12. GRANDEZZE FISICHE - ANALISI DIMENSIONALE

12.1. Grandezze fisiche, unità di misura, sistemi di unità

Vogliamo dare alcune indicazioni circa l'impiego delle grandezze fisiche nella pratica quotidiana; senza nessuna pretesa di completezza e di rigore, trattandosi di un campo tutt'altro che ben sistemato.

L'adozione e l'uso delle grandezze fisiche hanno avuto carattere graduale e per lungo tempo sostanzialmente empirico: solo alla fine del '700 si è cominciata a porre l'esigenza di una precisa definizione dei campioni e di un sistema coerente di unità. Le prime grandezze fisiche di uso corrente sono state quelle geometriche (più il tempo e la massa, che però originavano più da necessità della vita civile e dei commerci, che non da motivazioni scientifiche). Poi sono apparse quelle cinematiche (velocità, accelerazione); infine, solo fra il '700 e 1'800, quelle dinamiche (forza, quantità di moto, energia . . .), quelle termiche, quelle elettriche, ecc.

12.1.1. Grandezze omogenee e unità di misura

In una prima fase grandezze *omogenee* sono soltanto quelle con la stessa definizione operativa: così sono fra loro omogenee le lunghezze, oppure le masse, ecc.; mentre non esiste alcuna relazione fra grandezze diverse, anche fra quelle che a noi oggi appaiono strettamente connesse, come ad es. lunghezza e area, oppure lunghezza, tempo e velocità.

Fra grandezze omogenee sono definite:

- la somma, che dà per risultato una grandezza della stessa specie
- il rapporto, che è un numero reale (puro).

Questa è sostanzialmente la teoria *euclidea* delle grandezze, su cui non vogliamo soffermarci. Va solo ricordato che la possibilità di rapporti non razionali, e quindi della necessità di *completare* l'insieme dei numeri razionali, è stata una delle grandi scoperte della matematica greca (Pitagora).

Nota: A differenza della teoria euclidea, per gli scopi della fisica conviene ammettere come rapporto anche un reale negativo.

In una classe (di equivalenza) di grandezze omogenee se ne sceglie una u come *unità* di misura; si chiama *misura* di un'altra grandezza g (della stessa classe di u) il rapporto $\gamma = g/u$, e si scrive anche $g = \gamma \cdot u$(*).

Nota: Segue da quanto detto sopra che l'espressione "m = 3 kg" va intesa così: "m" è la grandezza, "3" la misura, "kg" è l'unità; l'espressione "ma" va intesa come prodotto delle grandezze:

$$ma = 3\ \text{kg} \times 2\text{m/s}^2 = 6\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2 = 6\ \text{N},$$

Ormai a favore di questo uso esiste anche una convenzione internazionale: quando si scrive F in un'equazione fisica si deve intendere la *grandezza*, non la misura; le *equazioni fisiche sono relazioni fra grandezze*. Il principale vantaggio è che in tal modo non ci si deve preoccupare delle unità: le *relazioni sono indipendenti dal sistema di unità adottato*, a meno che non si sostituiscono le loro misure. (Quindi in una relazione fisica non devono comparire le misure)

12.1.2. Il Sistema Internazionale di unità

Il metro, il metro quadrato, il metro cubo e il radiante sono unità di misura di grandezze diverse ma legate fra di loro in un sistema coerente di unità di misura, in cui si cerca di minimizzare il numero di costanti moltiplicative nelle formule e la complicazione nelle espressioni. La scelta delle unità e delle loro relazioni è frutto di convenzioni, che devono essere accettate dal più gran numero possibile di persone e di Stati per poter essere un effettivo veicolo di comunicazione delle informazioni quantitative.

L'esigenza di uniformare e standardizzare le unità di misura fu sentita storicamente da tempi remoti, e in numerosi Paesi i regnanti si preoccuparono anche di questo aspetto nel tentativo di unificare il loro impero, dai faraoni egiziani a Carlo Magno a Carlo V, per non citarne che alcuni. Il primo grosso tentativo di accordo internazionale in questo campo, tuttavia, risale al Trattato del Metro, firmato a Parigi nel 1875 dai rappresentanti di 17 Paesi, cui in seguito se ne aggiunsero molti altri. Fra l'altro questo trattato prevedeva la nascita di un istituzione internazionale tuttora esistente, l'Ufficio Internazionale dei Pesi e

(*) *Ne segue che una classe di grandezze omogenee è uno spazio vettoriale, di dimensione 1, sui reali.*

Misure, che periodicamente convoca riunioni di scienziati per discutere le eventuali modifiche da apportare al sistema di unità di misura.

Il sistema di unità di misura attualmente in vigore prende il nome di Sistema Internazionale di Unità (più comunemente indicato come sistema SI), ed è stato introdotto nel 1960, con lievi modifiche successive. Esso contiene non solo le definizioni di alcune unità fondamentali (come il metro), ma anche le relazioni fra le varie unità di misura, i loro nomi speciali, i prefissi utilizzabili, le convenzioni di scrittura, in una parola le «regole grammaticali» per una corretta scrittura delle misure, che sia comprensibile a tutti. Il sistema SI è oggi accettato da quasi tutti gli stati del mondo (in Italia ha forza di legge), e anche laddove non è usato nelle transazioni legali (come negli Stati Uniti d'America) esso è utilizzato di fatto dagli scienziati perché molto più comodo e più universalmente compreso. Se leggeste gli articoli scientifici scritti dagli scienziati americani che comunicano ai colleghi i risultati delle loro ricerche, trovereste che essi usano sistematicamente il sistema SI, e non i piedi e i galloni a cui i loro connazionali sembrano tuttora molto affezionati.

Durante il corso introdurremo progressivamente le unità SI delle varie grandezze. Ogni tanto, tuttavia, citeremo anche (come abbiamo già fatto per alcune grandezze viste sinora) unità non SI di interesse storico o comunque ancora usate: anche in Italia (fra i firmatari del Trattato del Metro del 1875 e di tutte le convenzioni successive) vengono ancora usate comunemente unità non-SI inutili e inopportune come la caloria o il cavallo-vapore: le tradizioni sono dure a morire!

Le grandezze fondamentali(*) del SI sono: *massa* (kg), *lunghezza* (m), *tempo* (s), *temperatura* (K), *quantità di materia* (mol), *intensità di corrente* (A), *intensità luminosa* (cd).
Della definizione delle unità di lunghezza, di tempo e di massa abbiamo già trattato; le altre le definiremo al momento opportuno.

Fissate le grandezze fondamentali, tutte le altre sono *derivate*, ma non è ancora specificato come. Esempio: se lunghezza e tempo sono fondamentali è quasi inevitabile definire la velocità da $v = \Delta r/\Delta t$ e l'accelerazione da $a = \Delta v/\Delta t$; ma la forza? Possiamo scegliere qualsiasi relazione in cui una forza sia legata a grandezze fondamentali: ad es. $F = ma$, oppure $F = m_1 m_2 / r^2$ (la soluzione adottata è la prima, perché più utile; ma bisogna dirlo).

[Così l'energia cinetica si definisce da $E_c = ½mv^2$, e non da $E_c = ½T$ (che è il "teorema di equipartizione" della meccanica statistica, scritto con $k = 1$): ci sono ottime ragioni per questo, ma non una necessità logica.]

Una volta definite tutte le grandezze derivate, si hanno diverse conseguenze:
- viene estesa la classe delle grandezze tra loro omogenee: ad es. v^2/r è omogenea a g, a $\omega^2 r$, ecc.
- in alcune relazioni compaiono le *costanti universali*, es. $F = G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$; $\langle E_c \rangle = ½kT$;
- ha senso parlare di *sistema coerente di unità*;
- ha senso parlare di *dimensioni*.

Un sistema coerente di unità usa per le grandezze derivate le unità dedotte dalle equazioni di definizione delle grandezze, *senza fattori numerici*. Ad es. nel SI l'unità di velocità *deve* essere m/s, quella di forza $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ (che si chiama "newton"), quella di energia cinetica $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ (che si chiama "joule") ecc. [Invece nel sistema CGS l'unità di velocità sarà cm/s e quella di forza $g \cdot cm^2 \cdot s^{-2}$ (dyne).]

12.2. Dimensioni

Come abbiamo già detto alla fine del cap. precedente, una volta scelte le grandezze fondamentali di un sistema di unità, e fissate le definizioni delle grandezze derivate, le unità di queste ultime discendono automaticamente dalla scelta fatta per le unità delle prime. Di conseguenza, ogni cambiamento nelle unità delle grandezze fondamentali si riflette in un dato modo anche nelle unità delle grandezze derivate. Questo fatto si esprime con il concetto di *dimensione fisica*.

La dimensione fisica di una grandezza indica il *modo di trasformarsi* della sua unità in un sistema coerente, quando si cambiano le unità fondamentali.

La dimensione fisica di una grandezza si esprime con il simbolo $[g]$.

Le dimensioni delle grandezze fisiche fondamentali nel SI sono:
$[L]$ per la lunghezza; $[M]$ per la massa; $[T]$ per il tempo; $[\Theta]$ per la temperatura;
$[I]$ per la intensità di corrente; $[N]$ per la quantità di materia; $[J]$ per la intensità luminosa.

(*) *cioè le grandezze le cui unità di misura sono definite indipendentemente da tutte le altre.*

Esempi: L'unità di velocità è proporzionale a quella di lunghezza e inversamente proporzionale a quella di tempo e si scrive: $[v] = \frac{[\text{lunghezza}]}{[\text{tempo}]} = \frac{[L]}{[T]} = [LT^{-1}]$.

L'unità di forza: $[F] = [\text{massa}] \cdot [\text{accelerazione}] = [M] \cdot [LT^{-2}] = [LMT^{-2}]$.

L'unità di volume è proporzionale alla terza potenza della di lunghezza $[V]=[L^3]$.

L'unità di energia cinetica è proporzionale a quella di massa, al quadrato di quella di lunghezza, inversamente proporzionale al quadrato dell'unità di tempo: $[E_c] = [M][L^2][T^{-2}]$.

Nota: Dagli esempi si vede la corretta *notazione dimensionale*: nelle equazioni dimensionali si scrivono, fra parentesi quadre, i **simboli delle *grandezze***, non quelli delle unità.

Osservazione: La dimensione fisica di una grandezza è puramente *convenzionale* (non ha alcun significato profondo). Questo per due ragioni:
- in primo luogo perché la scelta delle grandezze fondamentali, da cui dipende la dimensione, è arbitraria.
- in secondo luogo perché lo stesso accade per la scelta delle equazioni di definizione delle grandezze derivate.

Si dice *numero puro* (o anche *adimensionale*) una grandezza che ha dimensione $[L^0]\cdot[M^0]\cdot[T^0]\cdot...$ Ne segue che la misura di un numero puro *non dipende dalla scelta delle unità* (in un dato sistema coerente). Ne segue anche che *non esistono unità di misura per i numeri puri*.

Da quanto detto segue che le dimensioni di una qualsiasi grandezza fisica g nel SI si possono esprimere come:

$[g] = [L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\zeta J^\eta]$, in meccanica più semplicemente: $[g] = [L^\alpha M^\beta T^\gamma]$.

E quindi nel SI l'unità di misura derivata di g

$\mathrm{m}^\alpha \cdot \mathrm{kg}^\beta \cdot \mathrm{s}^\gamma \cdot \mathrm{A}^\delta \cdot \mathrm{K}^\varepsilon \cdot \mathrm{mol}^\zeta \cdot \mathrm{cd}^\eta$ ($\mathrm{m}^\alpha \cdot \mathrm{kg}^\beta \cdot \mathrm{s}^\gamma$, in meccanica).

Si ottiene sostituendo le dimensioni delle grandezze fondamentali scelte per il SI con i simboli delle corrispondenti unità fondamentali sempre del SI.

12.3. Equazioni, funzioni e controlli dimensionali

Grandezze omogenee si misurano nelle stesse unità, dunque hanno le stesse dimensioni. Si noti che il viceversa non è sempre vero: ne riparleremo più avanti.

I due membri di un'equazione fisica, dovendo essere uguali, sono necessariamente omogenei. Di qui la

***Regola 1**: I due membri di un'equazione fisica debbono avere le stesse dimensioni.*

Esempio: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Poiché la somma ha senso solo fra grandezze omogenee, si ha la

***Regola 2**: I termini di una somma in un'equazione fisica debbono avere le stesse dimensioni.*

Esempio: L'equazione $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

soddisfa alle due regole, poiché tanto x, quanto $v_0 t$ e $\frac{1}{2}at^2$ hanno dimensione $[L]$.

Non ci sono invece restrizioni per i prodotti e le potenze: è lecito moltiplicare due grandezze x e y qualsiasi, e la dimensione del prodotto si otterrà con la regola del prodotto delle potenze:

$$[v_0 t] = [v_0]\cdot[t] = [L]\cdot[T^{-1}]\cdot[T] = [L].$$

In modo analogo si procede col quoziente, e anche con potenze di esponente qualsiasi:

$$\left[\sqrt{\frac{l}{g}}\right]=\left[\frac{l}{g}\right]^{\frac{1}{2}}=\left([L]\cdot\left[L^{-1}\right]\cdot\left[T^{2}\right]\right)^{\frac{1}{2}}=[T]\ .$$

Consideriamo ora un'equazione della forma $y = f(x)$, dove la funzione f *non è una potenza ad esponente razionale* (può essere un'esponenziale, una funzione circolare, ecc.). Dalla Regola 1 sappiamo che y ed $f(x)$ debbono avere le stesse dimensioni; ma quali sono le dimensioni di $f(x)$? Se x è un numero puro, non ci sono problemi: anche $f(x)$ è un numero puro, e perciò lo deve essere anche y. Ma se x non è adimensionale, che significato ha $f(x)$?

Le funzioni della matematica sono $\mathbf{R} \to \mathbf{R}$, ossia tra numeri puri. Sembra perciò possibile intendere che $f(x)$ vada calcolata non su x, ma sulla *misura* di x (che in quanto rapporto di due grandezze omogenee, è certamente un numero puro). Nasce però una difficoltà: se cambiamo l'unità di misura, la misura cambia, e perciò cambia $f(x)$, e *non per un fattore di proporzionalità*, perché f non è una potenza. Dunque a $f(x)$ *non si potrebbe attribuire una dimensione definita*, e perciò questa via d'uscita è preclusa.
Non resta dunque che concludere con la

Regola 3*: Ogni espressione che compaia come argomento di una funzione diversa da una potenza ad esponente razionale, dev'essere un numero puro.*
Esempio: $\sin(\omega t)$.

Su queste tre regole si basano i *controlli dimensionali*: un'equazione fisica che non soddisfi a tutte e tre le regole, è certamente sbagliata. È appena necessario osservare che le regole danno criteri necessari, ma non sufficienti, per più ragioni:
- come abbiamo già osservato, non sempre grandezze con le stesse dimensioni sono veramente omogenee;
- spesso con le grandezze fisiche che figurano nell'equazione è possibile costruire numeri puri, e qualunque funzione di un numero puro non altera i controlli dimensionali;
- ancora più banalmente, è sempre possibile sbagliare un fattore numerico (per es. "perdere" un fattore 2 in un passaggio) e questo errore sfugge al controllo dimensionale.
  Ciò non toglie che i controlli dimensionali sono un aiuto prezioso, *che non bisogna mai trascurare*(*) .

Dalle Regole 1, 2, 3 (e quindi dal principio di omogeneità dimensionale) segue che (la dimostrazione è complessa): ogni grandezza derivata deve essere esprimibile come il prodotto di alcune costanti adimensionali e potenze (ad esponente razionale) arbitrarie delle grandezze fondamentali:

in meccanica $$g = k\cdot a^{\alpha}\cdot b^{\beta}\cdot c^{\gamma}\ .$$

Esempio: $F = ma = \dfrac{\Delta(\Delta x)}{(\Delta t)^2}$. Ciò non toglie che una grandezza possa essere legata ad altre grandezze in diversi modi, ma sempre dimensionalmente corretti: $F = Gm_1m_2r^{-2}$.

(*) *Le Regole 1, 2, 3 sono una semplice esplicitazione del principio di omogeneità dimensionale, un principio poco conosciuto ma molto importante perché è un principio semantico. È un principio che fa parte integrante della capacità linguistica di chi è istruito all'uso dei linguaggi formali. Questa capacità si manifesta non tanto nelle manipolazioni delle strutture simboliche adoperate quanto nella comprensione della legittimità delle rappresentazioni simboliche prodotte. È importante che gli studenti posseggano un minimo di capacità di controllo di ciò che fanno mediante formule date; che abbiano una reale capacità di lettura di quelle formule alla luce dei principi semantici che ne costituiscono la prima prova di verità.(C. Bernardini)*

12.4. Il problema degli angoli

L'esatto status degli angoli come grandezze fisiche ha sempre costituito un problema. Da un lato, sembra naturale considerarli numeri puri, in quanto rapporti di due lunghezze; dall'altro, come si spiega che esistano diverse unità di misura (radiante, grado, secondo ...)? Inoltre esistono gli "angoli solidi", che hanno unità di misura proprie (steradiante, grado quadrato, ...).

Nella *XX Conferenza Generale di Pesi e Misure* (XX CGPM, 9-12 Ottobre 1995) si è deciso di eliminare la classe delle unità supplementari (costituita da *radiante* e *steradiante*) portando così le classi delle unità del SI da tre (unità fondamentali, unità supplementari, unità derivate) a due (unità fondamentali, unità derivate). Con questa decisione si è così sancito di considerare il radiante e lo steradiante come grandezze derivate adimensionali:

- *il* radiante (rad) *è l'angolo piano tra due raggi di un cerchio che sottende sulla circonferenza un arco uguale in lunghezza al suo raggio*;
- *lo* steradiante (sr) *è l'angolo solido che, avendo il suo vertice nel centro di una sfera, sottende un'area sulla superficie della sfera uguale a quella di un quadrato con i lati di lunghezza pari al raggio della sfera*.

Essendo il radiante e lo steradiante grandezze derivate *adimensionali* il loro simbolo dovrebbe essere 1 (uno), tuttavia la XX CGPM lascia la libertà di usarli o meno nelle espressioni per le unità derivate del SI. In pratica, quando si esprime il valore di grandezze derivate coinvolgenti angoli piani o angoli solidi, può essere d'aiuto nella comprensione l'uso degli speciali nomi (o simboli) "radiante" (rad) o "steradiante" (sr) al posto del numero 1.

Esempio: la velocità angolare è una grandezza derivata avente le dimensioni di un angolo piano diviso per un tempo e dovrebbe essere espressa in unità s^{-1}, mentre di solito la si trova espressa in unità rad/s.

12.5. La deduzione "dimensionale" delle leggi fisiche

Accade spesso che sia possibile, con sole considerazioni dimensionali, prevedere la forma di certe leggi fisiche (ovviamente a meno di numeri puri). Vediamo un esempio canonico: il periodo di un pendolo.

Facciamo l'ipotesi che nell'espressione del periodo possano intervenire soltanto:

- la massa m
- la lunghezza l
- l'accelerazione di gravità g
- l'ampiezza θ delle oscillazioni.

Vediamo in primo luogo se con queste grandezze si può costruire un numero puro. Se trattiamo gli angoli come numeri puri, ovviamente lo è ogni $f(\theta)$; poi, essendo $[g] = [L]\cdot[T^{-2}]$:

$$\left[m^a\right]\cdot\left[l^b\right]\cdot\left[g^c\right]=\left[M^a\right]\cdot\left[L^{b+c}\right]\cdot\left[T^{-2c}\right]$$

e perciò si otterrà un numero puro solo se $a = 0$, $b + c = 0$, $c = 0$. Dunque nessuna combinazione monomia di m, 1, g è un numero puro.

Cerchiamo poi di costruire un tempo: dovrà essere $a = 0$, $b + c = 0$, $-2c = 1$ cioè $a = 0$, $b = ½$, $c = -½$. Dunque l'unico tempo che si può ottenere è $\sqrt{l/g}$. Riassumendo, la formula più generale per il periodo è:

$$T = f(\theta)\sqrt{l/g}\ .$$

Resta completamente indeterminata la dipendenza dall'ampiezza, e in particolare il fatto che $f(\theta) = 2\pi$.

Questo è tutto quanto si può ottenere nel nostro esempio con considerazioni dimensionali. Non si ottiene la formula esatta, e nemmeno quella approssimata per le piccole oscillazioni, ma può colpire che risulti dimostrata l'indipendenza del periodo dalla massa. Il fatto è che nelle nostre ipotesi era già contenuta molta fisica:

- l'identità di massa inerziale e gravitazionale (abbiamo usato una sola massa);
- il fatto che tutti gli effetti gravitazionali sulla Terra sono riassunti nell'unico parametro g;
- il non intervento di costanti universali (c, G, k, . . .).

Dunque l'argomento dimensionale è tutt'altro che "ingenuo"! Di conseguenza, è anche tutt'altro che semplice applicarlo correttamente, perché bisogna saper bene quali sono le ipotesi ragionevoli da fare.

12.6. Il Sistema Internazionale di unità di misura (SI) – Tabelle e Norme

Il Sistema internazionale di unità di misura (SI) si basa sul preesistente sistema metrico decimale ed è stato definito in apposite conferenze e accordi internazionali allo scopo di fornire un insieme logico e coerente di unità di misura utilizzabili nella scienza, nell'industria e nel commercio. Il sistema SI comprende sette unità di misura fondamentali definite operativamente (si veda la Tabella 1). Tutte le altre unità di misura (unità SI derivate) sono definite a partire da quelle fondamentali.

Tabella 1 Unità di misura SI fondamentali.

Quantità fondamentale	*Simbolo*	*Unità SI fondamentale*	*Dimensioni*	*Definizione operativa*
Lunghezza	l	metro (m)	[L]	*È la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di 1/299792458 di secondo* (XVII CGPM, 1983). Sino in tempi recenti era la distanza tra due tacche su una sbarra di platino iridio conservata a Sèvres.
Massa	m	kilogrammo (kg)	[M]	*È la massa del prototipo internazionale del kilogrammo* (III CGPM, 1901). Il prototipo in platino iridio è conservato a Sèvres.
Tempo	t	secondo (s)	[T]	*È la durata di tempo che corrisponde a* 9192631770 *periodi della radiazione prodotta dalla transizione tra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo del cesio* 133 (XIII CGPM, 1967).
Corrente elettrica	I	ampere (A)	[I]	*È la corrente costante che, passando in due conduttori paralleli di lunghezza infinita, sezione circolare trascurabile e disposti alla distanza di* 1 *metro nel vuoto, produce tra di essi una forza uguale a* 2×10^{-7} *newton per metro di lunghezza* (IX CGPM, 1948).
Temperatura termodinamica	T	kelvin (K)	[Θ]	*È la frazione* 1/273.16 *della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua* (XIII CGPM, 1967).
Quantità di sostanza	n	mole (mol)	[N]	1. *È la quantità di sostanza contenuta in un sistema costituito da tante entità elementari quanti sono gli atomi contenuti in* 0.012 *kilogrammi di carbonio* 12. 2. *Quando si usa la mole, si devono specificare le entità elementari siano esse atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle, o specificati gruppi di tali particelle.* (XIV CGPM, 1971) Nella definizione di mole, è sottinteso che ci si riferisce ad atomi di carbonio 12 non legati, a riposo e nel loro stato fondamentale.
Intensità luminosa	I_v	candela (cd)	[J]	*È l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette radiazione monocromatica di frequenza* 540×10^{12} *hertz e che ha una intensità radiante in quella direzione di* (1/683) *watt per steradiante* (XVI CGPM, 1979).

Con la XI CGPM del 1960, furono introdotti tanti prefissi e altrettanti simboli per formare i nomi e i simboli di multipli e sottomultipli decimali delle unità di misura del SI da 10^{-12} a 10^{12} (per le potenze positive del 10 si scelsero nomi derivanti dal greco, mentre per le potenze negative nomi derivati dal latino). I prefissi ed i relativi simboli per 10^{-15} e 10^{-18} vennero aggiunti con la XII CGPM del 1964 (femto e atto derivano dal danese o dal norvegese), quelli per 10^{15} e 10^{18} con la XV CGPM del 1975 (peta ed exa derivano dal greco), quelli per 10^{-21}, 10^{-24}, 10^{21} e 10^{24} con la XIX CGPM del 1991 (l'uso dei prefissi con la lettera "y" e "z" è ancora molto limitato, i loro nomi derivano dal greco). La tabella 2 riporta tutti i prefissi ed i relativi simboli oggi approvati. I prefissi ed i simboli indicano la potenza di 10 per cui va moltiplicata

l'unità di misura principale. Usando questi prefissi si possono esprimere i multipli ed i sottomultipli decimali delle unità fondamentali e derivate, come ad esempio:

1 micrometro (1 μm) = 1×10^{-6} m (*detto talvolta* micron); 1 nanosecondo (1 ns) = 1×10^{-9} s;
1 kilometro (1 km) = 1000 m; 1 gigametro (1 Gm) = 1×10^{9} m.

Tabella 2. I prefissi del Sistema Internazionale e i relativi simboli.

Fattore	*Prefisso*	*Simbolo*	*Fattore*	*Prefisso*	*Simbolo*
$10^{24} = (10^3)^8$	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
$10^{21} = (10^3)^7$	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
$10^{18} = (10^3)^6$	exa	E	$10^{-3} = (10^3)^{-1}$	milli (*)	m
$10^{15} = (10^3)^5$	peta	P	$10^{-6} = (10^3)^{-2}$	micro (*)	μ
$10^{12} = (10^3)^4$	tera	T	$10^{-9} = (10^3)^{-3}$	nano (*)	n
$10^{9} = (10^3)^3$	giga (*)	G	$10^{-12} = (10^3)^{-4}$	pico (*)	p
$10^{6} = (10^3)^2$	mega (*)	M	$10^{-15} = (10^3)^{-5}$	femto	f
$10^{3} = (10^3)^1$	kilo (*)	k	$10^{-18} = (10^3)^{-6}$	atto	a
10^{2}	etto	h	$10^{-21} = (10^3)^{-7}$	zepto	z
10^{1}	deca	da	$10^{-24} = (10^3)^{-8}$	yocto	y

(*) Si tratta dei prefissi più usati in Fisica.

Norme di scrittura del SI

Tali norme, vivamente raccomandate dal *Comitato Internazionale di Pesi e Misure* (CIPM), riguardano il modo di scrivere le unità di misura SI e i relativi simboli: le unità, anche se derivate da nomi propri, devono essere sempre scritte in carattere tondo minuscolo e prive di accenti; per esempio, si scrive ampere e non ampère o Ampère; i simboli devono invece essere scritti con l'iniziale maiuscola se derivati da nomi propri, minuscola in tutti gli altri casi: *per esempio si scriverà* W *per* watt, J *per* joule, N *per* newton, *ma* lm *per* lumen, cd *per* candela. I simboli delle unità di misura non vanno mai fatti seguire dal punto (m, *non* m.) e vanno sempre scritti dopo il valore numerico (3 kg, *non* kg 3).

L'unità di misura, se citata in un periodo nel quale non è accompagnata dal valore numerico della grandezza cui si riferisce, va sempre scritta per esteso e mai in simbolo (per esempio, si dirà «il kilogrammo è l'unità di massa del SI» e non «il kg è l'unità di massa del SI»).

Per le unità composte da due o più altre, nella scrittura del simbolo non si devono usare trattini, ma solo un punto a mezza altezza o uno spazio vuoto (*per esempio, si scriverà* 1 Wb = 1 V·s *o* 1 Wb = 1 V s, *ma non* 1 Wb = 1 V-s).

Non è permesso l'uso di prefissi composti, cioè, la scrittura di due o più prefissi, uno di seguito all'altro, prima della unità di misura (*per esempio, si scriverà* 4 nm (4 nanometri) *ma non* 4 mμm (4 millimicrometri)).

Per ragioni storiche, il nome "kilogrammo" utilizzato per l'unità fondamentale di massa del SI contiene "kilo", il prefisso SI per 10^3. Poiché, come si è appena detto, non è possibile utilizzare prefissi composti, i simboli per i multipli ed i sottomultipli decimali dell'unità di massa vengono formati attaccando i simboli dei prefissi SI a al simbolo del grammo (g), e i nomi di tali multipli e sottomultipli si formano attaccando i prefissi SI al nome "grammo" (*per esempio si scriverà* 10^{-6} kg = 1 mg (1milligrammo) *ma non* 10^{-6} kg = 1 μkg (1 microkilogrammo)).