione di un oggetto elastico (molla). Per una molla con una forza definita come  $F = -kx$ , l'Energia Potenziale Elastica sarà definita come:

$$U(x) = \frac{1}{2}kx^2 \quad (2.19)$$

### 2.9.3 Energia Potenziale del Moto Armonico Semplice

L'energia Potenziale Elastica di un oscillatore armonico, immagazzinata dalla molla a seguito di un allungamento  $x$  è:

$$U = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\Theta + \omega t) \quad (2.20)$$

## 2.10 Energia Meccanica

La somma dell'Energia Cinetica e dell'Energia Potenziale è detta Energia Meccanica, definita come:

$$E_m = K + U \quad (2.21)$$

### 2.10.1 Principio di conservazione dell'Energia Meccanica

Quando in un sistema isolato agiscono solo forze conservative, l'Energia Cinetica e l'Energia Potenziale prese singolarmente possono variare, ma la loro somma, l'Energia Meccanica  $E_m$  del sistema non cambia. Questo risultato è chiamato principio di conservazione dell'Energia Meccanica esprimibile nel seguente modo:

$$\Delta E_m = \Delta K + \Delta U = 0 \quad (2.22)$$

Il principio di conservazione dell'Energia Meccanica ci permette di risolvere problemi che sarebbe arduo risolvere usando solo le Leggi di Newton. Quando l'Energia Meccanica di un sistema si conserva, possiamo mettere in relazione il totale dell'Energia Cinetica e dell'Energia Potenziale in un istante con quello di un altro istante, *senza dover considerare gli stati intermedi e senza necessità di conoscere il lavoro compiuto dalle forze coinvolte!*

**Principio esteso** La variazione dell'Energia Meccanica è uguale al lavoro svolto dalle Forze non conservative:

$$\Delta E_m = W_{nc} \quad (2.23)$$

## 2.11 Moto Armonico e Pendolo

L'oscillatore armonico può essere rappresentato da un sistema molla-blocco il quale oscillando descrive un moto circolare uniforme. Le equazioni del moto sono state descritte in precedenza (1.4.1) durante il moto circolare uniforme.

$$x(t) = A \cos(\Theta_0 + \omega t) \quad (2.24)$$

ma con:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ricordando l'equazione dei un sistema molla-blocco:

$$F = -kx$$

**Il pendolo** Il pendolo può essere descritto tramite il Moto Circolare Uniformemente Accelerato, considerando la lunghezza del filo inestensibile come il raggio della circonferenza. In questo caso abbiamo:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

## 2.12 Momento Lineare

Per una singola particella definiamo una quantità vettoriale  $p$  chiamata **momento lineare** o *quantità di moto*:

$$p = mv \left[ Kg \cdot \frac{m}{s} \right] \quad (2.25)$$

**Connessione con la II Legge di Newton** Deriviamo il Momento Lineare rispetto al tempo. La derivata della quantità di moto di un punto materiale di massa  $m$  è uguale alla risultante della forza applicata.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = ma$$

$$\frac{dm}{dt}v + m\frac{dv}{dt} = ma$$

Ma la massa rimane costante nel tempo, quindi la derivata sarà 0.

$$m\frac{dv}{dt} = ma = \sum F$$

$$\sum F = 0 \implies p = \text{cost}$$

**Legge di conservazione del momento lineare** Quando due o più particelle di un sistema isolato interagiscono, il momento lineare totale del sistema resta **costante**.

## 2.13 Impulso

Applicando al *momento lineare* la Seconda Legge di Newton ad un corpo puntiforme che subisce un urto, si ricava il **Teorema dell'Impulso**:

$$I = \Delta p \quad (2.26)$$

**Significato** L'impulso della forza che agisce su una particella è uguale al  $\Delta$  del momento lineare della particella determinato dalla forza. L'impulso non è una caratteristica della particella, bensì una misura della modifica del momento lineare da parte di una forza esterna. Se  $F$  è l'intensità di una forza e  $\Delta t$  la durata della collisione, allora l'Impulso può essere descritto nel seguente modo:

$$I = F\Delta t \quad (2.27)$$

**Connessione con il Momento Lineare** Sia una forza  $F = F(t)$  agente su una particella. Applicando la II Legge di Newton:

$$F = \frac{dp}{dt} \implies dp = F dt$$

$$\Delta p = p_f - p_i = \int_{t_f}^{t_i} F dt = I$$

## 2.14 Urti

Gli urti accadono frequentemente nella vita quotidiana e possono essere caratterizzati in due differenti tipi:

- **Urti elastici:** Se nell'urto tra due corpi l'Energia Cinetica totale del sistema non cambia ma si conserva completamente.
- **Urti anaelastici:** L'Energia Cinetica non si conserva ma parte viene dispersa in calore o suono (ad esempio).

### 2.14.1 Urti Anaelastici

La collisione anaelastica comporta sempre una perdita di Energia Cinetica del sistema. La massima perdita si ha quando i corpi si incollano insieme, in questo caso l'urto prenderà il nome di **urto completamente anaelastico**. Un urto anaelastico può essere descritto tramite la seguente formula:

$$p_{1,i} + p_{2,i} = p_{1,f} + p_{2,f} \quad (2.28)$$

ovvero:

$$m_1 v_{1,i} + m_2 v_{2,i} = m_1 v_{1,f} + m_2 v_{2,f}$$

Nel caso di un **urto completamente anaelastico** uno dei due corpi sarà inizialmente fermo (prendendo il nome di bersaglio). Dopo la collisione proseguiranno attaccati con una velocità  $V$ . Definiamo quindi l'equazione di un

urto di questa tipologia:

$$m_1 v_{1,i} = (m_1 + m_2) V \quad (2.29)$$

Abbiamo analizzato gli urti in una singola dimensione. In caso di urti in due dimensioni le considerazioni appena fatte non cambiano. L'unica cosa da aggiungere è la scomposizione lungo gli assi della velocità!

## Capitolo 3

### Gravitazione

Date due masse separate da una distanza  $r$ , l'ampiezza delle forze è data dalla seguente formula:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \left[ \frac{m^3}{Kg \cdot s^2} \cdot \frac{Kg^2}{m^2} = \text{da controllare} \right] \quad (3.1)$$

Dove  $G$  è la costante di gravitazione universale:

$$G = 6,673^{-11} \left[ \frac{m^3}{Kg \cdot s^2} \right]$$

**Energia Potenziale Gravitazionale** Cerchiamo l'Energia Potenziale Gravitazionale generica determinata dalla legge di gravitazione universale. Precedentemente (2.9.1) abbiamo considerato la particella di massa  $m$  vicino alla superficie terrestre, così da rendere costante la forza di gravità. Per particelle che non si trovano sulla superficie terrestre l'energia potenziale gravitazionale decresce col diminuire della distanza tra la particella e la Terra. Qui consideriamo due particelle separate da una distanza  $R$ . Per rendere  $U = 0$  ci

mettiamo nella condizione di  $r = \infty$  in modo da semplificare i conti.

$$\begin{aligned}
 \Delta U_g &= U_f - U_i = -W_g \\
 &= - \int_R^\infty F(r) dr \\
 &= \int_R^\infty GMm \frac{1}{r^2} dr \\
 &= GMm \left[ -\frac{1}{r} \right]_R^\infty \\
 &= GMm \left( \frac{1}{\infty} - \frac{1}{R} \right) \\
 &= GMm \left( 0 - \frac{1}{R} \right) \\
 \Delta U_g &= \frac{-GMm}{R} \tag{3.2}
 \end{aligned}$$

Questa è la formula per l'energia potenziale gravitazionale del sistema Terra-Particella per  $r \geq R_t$ . Non vale per un raggio inferiore a quello terrestre. L'espressione può essere applicata a qualunque delle masse separate da una distanza  $r$ . L'Energia Potenziale è sempre negativa, perché abbiamo posto che sarà  $= 0$  a distanza infinita.

**Velocità di Fuga** Un oggetto sfuggerà all'attrazione gravitazionale di un corpo astronomico di massa  $M$  e raggio  $r$  se la sua velocità in vicinanza della superficie del corpo sarà non inferiore alla velocità di fuga data dalla seguente formula:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \tag{3.3}$$



# Capitolo 4

## Fluidostatica

### 4.1 Pressione

Le forze esercitate da un fluido su un'oggetto sono sempre **perpendicolari** alla superficie. Se  $F$  è il modulo della forza esercitata e  $A$  la superficie sulla quale essa agisce, definiamo *pressione*  $P$  il seguente rapporto:

$$p = \frac{F}{A} \left[ Pa \text{ Pascal} = \frac{Kg}{m \cdot s^2} \right] \quad (4.1)$$

È uno scalare, proporzionale al modulo della forza.

### 4.2 Densità

La densità di una sostanza è uno scalare definito come rapporto tra massa e volume:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \quad (4.2)$$

Se  $\rho$  è costante, il liquido preso in considerazione è incompressibile.

### 4.3 Legge di Stevino

La pressione di un fluido a riposo in un campo gravitazionale uniforme varia con la quota verticale  $y$ . Assegnando valori positivi all'orientamento verso l'alto, si ha:

$$p_2 = p_1 + \rho g(y_1 - y_2)$$

Chiamiamo  $h$  la profondità di un campione in un fluido misurata a partire da un livello di riferimento a cui la pressione assume un valore  $p_0$ , la precedente equazione diventa:

$$p = p_0 + \rho gh \quad (4.3)$$

In cui  $p$  è la pressione alla profondità  $h$ . La pressione è la stessa per tutti i punti allo stesso livello.

## 4.4 Forza di Bouyant

Un oggetto immerso in un fluido è soggetto ad una forza esercitata dal liquido, diretta dal basso verso l'alto, tale forza è detta di Bouyant o di galleggiamento. Il *Principio di Archimede* ci indica l'intensità di questa forza: essa è uguale al peso del liquido spostato.

$$F_{archimede} = m_{liquido}g \quad (4.4)$$

$$F_a = (\rho V)g \quad (4.5)$$

### 4.4.1 Oggetto totalmente sommerso

Se l'oggetto ha massa  $M$ , e densità  $\rho_0$ , il suo peso è:

$$F_g = M_g = (\rho_0 V_0)g \quad (4.6)$$

Se la densità dell'oggetto è  $<$  di quella del fluido, la forza gravitazionale è inferiore a quella di galleggiamento, di conseguenza l'oggetto verrà accelerato verso l'alto. In caso contrario affonderà.

### 4.4.2 Oggetto galleggiante

Sia l'oggetto di volume  $V_0$ , in equilibrio nel fluido e galleggiante, cioè parzialmente sommerso. Ciò significa che la forza di galleggiamento verso l'alto è **bilanciata** dalla forza di gravità agente verso il basso.

$$F_a = F_g : \begin{cases} F_a &= (\rho_f V_f)g \\ F_g &= M_g = (\rho_0 V_0)g \end{cases} \quad (4.7)$$

$F_a = F_g$  perché l'oggetto è in equilibrio.

## 4.5 Peso apparente di un oggetto

Si consideri un oggetto con un determinato peso (forza peso!). Ripetiamo l'operazione sott'acqua o più in generale all'interno di un fluido: il peso sarà minore a causa della spinta di galleggiamento:

$$P_{app} = P - F_a \quad (4.8)$$

**Caso particolare!** Per un corpo galleggiante ricordiamo che la forza di galleggiamento  $F_a$  è uguale alla forza peso  $F_g$ , di conseguenza il peso apparente dell'oggetto sarà **nullo**!

# Capitolo 5

## Fluidodinamica

Un fluido ideale è un fluido incompressibile; non ha viscosità e il suo flusso è laminare e irrotazionale. Una *linea di flusso* è il cammino seguito da una singola particella di fluido. Un *tubo di flusso* è un fascio di linee di flusso.

### 5.1 Equazione di Continuità

Il principio di conservazione della massa impone che il flusso attraverso ogni tubo di flusso obbedisca all'Equazione di Continuità.

$$R_v = Av = \text{cost} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (5.1)$$

$R_v$  prende il nome di **portata volumica**, con  $A$  la sezione del tubo in un qualsiasi punto e  $v$  la velocità del fluido. Sappiamo che la massa di un fluido è data dalla seguente equazione:

$$m = \rho V$$

Quindi moltiplicando la Portata Volumica per la densità del fluido otterremo la **portata massica**, definita come:

$$R_m = \rho R_v = \rho Av = \text{cost} \quad (5.2)$$

### 5.2 Equazione di Bernoulli

Essa ci permette di connettere la pressione, la velocità e l'altezza di un liquido. Supponiamo che in un intervallo di tempo  $\Delta t$  una certa quantità di liquido sia entrata da sinistra (in un tubo di flusso) e la stessa quantità

sia uscita a destra (ricordiamoci che il liquido è incompressibile). Sappiamo inoltre dal Principio di Pascal (pressione!) che la  $F$  esercitata dal fluido a sinistra sarà:

### 5.2.1 Sviluppo dell'Equazione

$$F_1 = p_1 A_1$$

Mentre a destra sarà:

$$F_2 = p_2 A_2$$

Il Lavoro  $W$  fatto quindi sarà:

$$\begin{aligned} W_1 &= F_1 \Delta x_1 = p_1 A_1 \Delta x_1 \cos 0 \\ W_2 &= F_2 \Delta x_2 = p_2 A_2 \Delta x_2 \cos 180 \end{aligned}$$

Il secondo lavoro ha segno negativo siccome la forza gravitazionale ha verso opposto alla massa del fluido in salita!

Il lavoro totale quindi sarà:

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 \\ &= p_1 A_1 \Delta x_1 - p_2 A_2 \Delta x_2 \\ &= (p_1 - p_2) V \\ W &= (p_1 - p_2) V \end{aligned}$$

### 5.2.2 Applicazione Teorema del Lavoro

Ricordiamo inoltre il teorema del lavoro: il lavoro di una forza esterna su un sistema è uguale a  $\Delta E_{mecc}$ . Una parte del lavoro effettuato fa cambiare l'energia cinetica del liquido mentre l'altra fa cambiare l'energia potenziale.

$$\begin{aligned} W &= \Delta K + \Delta U \\ (p_1 - p_2) V &= \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 + m g y_2 - m g y_1 \\ &= \frac{1}{2} \rho V v_2^2 - \frac{1}{2} \rho V v_1^2 + \rho V g y_2 - \rho V g y_1 \\ (p_1 - p_2) &= \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_2 - \rho g y_1 \\ &= p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 = \text{cost} \end{aligned}$$

Quindi:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 = \text{cost} \quad (5.3)$$

In un fluido a flusso laminare, la somma della pressione, dell'Energia Cinetica per unità di Volume e dell'Energia Potenziale gravitazionale per unità di Volume è **costante**.

# Capitolo 6

## Termodinamica

La temperatura è una grandezza fondamentale legata alla nostra sensazione di caldo-freddo. Nel SI la temperatura si misura in Kelvin  $K$ . La temperatura  $T$  quindi assume il seguente valore:

$$T = 273,16 [K]$$

**Conversione da Fahrenheit a Celsius** La quantità corrispondente a 1 grado della scala Celsius è equivalente a quella della scala Kelvin, ma lo zero della prima è spostato a un valore più comodo. Se  $t_c$  rappresenta una data temperatura Celsius, allora:

$$T_c = T - 273,15^\circ \quad (6.1)$$

### 6.1 Principio Zero della Termodinamica

Se due corpi  $A$  e  $B$  si trovano in equilibrio termico con un terzo corpo  $T$ , allora sono in reciproco equilibrio termico.

### 6.2 Dilatazione Termica

#### 6.2.1 Dilatazione Lineare

Tutti gli oggetti cambiano dimensioni al variare della temperatura. La variazione  $\Delta l$  di qualsiasi dimensione lineare  $l$  è data da:

$$\Delta l = \alpha l \Delta T \quad (6.2)$$

Nella quale  $\alpha$  è il **coefficiente di dilatazione lineare**.

### 6.2.2 Dilatazione Volumica

La variazione  $\Delta V$  nel volume di un solido o di un liquido è:

$$\Delta V = \beta V \Delta T \quad (6.3)$$

dove  $\beta = 3\alpha$  è il **coefficiente di dilatazione volumica** della sostanza.

## 6.3 Calore

Il calore  $Q$  è l'energia che viene trasferita tra un sistema e il suo ambiente a causa della differenza di temperatura tra di essi. Può essere misurato in **calorie** (*cal*) o in **Joule** (*J*), dove:

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

### 6.3.1 Capacità Termica

È la costante di proporzionalità tra il calore somministrato e la variazione di temperatura indotta:

$$Q = C\Delta T = C(T_2 - T_1) \quad (6.4)$$

dove  $C$  è la **capacità termica** dell'oggetto.

### 6.3.2 Calore Specifico

Due oggetti dello stesso materiale hanno capacità termiche proporzionali alla massa. È utile definire quindi una capacità termica  $c$  per unità di massa, che si riferisce non all'oggetto specifico, ma alla massa unitaria di cui il materiale è fatto:

$$Q = cm\Delta T \implies c = \frac{Q}{m\Delta T} \left[ \frac{J}{K \cdot Kg} \right] \quad (6.5)$$

### 6.3.3 Calore Latente

La materia si presenta in tre diversi stati fisici: solida, liquida e gassosa. Il calore fornito a una sostanza può cambiare lo stato fisico della sostanza stessa, per esempio, da solida a liquida o da liquida a gassosa. La quantità di calore richiesta per unità di massa di una determinata sostanza è il **calore latente**  $L$ , perciò:

$$Q = Lm \implies L = \frac{Q}{m} \quad (6.6)$$



Il **calore latente di evaporazione**  $L_v$  è la quantità di energia per unità di massa che deve essere fornita per far evaporare un liquido o che deve essere **sottratta** per liquefare un gas. Il **calore latente di fusione**  $L_f$  è la quantità di energia per unità di massa che deve essere fornita per fondere un solido o che deve essere sottratta per solidificare un liquido.

## 6.4 Lavoro associato ad una variazione di Volume

Un sistema può anche scambiare energia con il suo ambiente attraverso il lavoro. La quantità di lavoro  $W$  compiuto *da* un sistema quando si espande o quando si riduce da un volume iniziale  $V_i$  a un volume finale  $V_f$  può essere calcolata con:

$$L = \int_{V_i}^{V_f} dL = \int_{V_i}^{V_f} p dV \quad (6.7)$$

L'integrazione è necessaria perché la pressione  $p$  può cambiare durante la variazione del volume.

## 6.5 Primo Principio della Termodinamica

Il principio di conservazione dell'energia per una campione di sostanza che scambia energia con l'ambiente circostante per mezzo di lavoro e calore è espresso nel **primo principio della termodinamica**, che può assumere le due forme:

$$\Delta E_{int} = E_{int,f} - E_{int,i} = \Delta Q - \Delta W \quad (6.8)$$

$$dE_{int} = dQ - dW \quad (6.9)$$

$E_{int}$  rappresente l'energia interna della sostanza, che dipende solo dal suo stato (temperatura, pressione e volume).  $Q$  rappresenta il calore scambiato dal sistema con l'ambiente;  $Q$  è positivo se il sistema acquista calore e negativo se il sistema perde calore.  $W$  è il lavoro compiuto *dal* sistema;  $L$  è positivo se il sistema si espande contro una qualche forza esterna esercitata dall'ambiente, e negativo se il sistema si contrae a causa di una forza esterna. Sia  $Q$  sia  $W$  dipendono dal percorso seguito  $\Delta E_{int}$  no!

### 6.5.1 Applicazioni del Primo Principio

Il primo principio della termodinamica trova applicazione in numerosi casi particolari, tra cui:

- *Trasformazioni Adiabatiche:*  $Q = 0 \implies \Delta E_{int} = -\Delta W$
- *Trasformazioni Isocore (volume costante):*  $W = 0 \implies \Delta E_{int} = \Delta Q$
- *Trasformazioni Cicliche:*  $\Delta E_{int} = 0 \implies \Delta Q = \Delta W$
- *Trasformazioni ad Espansione Libera:* si tratta di trasformazioni adiabatiche nelle quali non viene compiuto alcun lavoro sul sistema o da parte di esso. Ad esempio se abbiamo due contenitori collegati isolati dall'esterno. Nel primo c'è un gas mentre il secondo è vuoto. Nel momento in cui apriamo il rubinetto che collega i due, il gas inizia ad occupare lo spazio vuoto ma non cambiando calore non compie lavoro (siccome ci troviamo in un sistema isolato), inoltre, la sua espansione non è contrattata da alcuna pressione. Siamo quindi nella seguente situazione:  $\Delta Q = \Delta L = 0 \implies \Delta E_{int} = 0$

## 6.6 Conduzione, Convezione ed Irraggiamento

Sono tre tipi di trasmissione del calore, ognuno funzionante in modo differente dall'altro. Analizziamoli nel dettaglio.

### 6.6.1 Conduzione

La conduzione avviene mediante il contatto tra due superfici. La conduzione di calore  $P_c$  su unità di tempo, attraverso una lastra le cui superfici sono mantenute alle temperature  $T_1$  e  $T_2$  è:

$$P_c = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{l} \quad (6.10)$$

Dove  $A$  e  $l$  sono l'area e la lunghezza della lastra e  $k$  è la conducibilità termica del materiale. Grandi valori di  $k$  indicano ottimi conduttori termici.

**Resistenza termica alla conduzione** La resistenza termica  $R$  per una lastra di spessore  $l$  è definita come:

$$R = \frac{l}{k} \quad (6.11)$$

### 6.6.2 Convezione

La convezione ha luogo quando le differenze di temperatura causano il moto che trasferisce calore all'interno di un fluido.

### 6.6.3 Irraggiamento

L'irraggiamento è il trasferimento di calore attraverso l'emissione e l'assorbimento di energia elettromagnetica. La potenza  $P_r$  irraggiata da un oggetto è:

$$P_r = \sigma \epsilon A T^4 \quad (6.12)$$

Dove  $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} [\frac{W}{m^2 \cdot K^4}]$  è la costante di Stefan-Boltzmann,  $\epsilon$  è l'emittanza caratteristica della superficie,  $A$  è l'area irraggiante e  $T$  la temperatura superficiale in Kelvin. La potenza  $P_a$  che un oggetto assorbe per via radiativa dell'ambiente a temperatura uniforme  $T_{amb}$  (in Kelvin) è:

$$P_a = \sigma \epsilon A T_{amb}^4 \quad (6.13)$$

## 6.7 Numero di Avogadro

Una mole di una sostanza contiene  $N_a$  (*numero di Avogadro*) unità elementari (generalmente atomi o molecole) dove  $N_a$  risulta sperimentalmente:

$$N_a = 6,022 \cdot 10^{23}$$

### 6.7.1 Massa molare

Una massa molare  $M$  di qualsiasi sostanza è la massa di una mole della sostanza. È correlata con la massa  $m$  di una singola molecola della sostanza:

$$M = m N_a \quad (6.14)$$

### 6.7.2 Numero di moli

Il numero di moli  $n$  contenute in un campione di massa  $M_{cam}$  costituito da  $N$  molecole è dato da:

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{M_{cam}}{M} = \frac{M_{cam}}{m N_A} \quad (6.15)$$

## 6.8 Gas ideale o Gas perfetti

Un gas *ideale* o *perfetto* è quello per il quale la pressione  $p$ , il volume  $V$  e la temperatura  $T$  sono correlati da:

$$pV = nRT \quad (6.16)$$

Con:

- $p$  Pressione del cilindro.
- $n$  Numero di moli.
- $R$  Costante dei gas =  $8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$
- $T$  Temperatura del cilindro.

Questa legge si può scrivere anche come:

$$pV = NkT \quad (6.17)$$

Dove  $k$  è la costante di Boltzmann e vale:

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{J}{K} \right]$$

### 6.8.1 Equazione di stato per i gas ideali DA VERIFICARE

$$\left(p + \frac{an^2}{v^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (6.18)$$

## 6.9 Pressione, temperatura e velocità molecolare

La pressione esercitata da  $n$  moli di un gas ideale, in funzione della velocità delle sue molecole, è:

$$p = \frac{nMv_{qm}^2}{3V} \quad (6.19)$$

Dove  $v_{qm} = \sqrt{v^2}$  è la **velocità quadratica media** delle molecole del gas. Con l'equazione dei gas perfetti si ha:

$$v_{qm} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (6.20)$$

# Capitolo 7

## Elettrostatica

### 7.1 Legge di Coulomb

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (7.1)$$

Con:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (7.2)$$

Sostituendo nella Legge di Coulomb otteniamo:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (7.3)$$

#### 7.1.1 Principio di sovrapposizione

Se su una particella agiscono più forze di carica, la  $F_{tot}$  non sarà altro che la somma vettoriale di tutte le forze!

#### 7.1.2 Corrente elettrica

$$i = \frac{dq}{dt} [A \cdot s] \quad (7.4)$$

#### 7.1.3 La carica è quantizzata

Qualunque carica  $q$  può essere scritta come:

$$q = ne \quad (7.5)$$

dove  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}[C]$  è la costante elementare, una delle costanti fondamentali della materia.

Particella	Carica
Elettrone	$-e$
Positrone	$+e$
Protone	$+e$
Antiprotone	$-e$
quark	$\pm \frac{1}{3}e \quad \pm \frac{2}{3}e$
Neutrone	$0$

Quando una grandezza fisica assume solo valori discreti, allora si dice **quantizzata**. Anche la massa è quantizzata, non è quantizzata ad esempio la velocità, il flusso, il calore, la temperatura etc. . .

## 7.2 Campo Elettrico

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (7.6)$$

### 7.2.1 Principio di sovrapposizione

Anche per il campo elettrico vale il principio di sovrapposizione. Infatti se una particella è in interazione con più campi, il campo  $E$  risultante non sarà altro che la somma dei campi:

$$E = \frac{F_0}{q_0} = \frac{F_{01} + F_{02} + \cdots + F_{0n}}{q_0} = E_1 + E_2 + \cdots + E_n \quad (7.7)$$

### 7.2.2 Campo elettrico generato da una carica lineare

Diamo ora delle definizioni utili per dei calcoli e delle considerazioni successive:

- *Densità di carica lineare*  $\lambda$ : numero di cariche per unità di lunghezza.

$$\lambda = \frac{Q}{m} \quad (7.8)$$

- *Densità di carica superficiale*  $\sigma$ : numero di cariche per unità di superficie.

$$\lambda = \frac{Q}{m^2} \quad (7.9)$$

- *Densità di carica volumetrica*  $\rho$ : numero di cariche per unità di volume.

$$\lambda = \frac{Q}{m^3} \quad (7.10)$$

## 7.3 Flusso di Campo Elettrico

Il flusso di campo elettrico  $E$  attraverso una superficie infinitesima  $\Delta A$  è il prodotto scalare del campo elettrico e il vettore-area  $\Delta A$  in quel punto (perfetta analogia con la fluidodinamica). Il vettore area  $\Delta A$  è il vettore che ha per modulo l'area  $\Delta A$  e direzione quella perpendicolare all'area stessa.

### 7.3.1 Caso 1: superficie piana e parallela con campo $E$ uniforme

Scomponendo il vettore del campo nelle sue componenti cartesiane, noteremo che parte del campo viene scomposto lungo  $y$ , di conseguenza, il passaggio massimo si ha quando la normale della superficie  $A$  è parallela al campo, avendo così  $\cos 0$ . Definiamo quindi la formula per il flusso del campo elettrico:

$$\Delta\phi = E\Delta A = E\Delta A \cos \Theta \quad (7.11)$$

Che sull'interezza della superficie diventa:

$$\phi = \int E \cos \Theta dA = E \cos \Theta \int dA = E \cos \Theta A \quad (7.12)$$

### 7.3.2 Caso 2: superficie chiusa e campo $E$ uniforme

Nel caso di una superficie chiusa dobbiamo valutare la somma dei flussi attraverso tutte le superfici, facendo l'intergrale su ogni piccola area:

$$\phi = \oint E dA \quad (7.13)$$

L'unità di misura del flusso è la seguente:

$$[\phi] = [E][A] = [N] \frac{[m^2]}{[C]}$$

## 7.4 Teorema di Gauss

Il Teorema di Gauss afferma che il flusso  $\phi$  del campo elettrico attraverso una superficie chiusa è eguale alla carica totale  $Q$  racchiusa nella superficie, diviso  $\varepsilon_0$ :

$$\phi = \oint E dA = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad (7.14)$$

Non hanno alcuna importanza la dimensione e la forma della superficie, l'importante è che sia chiusa.

## 7.5 Potenziale Elettrico

Il potenziale elettrico  $V$  nel punto  $P$  di un campo elettrico generato da un corpo carico è (ricordando che  $U = -W$ ):

$$V = \frac{-W_\infty}{q_0} = \frac{U}{q_0} \quad (7.15)$$

dove  $W_\infty$  è il lavoro che dovrebbe compiere la forza elettrica su una carica esplorativa per portarla in  $P$  da una distanza infinita, mentre  $U$  è l'energia potenziale che verrebbe così immagazzinata nel sistema corpo carico-carica esplorativa.

**Attenzione!** La parola *Potenziale* non va confusa con *Energia Potenziale*. Sebbene hanno nomi simili, il loro significato è assolutamente distinto. Non potendo spostare una carica elettrica "fino all'infinito" si pone allora l'attenzione sulla energia "potenziale" liberabile da questa durante l'ipotetico movimento. È interessante però notare che il potenziale elettrico è così definito per convenzione (concetto di "limite" per una variabile che "tende" all'infinito) ma poiché si tratta di un "lavoro" compiuto dal campo per spostare la carica da un punto ad un altro, se il punto di arrivo non è all'infinito ma con posizione nota allora il "potenziale" può essere espresso rispetto ad esso (potenziale zero di riferimento): in sostanza il potenziale è sempre riconducibile ad una "differenza" tra due valori.

L'energia potenziale elettrica della carica è il livello di energia che la carica possiede a causa della sua posizione all'interno del campo elettrico, e pertanto il potenziale elettrico  $V$  della carica di prova è definito operativamente come il rapporto tra l'energia potenziale  $U$  e il valore della carica stessa.

### 7.5.1 Energia Potenziale Elettrica

Data una particella di carica  $q$  situata in un punto dove il potenziale elettrico prodotto da un corpo carico è  $V$ , l'energia potenziale elettrica  $U$  del sistema corpo-particella è:

$$U = qV \quad (7.16)$$

Se la particella si sposta subendo una variazione di potenziale  $\Delta V$ , la variazione di energia potenziale elettrica è:

$$\Delta U = q\Delta V = q(V_f - V_i) \quad (7.17)$$



## 7.6 Energia Meccanica

Se una particella si sposta subendo una variazione di potenziale  $\Delta V$  senza che agiscano su di essa forze applicate esterne, il principio di conservazione dell'Energia Meccanica impone che la variazione di energia cinetica sia:

$$\Delta K = -q\Delta V \quad (7.18)$$

Se al contrario è presente una forza applicata che compie lavoro  $w_{app}$  su di essa, la variazione di energia cinetica diventa:

$$\Delta K = -q\Delta V + W_{app} \quad (7.19)$$

Nel caso particolare in cui  $\Delta K = 0$ , il lavoro svolto dalla forza applicata comporta solo il moto della particella e una variazione del suo potenziale pari a:

$$W_{app} = q\Delta V \quad (7.20)$$

## 7.7 Superfici Equipotenziali

Una superficie equipotenziale è il luogo dei punti che hanno lo stesso potenziale. Il lavoro compiuto per portare una carica di prova da una di queste superfici a un'altra non dipende dalla posizione dei punti iniziale e finale su queste superfici, né dal cammino che li unisce. Il campo elettrico  $E$  è sempre *perpendicolare* alle superfici equipotenziali.

### 7.7.1 Calcolo di $V$ a partire da $E$

La differenza di potenziale tra due punti qualsiasi  $i$  e  $f$  è data da:

$$V_f - V_i = - \int_i^f E ds \quad (7.21)$$

dove l'integrale è calcolato lungo una linea qualsiasi che congiunga i punti. Possiamo scegliere pertanto il percorso che ci renda l'operazione d'integrale più semplice possibile. Se il punto iniziale è posto all'infinito e  $V_i = 0$  si ha, per il potenziale in un punto:

$$V = - \int_i^f E ds \quad (7.22)$$

Nel caso particolare di un campo uniforme di modulo  $E$ , la differenza di potenziale tra le due linee equipotenziali adiacenti (necessariamente parallele) separate da una distanza  $\Delta x$  è data da:

$$\Delta V = -E\Delta x \quad (7.23)$$