

# 1

## GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA

### 1.1 GRANDEZZE FISICHE E UNITÀ DI MISURA

*Lo studio dei fenomeni fisici si basa sulla possibilità di definire e misurare quelle entità, che sono proprietà o qualità dei corpi materiali, dette grandezze fisiche. Definire una grandezza fisica significa descriverne in modo univoco ed oggettivo il significato concettuale; misurare una grandezza fisica significa attribuire ad essa un preciso valore numerico.*

La misura di una grandezza fisica implica la scelta di:

- un *campione* a cui si attribuisce valore unitario, in altri termini di un'*unità di misura*;
- una *modalità di misura*, ovvero una serie di operazioni che devono essere compiute per stabilire il rapporto tra l'entità da misurare ed il campione.

Le grandezze fisiche possono essere o no tra loro omogenee: sono dette omogenee grandezze fisiche con la stessa unità di misura. Nel primo caso ha senso eseguire su di esse tutte le operazioni matematiche, in particolare la somma e la sottrazione, nel secondo caso è possibile eseguire su di esse solo operazioni di moltiplicazione e divisione. Si osservi allora che i risultati forniti da operazioni matematiche su grandezze omogenee vengono descritte numericamente mediante la stessa unità di misura e le sue potenze; i risultati forniti da operazioni matematiche su grandezze non omogenee vengono descritte, invece, mediante unità derivate da quelle che competono alle grandezze poste tra loro in relazione. Ad esempio nella relazione  $v = s/(\tau_2 - \tau_1)$  se si misura lo spazio  $s$  in metri [m] ed il tempo  $\tau$  in secondi [s] il numero che rappresenta la velocità risulta espresso tramite l'unità derivata [m/s]. Utilizzare le unità derivate è conveniente perché si evita l'onere di definire, e conservare inalterato nel tempo, il campione fisico di ogni grandezza. Nel caso specifico non serve un campione di velocità se già abbiamo i campioni di lunghezza e di tempo.

**L'insieme delle unità mediante le quali si possono definire le unità derivate di tutte le grandezze fisiche esistenti costituisce un *sistema di unità di misura*. Sebbene nel seguito si faccia riferimento solo al Sistema Internazionale (S.I.), esistono diversi sistemi di unità di misura di alcuni dei quali verranno dati brevi cenni.**

**Il Sistema Internazionale è un sistema omogeneo, coerente, assoluto e decimale adottato fin dagli anni '70 dalla maggior parte dei Paesi ed è stato adottato ufficialmente in Italia dal 1982.**

**Omogeneo** significa che, scelte alcune grandezze fisiche fondamentali e le loro unità di misura, da esse si possono derivare tutte le altre grandezze e le corrispondenti unità di misura. Per esempio lunghezza e tempo sono grandezze fisiche fondamentali cui corrispondono le unità di misura fondamentali metro (m) e secondo (s). Da tali grandezze e dalle loro unità di misura sono ottenibili le grandezze fisiche e le corrispondenti unità di misura derivate che implicano una qualsiasi relazione tra lunghezza e tempo: per esempio la velocità (che si misura in m/s), l'accelerazione (che si misura in m/s<sup>2</sup>), la viscosità cinematica (che si misura in m<sup>2</sup>/s) etc.

**Coerente** significa che il prodotto o il rapporto delle unità di misura di una o più grandezze costituisce l'unità di misura di una grandezza il cui significato fisico corrisponde al prodotto o al rapporto delle prime, senza l'intervento di coefficienti numerici. Ad esempio il prodotto di una massa unitaria (1 kg) per un'accelerazione unitaria (1 m/s<sup>2</sup>) corrisponde ad una forza unitaria: così l'espressione (kg m/ s<sup>2</sup>) corrisponde all'unità di misura delle forze detta Newton (N).

**Assoluto** significa che le unità di misura scelte sono invariabili in ogni luogo e in ogni tempo. Non è assoluta, per esempio, l'unità di misura "campo" che nella zona di Padova corrisponde a 3862 m<sup>2</sup> e nella zona di Treviso corrisponde a 5204 m<sup>2</sup>.

**Decimale** significa che multipli e sottomultipli delle varie unità di misura corrispondono alle potenze di dieci. Tali multipli e sottomultipli vengono spesso indicati mediante opportuni *prefissi* che sono riportati in tabella I.

**TABELLA I - Prefissi delle unità di misura del sistema S.I.**

| multipli         | prefissi | simboli | sottomultipli     | prefissi | simboli |
|------------------|----------|---------|-------------------|----------|---------|
| 10 <sup>24</sup> | yotta    | Y       | 10 <sup>-1</sup>  | deci     | d       |
| 10 <sup>21</sup> | zetta    | Z       | 10 <sup>-2</sup>  | centi    | c       |
| 10 <sup>18</sup> | exa      | E       | 10 <sup>-3</sup>  | milli    | m       |
| 10 <sup>15</sup> | penta    | P       | 10 <sup>-6</sup>  | micro    | μ       |
| 10 <sup>12</sup> | tera     | T       | 10 <sup>-9</sup>  | nano     | n       |
| 10 <sup>9</sup>  | giga     | G       | 10 <sup>-12</sup> | pico     | p       |
| 10 <sup>6</sup>  | mega     | M       | 10 <sup>-15</sup> | femto    | f       |
| 10 <sup>3</sup>  | kilo     | k       | 10 <sup>-18</sup> | atto     | a       |
| 10 <sup>2</sup>  | etto     | h       | 10 <sup>-21</sup> | zepto    | z       |
| 10 <sup>1</sup>  | deca     | da      | 10 <sup>-24</sup> | yocto    | y       |

**Il Sistema Internazionale di Misura è l'insieme di sette unità di misura fondamentali (metro, chilogrammo, secondo, Kelvin, candela, Ampere, mole) affiancate da due unità supplementari (radiante e steradiano) che servono rispettivamente per la misura degli angoli piani e solidi. Dalle sette unità di misura fondamentali è possibile ricavare tutte le unità di misura derivate necessarie a misurare le grandezze fisiche.**

Le sette grandezze fisiche, assunte come fondamentali dal Sistema Internazionale, sono riportate in tabella II assieme alle definizioni delle loro unità di misura e al simbolo che deve loro corrispondere. Le unità di misura delle grandezze fisiche derivate sono riportate in tabella III.

Non tutte le sette grandezze fondamentali, e quindi non tutte le sette unità di misura del S.I., sono utili allo studio dei settori della Fisica.

Per ora basterà fare riferimento a sole quattro grandezze fondamentali e alle loro unità di misura. Queste quattro grandezze fondamentali sono:

il *tempo*, o meglio l'intervallo di tempo, la cui unità di misura è il secondo [s];

la *lunghezza*, la cui unità di misura è il metro [m];

la *massa*, la cui unità di misura è il chilogrammo [kg];

la *temperatura*, o l'intervallo di temperatura, la cui unità di misura è il Kelvin [K].

Mediante queste quattro grandezze potranno essere definite tutte le altre grandezze utili allo studio della termodinamica e le loro unità di misura. In particolare verranno utilizzate le seguenti grandezze: *volume*, *velocità*, *forza* (definita come prodotto di massa x accelerazione), *pressione* (definita come forza/superficie nell'ipotesi che la forza agisca normalmente alla superficie).

Il Sistema Internazionale, che rappresenta il risultato di un processo di unificazione internazionale delle unità di misura, è stato adottato legalmente in molti paesi e imposto in Italia dal **Decreto del Presidente della Repubblica del 12 Agosto 1982 n. 802**.

Malgrado ciò, è ancora possibile imbattersi in unità di misura appartenenti a sistemi diversi, in particolare al Sistema Tecnico o al Sistema Anglosassone. E' pertanto necessario ricorrere ad operazioni di conversione che permettano di ottenere il corrispondente valore della grandezza in unità del S.I. In genere tali operazioni consistono nella moltiplicazione del valore espresso nelle unità di misura da convertire per un opportuno fattore.

Per comprendere come sono stati ricavati i fattori di conversione bisogna analizzare le *unità di misura che esprimono le sette grandezze fondamentali nei Sistemi Tecnico e Anglosassone* che sono riportate in tabella IV. Tuttavia il solo confronto tra le unità di

misura non rende pienamente ragione delle differenze concettuali esistenti tra i sistemi. E' necessario, infatti, rilevare che la più importante differenza tra il S.I. e gli altri due sistemi considerati riguarda l'unità di misura della grandezza derivata *energia*.

Come appare chiaramente considerando le unità di misura derivate del Sistema Internazionale, l'unica unità di misura dell'energia risulta essere lo Joule: pertanto nel S.I. vengono misurate in Joule (grandezza derivata dalle grandezze fondamentali lunghezza, massa e tempo) tutte le forme che l'energia assume prima dopo e durante le trasformazioni. Ciò significa, in particolare, che vengono misurate in Joule anche *lavoro e calore*.

Nei Sistemi Tecnico ed Anglosassone quest'omogeneità, invece, non esiste e l'energia in transito sotto forma di calore viene espressa da unità di misura indipendenti dalle unità di misura di lunghezza, massa e tempo che sono rispettivamente la *chilocaloria* (per il Sistema Tecnico) e la *British Thermal Unit* (per il Sistema Anglosassone). La *chilocaloria* viene definita come la quantità di calore necessaria per elevare di 1 °C (da 14,5°C a 15,5°C) la temperatura di una massa di acqua pari a 1 kg. Analogamente la *British Thermal Unit* viene definita come la quantità di calore necessaria per elevare di 1 °F la temperatura di una massa di acqua pari a 1 libbra.

Queste differenze si rispecchiano ovviamente in tutte le grandezze derivate nelle quali compaiono le grandezze fondamentali *tempo, temperatura, calore*. La conversione dall'uno all'altro sistema di unità di misura avviene per mezzo di opportuni *fattori di conversione tra i sistemi di unità di misura* riportati in tabella V.

NOTA: Per la temperatura si considerino le seguenti conversioni:

$$[^{\circ}\text{F}] = 1,8 [^{\circ}\text{C}] + 32$$

$$[\text{K}] = [^{\circ}\text{C}] + 273,15$$

**TABELLA II - Definizione delle unità di misura fondamentali del sistema S.I.**

| <b>grandezza fondamentale<br/>unità di misura</b> | <b>definizione</b>   |
|---|--|
| Lunghezza<br>metro<br>[m]                         | il <i>metro</i> corrisponde alla distanza percorsa nel vuoto dalla luce in 1/299792458 secondi.  |
| Massa<br>chilogrammo<br>[kg]                      | il <i>chilogrammo</i> è la massa uguale a quella del campione primario N.1, cilindro di platino-iridio conservato a Sévres presso il B.I.P.M. (Bureau Internationale Poids et mesures);  |
| Intervallo di tempo<br>secondo<br>[s]             | il <i>secondo</i> è l'intervallo di tempo che corrisponde a 9192631770 cicli della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'isotopo 133 del cesio.  |
| Intensità di corrente elettrica<br>Ampere<br>[A]  | l'Ampere è l'intensità di corrente costante che, se mantenuta in due conduttori paralleli, rettilinei, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile rispetto alla lunghezza e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro nel vuoto, produce tra i conduttori una forza eguale a $2 \times 10^{-7}$ N per metro di lunghezza. |
| Intervallo di temperatura<br>Kelvin<br>[K]        | il <i>Kelvin</i> è la frazione 1/273.16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.   |
| Intensità luminosa<br>Candela<br>[cd]             | Dopo il XVI CGPM del 1979 la definizione di <i>candela</i> è:<br>l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è di 1/683 W/sr.   |
| Quantità di materia<br>Mole<br>[mol]              | la <i>mole</i> , è la quantità di materia di un sistema che contiene tante unità elementari (atomi, molecole, ioni, elettroni ecc.) quanti sono esattamente gli atomi contenuti in 0.012 kg di carbonio-12.  |

Fonte: NIST Guide for the Use of the International System of Units (SI) - 1995

**TABELLA III - Unità derivate del sistema S.I.**

| <b>grandezza fisica</b>  | <b>unità di misura</b>            | <b>simbolo</b>      | <b>equivalenza</b>                    |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| superficie               | metro quadrato                    | m <sup>2</sup>      |                                       |
| volume                   | metro cubo                        | m <sup>3</sup>      |                                       |
| frequenza                | Hertz                             | Hz                  | 1/s                                   |
| numero d'onde            | 1 per metro                       | m <sup>-1</sup>     |                                       |
| velocità                 | metro per secondo                 | m/s                 |                                       |
| accelerazione            | metro per secondo quadrato        | m/ s <sup>2</sup>   |                                       |
| velocità angolare        | radiante per secondo              | r/s                 |                                       |
| accelerazione angolare   | radiante per secondo quadrato     | r/ s <sup>2</sup>   |                                       |
| massa volumica           | chilogrammo per metro cubo        | kg/ m <sup>3</sup>  |                                       |
| forza                    | newton                            | N                   | kg m / s <sup>2</sup>                 |
| pressione                | pascal                            | Pa                  | kg /(m s <sup>2</sup> )               |
| viscosità dinamica       | Newton secondo per metro quadrato | N s/ m <sup>2</sup> | kg /(m s)                             |
| viscosità cinematica     | metro quadrato per secondo        | m <sup>2</sup> /s   |                                       |
| energia, lavoro          | Joule                             | J                   | kg m <sup>2</sup> / s <sup>2</sup>    |
| potenza                  | Watt                              | W                   | kg m <sup>2</sup> / s <sup>3</sup>    |
| entropia                 | Joule per Kelvin                  | J/K                 | kg m <sup>2</sup> /(s <sup>2</sup> K) |
| calore specifico         | Joule per chilogrammo Kelvin      | J/(kg K)            | m <sup>2</sup> /(s <sup>2</sup> K)    |
| conduttività termica     | Watt per metro Kelvin             | W/(m K)             | kg m/(s <sup>3</sup> K)               |
| carica elettrica         | Coulomb                           | C                   |                                       |
| tensione elettrica       | Volt                              | V                   |                                       |
| campo elettrico          | Volt per metro                    | V/m                 |                                       |
| capacità elettrica       | Farad                             | F                   |                                       |
| permittività             | Farad per metro                   | F/m                 |                                       |
| resistenza elettrica     | Ohm                               | Ω                   |                                       |
| induzione magnetica      | Tesla                             | T                   |                                       |
| Flusso induzione magnet. | Weber                             | Wb                  |                                       |
| campo magnetico          | Ampere per metro                  | A/m                 |                                       |
| forza magnetomotrice     | Ampere                            | A                   |                                       |
| induttanza               | Henry                             | H                   |                                       |
| permeabilità             | Henry per metro                   | H/m                 |                                       |
| flusso luminoso          | lumen                             | lm                  |                                       |
| luminanza                | candela per metro quadro          | cd/m <sup>2</sup>   |                                       |
| illuminamento            | lux                               | lx                  |                                       |
| intensità energetica     | Watt per steradiante              | W/sr                |                                       |

**TABELLA IV - Unità di misura delle sette grandezze fondamentali.**

| grandezza<br>fondamentale                  | unità di misura           |                       |                         |
|--|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
|  | Sistema<br>Internazionale | Sistema<br>tecnico    | Sistema<br>anglosassone |
| <b>Lunghezza</b>                           | metro<br>[m]              | metro<br>[m]          | piede<br>[ft]           |
| <b>Massa</b>                               | chilogrammo<br>[kg]       |                       |                         |
| <b>Intervallo di tempo</b>                 | secondo<br>[s]            | Ora<br>[h]            | ora<br>[h]              |
| <b>Intensità di<br/>corrente elettrica</b> | Ampere<br>[A]             | Ampere<br>[A]         | Ampere<br>[A]           |
| <b>Intervallo di<br/>temperatura</b>       | Kelvin<br>[K]             | grado Celsius<br>[°C] | grado Farenheit<br>[°F] |
| <b>Intensità luminosa</b>                  | candela<br>[cd]           | candela<br>[cd]       | candela<br>[cd]         |
| <b>Quantità di materia</b>                 | mole<br>[mol]             | mole<br>[mol]         | mole<br>[mol]           |
| <b>Forza</b>                               |                           | chilogrammo<br>[kg]   | libbra<br>[lb]          |

**TABELLA V - Fattori di conversione tra i sistemi di unità di misura**

| Grandezza               | per convertire       |                    | moltiplicare per        |
|-------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|
|                         | da                   | a                  |                         |
| lunghezza               | ft                   | m                  | 0,3048                  |
| massa                   | lb                   | kg                 | 0,45359                 |
| tempo                   | h                    | s                  | 3600                    |
| accelerazione           | m/ h <sup>2</sup>    | m/ s <sup>2</sup>  | 7,7160 10 <sup>-8</sup> |
| portata di massa        | lb/h                 | kg/ s              | 1,260 10 <sup>-4</sup>  |
| densità                 | lb/ft <sup>3</sup>   | kg/ m <sup>3</sup> | 16,018                  |
| forza                   | lbf                  | N                  | 4,4482                  |
|                         | kgf                  | N                  | 9,8066                  |
| pressione               | kgf/ cm <sup>2</sup> | N/ m <sup>2</sup>  | 98066                   |
| quantità di calore      | Btu                  | J                  | 1055,07                 |
|                         | kcal                 | J                  | 4186,8                  |
| potenza termica         | Btu/ h               | W                  | 0,29307                 |
|                         | kcal/ h              | W                  | 1,1630                  |
| calore specifico        | Btu/ (lb °F)         | J/ (kg K)          | 4186,8                  |
|                         | kcal/ (kg °C)        | J/ (kg K)          | 4186,8                  |
| conduttività<br>termica | Btu/ (ft h °F)       | W/ (m K)           | 1,73078                 |
|                         | kcal/ (m h °C)       | W/ (m K)           | 1,163                   |
| viscosità dinamica      | lb/ (ft h)           | kg/ (m s)          | 4,1342 10 <sup>-4</sup> |

## 1.2 UNITÀ DI MISURA, CONVENZIONI, SIMBOLI

I simboli delle unità di misura devono essere scritti in carattere tondo (diritto normale), come indica la norma UNI 10003, e, nei casi di possibile ambiguità, racchiuse entro parentesi quadre.

Per la scrittura delle unità che hanno un denominatore è opportuno adottare la notazione completa di tutte le parentesi necessarie per rendere l'espressione non ambigua, oppure quella con esponenti negativi, ad esempio:  $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  oppure  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Per evitare ambiguità, i simboli delle grandezze fisiche saranno scritti in corsivo, sia nelle righe del testo che nelle formule. Ad esempio: "..... la massa  $m$  di un corpo è pari a 10 kg ", " ..... una forza  $F$  spinge un corpo avente massa pari ad  $m$  [kg] .....".

Ulteriori convenzioni adottate saranno le seguenti:

1. il simbolo  $\tau$  rappresenta il tempo, i simboli  $t$  e  $T$  rappresentano la temperatura; il simbolo  $w$  rappresenta la velocità di un punto materiale, il simbolo  $c$  rappresenta la velocità delle onde;
2. il simbolo  $c$  indica il calore specifico tranne quando può esservi ambiguità con la velocità dell'onda; in tal caso viene utilizzato la stessa lettera nello stile "scrittura manuale":  $c$  ;
3. le grandezze che rappresentano la derivata prima di una grandezza, rispetto ad un'altra grandezza, diversa dal tempo, sono rappresentate con la lettera minuscola corrispondente alla grandezza di partenza; nei casi nei quali potrà esservi ambiguità saranno utilizzati i simboli minuscoli con lo stile della scrittura "a mano".
4. le grandezze che rappresentano la derivata prima di una grandezza, rispetto al tempo, sono rappresentate con il simbolo ottenuto scrivendo un punto al di sopra della lettera che rappresenta la grandezza di partenza; ad esempio  $m$  = massa,  $\dot{m} = dm / d\tau = \text{flusso di massa o portata di massa}$ ,  $\dot{Q} = dQ / d\tau = \text{flusso termico o potenza termica}$ ;  $\dot{E} = dE / d\tau = \text{potenza radiante globale, per unità di superficie o emissione globale}$ .

## Bibliografia

- A. Cavallini, L. Mattarolo, *Termodinamica Applicata*, CLEUP, Padova, 1992  
G.F.C. Rogers, Y.R. Meyhew, *Engineering Thermodynamics*, 4<sup>th</sup> Edition, Longman, 1992  
National Institute of Standards and Technology, *Guide for the Use of the International System of Units (SI)* – NIST, Boulder (USA), 1995