

## “SISTEMI DI UNITA’ DI MISURA”

### CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Si definisce misura il procedimento mediante il quale si fa corrispondere un numero ad una grandezza fisica. Effettuare una misura significa assegnare ad una grandezza fisica (es. massa, tempo, lunghezza etc.) un valore numerico che indica quante volte l’unità di misura prescelta, a cui si assegna il valore uno, è contenuta nella grandezza fisica da misurare. Ogni grandezza fisica sarà caratterizzata da un numero (*la misura*) seguita da un simbolo che ricorda l’unità di misura utilizzata per la misurazione. Al fine di limitare l’uso dei campioni di riferimento per le unità di misura, queste sono suddivise in:

- UNITA’ DI MISURA FONDAMENTALI, definite direttamente da un campione;
- UNITA’ DI MISURA DERIVATE da quelle fondamentali.

Per le unità di misura derivate da quelle fondamentali si introduce il concetto di *dimensione*, che denota la natura fisica di una grandezza. I simboli che vengono utilizzati per indicare la dimensione di una grandezza vengono racchiusi da parentesi quadre. L’*analisi dimensionale* utilizza il fatto che le dimensioni possono essere trattate come quantità algebriche, e quindi le grandezze possono essere sommate o sottratte fra loro solo se hanno le stesse dimensioni.

Il concetto base della fisica è che tutte le equazioni che descrivono un fenomeno devono essere indipendenti dalle unità di misura, cioè le equazioni devono essere *dimensionalmente omogenee*.

*Esempio* - l’unità di misura della grandezza fisica lunghezza è il metro (simbolo m), l’unità di misura della grandezza fisica volume è il m elevato alla terza potenza :  $m^3$ , dimensionalmente:

$$[V] = [L^3]$$

L’insieme delle unità fondamentali e delle leggi fisiche e definizioni da applicare per ottenere le unità di misura derivate costituisce un **sistema di unità di misura**.

Si definisce *ordine di grandezza* di una data quantità la potenza di dieci del numero che descrive quella grandezza. Generalmente quando si fa un calcolo approssimato di ordine di grandezza, per valutare ad esempio la risposta approssimata ad un dato problema fisico, i risultati sono accettabili entro un fattore 10.

### IL SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITA’ DI MISURA

Con il **DPR 12/08/1982 n° 802** (G.U. n° 302 del 03/11/1982) è stato per legge adottato anche in Italia il SISTEMA INTERNAZIONALE (S.I), le cui grandezze fisiche fondamentali sono sette :

GRANDEZZA FISICA	UNITÀ DI MISURA	SIMBOLO
LUNGHEZZA	metro	m
MASSA	chilogrammo	kg
TEMPO	secondo	s
TEMPERATURA TERMODINAMICA	grado Kelvin	K
CORRENTE ELETTRICA	ampère	A
INTENSITA’ LUMINOSA	candela	cd
QUANTITA’ DI SOSTANZA	mole	mol

Le grandezze che nel corso di Fisica Tecnica Ambientale verranno maggiormente utilizzate sono:

- **massa**, dimensionalmente indicata con il simbolo [M]
- **lunghezza**, dimensionalmente indicata con il simbolo [L]
- **tempo**, dimensionalmente indicato con il simbolo [T]
- **temperatura**, dimensionalmente indicata con il simbolo [θ].

Le unità di misura derivate si dicono *coerenti* con l’unità fondamentale se si utilizza sempre una unità delle unità campione fondamentali.

### BOX 1 – Richiami di cinematica

La **velocità** di un corpo è la rapidità con cui la sua posizione cambia nel tempo. Si definisce velocità media  $\mathbf{w}_m$  di un corpo in un determinato intervallo di tempo la grandezza vettoriale:

$$\mathbf{w}_m = \Delta \mathbf{s} / \Delta \tau$$

dove al numeratore si trova lo spostamento  $\Delta \mathbf{s}$  (grandezza vettoriale), che rappresenta la variazione di posizione del corpo nello spazio, ed al denominatore si trova il tempo trascorso  $\Delta \tau$  (grandezza scalare). Il vettore  $\mathbf{w}_m$  ha direzione e verso di  $\Delta \mathbf{s}$  e modulo pari a  $(\Delta s / \Delta \tau)$ . La sua unità di misura nel S.I. è il metro al secondo (m/s).

Si definisce velocità istantanea  $\mathbf{w}$  di un corpo in un istante di tempo il limite di  $\Delta \mathbf{s} / \Delta \tau$ , cioè:

$$\mathbf{w} = \lim_{\Delta \tau \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{s}}{\Delta \tau}$$

Secondo la notazione del calcolo infinitesimale il valore del limite di  $\Delta \mathbf{s} / \Delta \tau$  quando  $\Delta \tau$  tende a zero viene scritto  $d\mathbf{s} / dt$  ed è chiamato **derivata** di  $\mathbf{s}$  rispetto a  $\tau$ , cioè:

$$\mathbf{w} = d\mathbf{s} / dt$$

Quando la velocità di un corpo cambia in modulo o in direzione (o in entrambi) si dice che il corpo possiede una **accelerazione**. L'accelerazione di un corpo esprime la rapidità con cui la velocità cambia nel tempo.

Si definisce accelerazione media  $\mathbf{a}_m$  di un corpo che si sposta dal punto A al punto B la variazione di velocità  $\Delta \mathbf{w}$  divisa per l'intervallo di tempo  $\Delta \tau$ , cioè:

$$\mathbf{a}_m = \Delta \mathbf{w} / \Delta \tau$$

L'accelerazione è una grandezza vettoriale, la cui direzione è quella della velocità ed il modulo è  $(\Delta w / \Delta \tau)$  e viene espresso nel S.I. in  $m/s^2$ .

L'accelerazione istantanea è definita come:

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta \tau \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{w}}{\Delta \tau} = \frac{d\mathbf{w}}{d\tau}$$

Un particolare tipo di accelerazione è l'**accelerazione di gravità g**, che rappresenta l'accelerazione di un corpo che si muove liberamente verso il centro della terra sotto l'azione della forza di gravità. In assenza di resistenza dell'aria tutti i corpi indipendentemente dal loro peso, dalla forma e dalla composizione chimica, cadono con la medesima accelerazione sul medesimo punto della superficie terrestre; in prossimità della superficie terrestre il suo modulo vale circa  $9,80 m/s^2$  ed è diretto verso il centro della terra; inoltre  $g$  diminuisce all'aumentare dell'altezza del corpo, cioè della distanza dalla terra.

*Esempio* - la velocità media è lo spazio diviso il tempo necessario a percorrerlo, se è espressa in:

$$1 \text{ m} / 1 \text{ s} = \text{m/s}$$

dimensionalmente  $[LT^{-1}]$ , questa è coerente con l'unità di misura fondamentale. Se invece la grandezza velocità è espressa in km/h essa non è più coerente essendo:

$$1 \text{ km} / 1 \text{ h} = 10^3 \text{ m} / 3,6 \cdot 10^3 \text{ s} = 1 / 3,6 = 0,278 \text{ m/s}$$

Una semplice regola per trasformare le unità di misura delle grandezze fondamentali in quelle derivate, o viceversa, è quella di moltiplicare per il quoziente reciproco delle unità di misura da trasformare.

*Esempio* - a quanto corrispondono 20 m/s in km/h ?

$$v = 20 \text{ m/s} \times 1 \text{ km} / 10^3 \text{ m} \times 3600 \text{ s} / 1 \text{ h} = 20 \times 3,6 = 72 \text{ km/h}$$

## BOX 2 – Richiami di dinamica

Secondo Newton il cambiamento di velocità di un corpo è dovuto ad una **forza F**; quindi la forza è ciò che fa sì che un corpo acceleri. Le forze sono grandezze vettoriali individuate da un valore numerico (modulo o intensità), da una direzione e da un verso; si possono avere forze *di contatto* (risultato del contatto fisico fra due o più oggetti) e campi di forza (quando non c'è un contatto fisico - campo gravitazionale, campo elettrico, ecc.).

Un corpo in quiete rispetto a un sistema di riferimento prescelto permane in questa condizione finché una causa esterna non interviene a mutarla. Inoltre, più forze agenti su un corpo costituiscono un *sistema equilibrato* quando la risultante delle forze applicate è nulla. In tal caso il corpo mantiene costante la propria velocità (cioè l'accelerazione è zero) oppure se è in quiete, permane in questo secondo stato.

**Prima legge di Newton o d'inerzia:** ogni corpo non soggetto a forze persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme (cioè moto con velocità costante); in termini più semplici, si può affermare che quando la forza risultante su di un corpo è pari a zero, la sua accelerazione è zero.

$$\text{quando } \Sigma \mathbf{F} = 0 \Rightarrow \mathbf{a} = 0$$

**Seconda Legge di Newton o della Dinamica:** l'accelerazione di un corpo è direttamente proporzionale alla forza risultante agente su di esso ed inversamente proporzionale alla sua massa, cioè:

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

dove **F** è il vettore risultante di tutte le forze agenti sul corpo, *m* è la massa del corpo ed **a** è la sua accelerazione.

La **massa** *m* è una proprietà intrinseca di un corpo, è indipendente dalla posizione del corpo ed è una grandezza scalare; nel S.I. si esprime in chilogrammi (kg).

Il **peso** di un corpo, invece, è uguale alla forza di gravità agente sul corpo stesso e varia con la posizione in quanto dipende dall'accelerazione di gravità e quindi diminuisce allontanandosi dal centro della terra; è una grandezza vettoriale. La direzione del vettore è quella della forza gravitazionale cioè verso il centro della terra e la sua unità di misura è il Newton (N).

Chiamando **g** l'accelerazione gravitazionale diretta verso il centro della Terra, il peso **p** di un corpo si esprime con la relazione:

$$\mathbf{p} = m \mathbf{g}$$

Per esempio, una persona che sulla Terra pesa 90 N, sulla Luna pesa 15 N; al contrario, un oggetto che ha una massa di 2 kg sulla Terra avrà una massa di 2 kg anche sulla Luna.

**Terza Legge di Newton:** se due corpi interagiscono, la forza agente sul corpo 1 (forza di azione) è uguale ed opposta alla forza agente sul corpo 2 (forza di reazione), cioè:

$$\mathbf{F}_{12} = - \mathbf{F}_{21}$$

Si definisce forza normale **n** la forza esercitata dal piano dove è appoggiato l'oggetto sull'oggetto stesso, è diretta verso l'alto ed è sempre normale alla superficie del piano (in assenza di attrito); è la forza che impedisce all'oggetto di cadere attraverso il piano su cui è appoggiato.

Le più importanti unità derivate del Sistema Internazionale sono raccolte nelle tabelle che seguono.

GRANDEZZA	DIMENSIONE	NOME	SIMBOLO	RELAZIONE
frequenza	$[T^{-1}]$	<i>Hertz</i>	Hz	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>
forza	$[ML T^{-2}]$	<i>Newton</i>	N	1N = 1kg m s <sup>-2</sup>
pressione	$[ML^{-1} T^{-2}]$	<i>Pascal</i>	Pa	1 Pa = 1N m <sup>2</sup>
lavoro, energia termica	$[ML^2 T^{-2}]$	<i>Joule</i>	J	1J = 1N m
potenza	$[ML^2 T^{-3}]$	<i>Watt</i>	W	1W = 1J s <sup>-1</sup>

GRANDEZZA	NOME	SIMBOLO	RELAZIONE
carica elettrica	<i>Coulomb</i>	C	1C = 1 A s
potenziale elettrico, tensione elettrica	<i>Volt</i>	V	1V 0 1 W A <sup>-1</sup>
resistenza elettrica	<i>Ohm</i>	Ω	1 Ω = 1 V A <sup>-1</sup>
flusso luminoso	<i>Lumen</i>	lm	1lm = 1 cd sr
illuminamento	<i>Lux</i>	lx	1lx = 1 lm m <sup>-2</sup>

Quando l'uso delle unità del Sistema Internazionale non risulta pratico, si introducono multipli e sottomultipli, le cui denominazioni ufficiali sono raccolte nella tabella che segue.

MULTIPLI			SOTTOMULTIPLI		
prefisso	valore	simbolo	prefisso	valore	simbolo
kilo	10 <sup>3</sup>	k	milli	10 <sup>-3</sup>	m
mega	10 <sup>6</sup>	M	micro	10 <sup>-6</sup>	μ
giga	10 <sup>9</sup>	G	nano	10 <sup>-9</sup>	n
tera	10 <sup>12</sup>	T	pico	10 <sup>-12</sup>	p
			femto	10 <sup>-15</sup>	f
			atto	10 <sup>-18</sup>	a

Le **leggi fisiche fondamentali** che correlano tra loro le grandezze suddette derivano dalla dinamica :

⇒ **forza** = massa x accelerazione (Forza Peso = massa x accelerazione di gravità)

$$f = m \times a = \text{kg m s}^{-2} \quad (\text{N})$$

⇒ **pressione** = forza / superficie = kg m s<sup>-2</sup> /m<sup>2</sup> = kg m<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup> (N/m<sup>2</sup>)  
da cui **1 Pa** = 1 N/m<sup>2</sup>

⇒ **lavoro** = forza x spostamento = kg m s<sup>-2</sup> x m = kg m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup> (J)  
da cui **1 J** = 1 N x m

⇒ **potenza** = lavoro eseguito nell'unità di tempo = kg m<sup>2</sup> s<sup>-3</sup>  
da cui **1 W** = 1 N x m / 1 s = 1 J/s

E' importante non confondere l'unità di misura dell'energia termica espressa in kWh con la potenza che è espressa in kW.

*Esempio* - un apparecchio domestico avente la potenza di 0,75 kW se rimane in funzione per 5 minuti quanta energia consuma ?

$$\text{Risposta: } 0,75 \text{ kW} \times 5 \text{ min} \times 1 \text{ h} / 60 \text{ min} = 0,062 \text{ kWh}$$

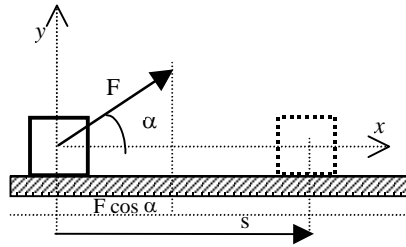
### BOX 3 – Richiami di lavoro ed energia meccanica

L'energia è presente nell'universo in varie forme (meccanica, termica, chimica, nucleare, ecc.).

Quando viene applicata una forza ad un corpo che si sposta nella direzione della forza si dice che la forza compie un **lavoro** sul corpo. Per definizione si chiama lavoro fatto da una forza su di un corpo il prodotto della componente della forza nella direzione dello spostamento per il modulo dello spostamento stesso, cioè:

$$L = (F \cos \alpha) s \quad (\text{J})$$

dove  $F$  è la forza,  $\alpha$  è l'angolo formato dalle due direzioni orientate dei due vettori forza e spostamento, ed  $s$  è lo spostamento.



Il lavoro è una grandezza scalare e le sue dimensioni sono quelle di un'energia: difatti l'unità di misura del lavoro nel S.I. è il joule (J).

Spesso nella tecnica interessa sapere la rapidità con cui viene eseguito un lavoro, cioè in quanto tempo viene compiuto un lavoro, il che porta all'introduzione di una nuova grandezza fisica: la **potenza**. Si definisce potenza in un intervallo di tempo  $\Delta\tau$  il rapporto fra il lavoro  $\Delta L$  compiuto da una o più forze durante il tempo  $\Delta\tau$  e l'intervallo stesso e nel S.I. si misura in  $\text{J/s} = \text{W}$  (Watt):

$$P = \Delta L / \Delta\tau \quad (\text{W})$$

Si definisce **energia cinetica**  $E_c$  di un corpo l'energia associata al moto del corpo e che è potenzialmente trasformabile in lavoro e vale la metà del prodotto della massa del corpo per il quadrato della sua velocità:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{J})$$

Si definisce **energia potenziale gravitazionale**  $E_p$  di un corpo l'energia associata alla posizione del corpo nello spazio ed è data dal prodotto del peso del corpo ( $mg$ ) per la sua coordinata verticale  $h$  che rappresenta la distanza del corpo dalla superficie della terra presa come riferimento:

$$E_p = mgh \quad (\text{J})$$

L'energia potenziale di un corpo costituisce una forma di energia immagazzinata che può essere totalmente recuperata e trasformata in energia cinetica.

In generale si può affermare che l'energia totale di un corpo, che può essere cinetica, potenziale, termica o anche di altre forme, non cambia. L'energia può venire trasformata da una forma all'altra, ma non può essere né creata né distrutta, cioè l'energia totale è costante. Questa affermazione è detta **principio di conservazione dell'energia**.

#### BOX 4 – Richiami di meccanica dei fluidi

La materia si può presentare in tre stati: *solido* = un corpo solido ha volume e forma propria; *liquido* = un liquido ha volume ma non forma definita; *gassoso* = un gas non ha né forma né volume definiti. In particolari condizioni di temperatura e pressione l'acqua può presentarsi contemporaneamente in tutti tre gli stati (punto triplo). L'aggettivo *fluidico* designa ogni sostanza allo stato liquido o allo stato aeriforme.

Tutta la materia è costituita da atomi e molecole tenuti insieme da forze intermolecolari più deboli nei liquidi ed ancor meno nei gas. Solidi e liquidi hanno in comune la proprietà che quando si prova a comprimerli, al loro interno agiscono forze repulsive che si oppongono alla deformazione.

La **densità** ( $\rho$ ) di una sostanza è definita come la sua massa per unità di volume:

$$\rho = m / V \quad (\text{kg/m}^3)$$

Il valore della densità varia con la temperatura, poiché il volume di una sostanza dipende dalla temperatura; alle condizioni standard per esempio l'aria ha una densità di  $1,29 \text{ kg/m}^3$ , mentre l'acqua di  $10^3 \text{ kg/m}^3$ . Si definisce **peso specifico** di una sostanza il rapporto fra la sua densità e la densità dell'acqua; esso è una quantità adimensionale.

Se si considera un fluido contenuto in un contenitore, la forza esercitata dal fluido sulle pareti del recipiente che lo contiene è perpendicolare alle pareti in ogni punto. Detta  $F$  la forza agente sulla superficie  $S$ , allora il valore medio della **pressione**  $p$  (grandezza scalare) esercitata dal fluido è definito come il rapporto fra forza e superficie e si misura in *pascal* (Pa):

$$p = F / S \quad (\text{Pa} = \text{N/m}^2)$$

L'aria forma intorno alla terra uno strato chiamato atmosfera spesso qualche centinaia di chilometri, la cui densità diminuisce con l'altezza. A causa del proprio peso l'aria esercita su qualsiasi corpo immerso in essa una pressione detta **pressione atmosferica**, diretta normalmente alla superficie del corpo qualunque sia l'orientamento della superficie e con modalità del tutto simili alla pressione nei liquidi.

La **legge di Stevino** afferma che in presenza della forza di gravità la pressione all'interno di un fluido varia con la profondità, inoltre tutti i punti alla stessa profondità si trovano alla stessa pressione. Quindi, se rispetto a un livello di riferimento in cui la pressione è pari a quella atmosferica  $p_{\text{atm}}$ , si deve calcolare la pressione di un punto ad una profondità  $h$  al di sotto del livello di riferimento, essa sarà pari a:

$$p = p_{\text{atm}} + \rho g h \quad \text{dove} \quad p_{\text{atm}} \approx 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Cioè: la pressione assoluta  $p$  ad una profondità  $h$  al di sotto della superficie di un liquido alla pressione atmosferica è maggiore di una quantità  $\rho g h$  (chiamata **pressione idrostatica**) rispetto a quest'ultima.

La **legge di Pascal** afferma che una variazione di pressione applicata ad un fluido racchiuso viene trasmessa invariata ad ogni punto del fluido e alle pareti del contenitore.

Le principali applicazioni di tali leggi sono il torchio idraulico, la leva idraulica, i vasi comunicanti (se un tubo ad U contiene lo stesso liquido, esso raggiunge lo stesso livello nei due rami del tubo), ecc.

Il **Principio di Archimede** afferma che ogni corpo immerso in un fluido viene spinto verso l'alto da una forza (chiamata spinta di Archimede) uguale al peso del fluido spostato dal corpo. Tale spinta agisce verticalmente verso l'alto e la sua retta d'azione passa per il baricentro del fluido spostato.

Quando un corpo è completamente immerso in un fluido di densità  $\rho_f$ , la spinta di Archimede  $B$  è pari a:

$$B = \rho_f V_0 g \quad \text{dove } V_0 = \text{volume corpo}$$

il peso di un corpo di densità  $\rho_o$  è pari a  $P = \rho_o V_0 g$ , quindi la forza risultante  $F$  agente sul corpo è:

$$F = B - P = (\rho_f - \rho_o) V_0 g$$

Quindi se  $\rho_o < \rho_f \rightarrow$  il corpo accelererà verso l'alto;

se  $\rho_o > \rho_f \rightarrow$  il corpo affonderà.

Nel caso di un corpo galleggiante, cioè parzialmente immerso, la spinta di Archimede è equilibrata dal peso del corpo diretto verso il basso e vale:

$$B = \rho_f V g \quad \text{dove } V = \text{volume del fluido spostato}$$

il peso di un corpo di densità  $\rho_o$  è pari a  $P = \rho_o V_0 g$  e dovendo la forza risultante agente sul corpo esser nulla si avrà:

$$B = P \Rightarrow \rho_f V g = \rho_o V_0 g \Rightarrow \rho_o / \rho_f = V / V_0$$

## IL SISTEMA TECNICO DI UNITA' DI MISURA

Altro sistema di unità di misura molto usato è il SISTEMA TECNICO. Le grandezze fondamentali utilizzate sono :

- **lunghezza** [L] unità di misura il metro (m)
- **tempo** [T] unità di misura il secondo (s)
- **temperatura** [θ] unità di misura il grado centigrado ( °C)
- **forza** [F] unità di misura il chilogrammo forza (kg<sub>f</sub>)

L'unità di misura della massa in questo sistema è pertanto derivata dalla *Seconda Legge della Dinamica*:

$$\mathbf{f} = k \mathbf{m} \mathbf{a} \Leftrightarrow \mathbf{m} = \mathbf{f} / k \mathbf{a}$$

dove  $k$  è il coefficiente numerico che assume valore 1 nel Sistema Internazionale. Nel Sistema Tecnico poiché si è stabilito che un corpo di peso pari ad 1 kg<sub>f</sub> abbia massa pari ad 1 kg si ha che  $k = 1/g_c$ , con  $g_c = 9,81$ (adimensionale) e quindi numericamente eguale all'accelerazione di gravità. Pertanto: numericamente  $f = m$  poiché  $g_c = a$ ; l'unità di misura della massa è il kg<sub>m</sub> (chilogrammo massa).

La tabella che segue riporta le unità fondamentali del Sistema Tecnico sia nella forma europea che anglosassone.

GRANDEZZA	SISTEMA EUROPEO		SISTEMA ANGLOSASSONE	
	nome	simbolo	nome	simbolo
lunghezza	metro	m	piede	ft
tempo	secondo	s	secondo	s
forza	chilogrammo (forza)	kg <sub>f</sub>	libbra (forza)	lb <sub>f</sub>

Nel sistema tecnico si avrà inoltre:

GRANDEZZA	UNITÀ DI MISURA
pressione	mm H <sub>2</sub> O: millimetro di colonna d'acqua
lavoro	kg <sub>m</sub> : chilogrammetro
energia termica	kcal: chilocaloria
potenza	kcal/h : chilocaloria / ora

Si ricorda che 1 kcal è definita come *la quantità di calore da fornire ad 1 kg di acqua per elevare la sua temperatura di 1 °C, da 14,5 a 15,5 °C*; inoltre  $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W}$ , da cui  $1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h}$ .

## IL SISTEMA C.G.S.

Il sistema c.g.s è caratterizzato da avere tre sole unità di misura fondamentali, quelle cioè della meccanica classica, che sono riportate nella tabella che segue.

GRANDEZZA	NOME	SIMBOLO
lunghezza	centimetro	cm
tempo	secondo	s
massa	grammo	g

### **BOX 5 – Richiami di fluidodinamica**

Si premettono le seguenti definizioni :

1. Regimi di moto: il moto del fluido può essere stazionario, non stazionario (o vario o turbolento) o laminare. Si dice moto stazionario quanto la velocità del fluido  $w$  è in ogni punto costante nel tempo. Cambiando punto la velocità potrà essere diversa. Si dice moto turbolento quanto la velocità del fluido varia nel tempo e nello spazio. Si dice moto laminare quando la velocità è costante nello spazio ma varia nel tempo;
2. Il fluido può essere comprimibile e incompressibile. I fluidi quali acqua ed aria, essendo per le applicazioni pratiche le variazioni di pressione assai modeste, e pertanto trascurabili, possono essere considerati incompressibili.
3. Un fluido può essere viscoso o no. La viscosità (attrito viscoso) nel moto dei fluidi è l'analogo dell'attrito nel moto dei solidi. La viscosità crea delle forze tangenziali in seno al fluido (opposte al moto) che si oppongono al mutuo scorrimento degli strati del fluido gli uni sugli altri, col risultato di dissipare energia meccanica. In generale la viscosità varia al variare della temperatura e può essere espressa attraverso il coefficiente di viscosità dinamica  $\mu$  (espresso in kg/ms) oppure attraverso il coefficiente di viscosità cinematica  $\nu$  (espresso in  $m^2/s$ ), dato dal rapporto fra il coefficiente di viscosità dinamica e la densità del fluido:  $\nu = \mu / \rho$ .

Le proprietà termodinamiche che usualmente intervengono nella determinazione dello stato fisico di un fluido sono la pressione, la temperatura e la densità: il valore di quest'ultima è legato a quelli assunti da  $p$  e  $T$  per mezzo della *equazione di stato*.

Quando un fluido in moto lambisce una superficie o scorre entro un condotto le particelle a contatto con la superficie vi aderiscono e rallentano il moto delle particelle contigue. Si verifica una variazione di velocità  $w$  del fluido tra un valore nullo a contatto con la parete un valore  $w_\infty$  nella zona del fluido che non risente più del disturbo causato dall'effetto dell'aderenza. Secondo l'ipotesi dell'aderenza infatti in tutti i fluidi le particelle a contatto diretto con i confini solidi non scorrono rispetto al confine stesso. Inoltre spostandosi normalmente alla direzione del moto, in vicinanza della superficie solida la velocità varia più rapidamente che non ad una certa distanza; la porzione di fluido all'interno della quale si verifica questa rapida variazione della velocità prende il nome di *strato limite*.

### **Equazione di Continuità**

L'equazione di continuità costituisce una importante relazione ai fini dello studio del comportamento meccanico e termodinamico di un fluido entro un condotto. In condizioni di moto stazionario, o mediamente stazionario, detta  $w$  la velocità media, la portata in massa  $Q_m$ , in ogni sezione del condotto può essere espressa con la seguente relazione:

$$Q_m = \rho w S = \text{costante}$$

dove:

- $S$  : area della sezione del condotto, in  $m^2$ ;
- $\rho$  : densità, in  $kg/m^3$ ;
- $w$  : velocità media, in  $m/s$ ;
- $Q_m$  : portata in massa, in  $kg/s$ .

L'equazione di continuità esprime la conservazione della portata in massa ovvero la conservazione della materia. Nel caso in cui si possa considerare costante la densità (fluido incompressibile) risulta essere costante anche la portata in volume  $Q_v = w S$ , in  $m^3/s$ .

## PRINCIPALI FATTORI DI CONVERSIONE

Nella tabella seguente sono riportati i principali fattori di conversione fra alcune unità di misura di uso corrente.

TIPO DI UNITÀ	UNITÀ DI MISURA	SIMBOLO	FATTORE DI CONVERSIONE	IN	
<b>energia</b>	chilocaloria	kcal	$4,18 \cdot 10^3$	J	
	chilowattora	kWh	$3,6 \cdot 10^6$	J	
	chilowattora	kWh	859,84	kcal	
	chilogrammetro	kg <sub>f</sub> m	9,80	J	
	British thermal unit	Btu	$1,055 \cdot 10^3$	J	
	petrolio equivalente	tep		$10^7$	kcal
				$4,18 \cdot 10^7$	kJ
		1Mtep	$10^6$	tep	
<b>potenza</b>	chilocaloria per ora	kcal/h	1,163	W	
	chilogrammetro al secondo	kg <sub>f</sub> /s	9,80	W	
<b>pressione</b>	bar	bar	$10^5$	Pa	
	chilogrammo per metro quadrato	kg <sub>f</sub> /m <sup>2</sup>	1	mm H <sub>2</sub> O	
		kg <sub>f</sub> /m <sup>2</sup>	9,80	Pa	
	atmosfera fisica	atm	$1,013 \cdot 10^5$	Pa	
	atmosfera fisica	atm	760	mm Hg	
	atmosfera fisica	atm	$1,033 \cdot 10^4$	mm H <sub>2</sub> O	
<b>lunghezza</b>	inch (pollice)	in	0,0254	m	
	foot (piede)	ft	0,3048	m	
<b>massa</b>	pound (libbra)	lb	0,4536	kg	
	ounce (oncia)	oz	$2,83 \cdot 10^{-2}$	kg	
<b>forza</b>	chilogrammo	kg <sub>f</sub>	9,80	N	
	pound (libbra)	lb <sub>f</sub>	4,44	N	

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Serway R.A., "Principi di Fisica", Ed. EdiSES, Napoli, 1996

"Esercizi di Fisica Tecnica vol. 2 Unità di misura", Ed. Esculapio, Bologna

Cocchi, "Elementi di Termofisica Generale e Applicata", Ed. Esculapio, Bologna 1990