

PREFAZIONE

Sono stato spinto alla stesura di questo piccolo manuale dal desiderio di favorire tutte le persone che dedicandosi con passione al miglioramento delle prestazioni tecniche degli atleti italiani, si impegnano quotidianamente nell'approfondimento delle loro conoscenze tecniche e scientifiche. La maggiore difficoltà che a mio giudizio incontra colui che effettua questi tentativi è la disuniformità di simbolismo delle varie pubblicazioni ed i diversi sistemi di misura che vengono adottati. Ritengo sia necessario che tutti adottino le delibere pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea del 29-10-71 e questo libricino è un tentativo perché ognuno cambi le proprie abitudini.

Pochi elementi di statistica sono la base per la comprensione di risultati, studi e relazioni congressuali che vengono continuamente presentati e pubblicati per gli appassionati e per gli addetti ai lavori della nostra disciplina atletica, cosicché ho creduto di fare cosa gradita nel riassumerli in forma oltremodo sintetica, completando il tutto con il richiamo dei criteri con cui si procede con rapidità alla stesura od all'esame di tabelle, grafici e diagrammi.

Giorgio Sordello

Roma, settembre 1977

UNITA' DI MISURA - SISTEMI DI UNITA'

I.1 Definizione di grandezza - Misura delle grandezze fisiche - Unità di misura

Viene definita *grandezza* ogni entità alla quale sia stato possibile assegnare univocamente un numero mediante una determinata operazione. Vengono chiamate *grandezze omogenee* quelle grandezze che sono misurabili attraverso identici procedimenti sperimentali.

Preliminare al processo di confronto tra varie grandezze è pertanto l'operazione che ne stabilisce l'omogeneità, infatti sono confrontabili solo grandezze omogenee.

La teoria delle misure è volta alla ricerca delle unità di riferimento, attraverso le quali, con operazioni di confronto, noi potremo assegnare ad ogni entità fisica un numero che rappresenti il rapporto tra questa e quella di riferimento ad essa omogenea.

Pertanto tutte le grandezze fisiche saranno completamente determinate da un numero seguito dal simbolo dell'unità di misura scelta. E' opportuno precisare che nella fisica esistono più unità di misura per ogni grandezza, ciò è dovuto a molteplici fattori che non analizzeremo in questa sede; es. la forza può essere misurata indifferentemente usando come unità di misura il newton, la dina od il kg-peso. Da ciò nasce il problema del cambio di unità di misura quando se ne sia effettuata una con un metodo e se ne voglia conoscere l'entità con un altro.

Esempio: 15 metri a quante yards sono uguali?

E' importante determinare a questo punto il numero che fissa il rapporto tra la prima e la seconda unità di misura e che viene definito fattore di ragguglio: f_r .

Per tornare all'esempio precedente, il fattore di ragguglio tra il metro e la yard è 1,094, e cioè:

$$1 \text{ m} = 1,094 \text{ yard}$$

(viceversa $1 \text{ yard} = 0,9144 \text{ m}$)

e si ottiene dal rapporto delle lunghezze:

$$\frac{1 \text{ metro}}{1 \text{ yard}} = 1,094$$

$$\text{(viceversa } \frac{1 \text{ yard}}{1 \text{ metro}} = 0,9144)$$

quindi 15 metri sono uguali a $15 \times 1,094$ yards e cioè 16,41 yards.

1.2 Misure dirette e relative - Misure indirette e assolute - Dimensioni delle grandezze fisiche - Unità di misura fondamentali e derivate.

Quando si procede alla misura di una grandezza fisica confrontandola con il campione preso come riferimento, possiamo dire di aver misurato *direttamente* la grandezza od anche in *maniera relativa*.

Ora sta di fatto che in natura le leggi stabiliscono delle relazioni fra le varie grandezze e noi possiamo procedere alla misura di una di esse mediante la conoscenza di altre.

Esempio: la misura di un'area prendendo come unità una lunghezza e legando le due grandezze con la relazione

$$A = l^2 \quad (1.2.1)$$

Così facendo abbiamo misurato la grandezza (area) *indirettamente* e siccome non è stato necessario fissare il campione di area, possiamo anche dire di aver effettuato la misura in *maniera assoluta*. Nel caso in cui si procedesse alla misura di un'area mediante una lunghezza e si dovesse poi cambiare unità di riferimento, noi dovremo effettuare sul fattore di ragguglio tra le due unità la stessa operazione effettuata sull'unità iniziale.

Esempio: l'area di un quadrato di 3 m di lato si ottiene elevando alla 2^a potenza la lunghezza del suo lato, nel caso in cui volessimo misurare la suddetta area in yd², dovremo elevare alla stessa potenza il fattore di ragguglio: $f_r = 1,094$.

$$A = (3 \text{ m})^2 = 9 \text{ m}^2$$

oppure:

$$A = [3 (f_r \cdot \text{yd})]^2 = 9 \cdot 1,094^2 \text{ yd}^2 = 10,772 \text{ yd}^2$$

Per quanto riguarda invece le *dimensioni* dell'area noi scriveremo concisamente:

$$|A| = |L^2| \quad (1.2.2)$$

Bisogna però dire che una grandezza può essere determinata indirettamente anche con diverse espressioni che nascono da leggi differenti.

Esempio: l'accelerazione a cui è sottoposto un grave è espressa dalle relazioni:

$$l = \frac{1}{2} g t^2 \quad G = mg$$

dove abbiamo indicato con: l lo spazio percorso dal grave in caduta, g l'accelerazione di gravità, t il tempo di caduta del grave a partire dalla velocità uguale a zero, G la forza di gravità, m la massa del grave e si può ottenere dimensionalmente ed indifferentemente dalle due espressioni:

$$|g| = |l| |t^{-2}| \qquad |g| = |G| |m^{-1}|$$

Viene spontaneo chiedersi se sia possibile misurare tutte le grandezze fisiche in maniera indiretta. La risposta è negativa in quanto dovremo prendere sempre alcune unità di misura come riferimento; queste unità, che a seconda dei sistemi di misura sono differenti, vengono chiamate *unità di misura fondamentali*. Tutte le altre sono le *derivate*.

1.3 Sistemi di misura

In questo paragrafo vengono trattati in particolare i sistemi di misura inglese ed il sistema internazionale secondo le delibere adottate alla XV Conferenza Generale Pesi e Misure del 1975 (CGPM); infine, vengono dati alcuni cenni di sistemi di misura meno adottati:

1.3.1 « Sistema Internazionale di Unità » (SI)

Il sistema si basa sulla adozione di sette grandezze fondamentali che sono le seguenti:

- il *metro* (m) come unità di lunghezza
- il *chilogrammo* (kg) come unità di massa
- il *secondo* (s) come unità di intervalli di tempo
- l'*ampere* (A) come unità d'intensità di corrente elettrica
- il *kelvin* (K) come unità di temperatura
- la *candela* (cd) come unità d'intensità luminosa
- la *mole* (mol) come unità di quantità di materia.

Oltre alle unità fondamentali nel SI vengono usate altre due grandezze supplementari che sono:

- il *radiante* (rad) come unità di angolo piano
- lo *steradiano* (sr) come unità di angolo solido.

Spesso queste unità di misura assumono dei valori numerici scomodi da scrivere e pertanto si preferisce adottare opportuni prefissi

per indicare multipli o sottomultipli delle unità di misura; questi prefissi sono elencati nella Tab. I.3.1a.

Tab. I.3.1a - Prefissi usati nel sistema SI

multipli			sottomultipli		
E	esa	10^{18}	d	deci	10^{-1}
P	peta	10^{15}	c	centi	10^{-2}
T	tera	10^{12}	m	milli	10^{-3}
G	giga	10^9	μ	micro	10^{-6}
M	mega	10^6	n	nano	10^{-9}
ma	miria	10^4	p	pico	10^{-12}
k	kilo	10^3	f	femto	10^{-15}
h	etto	10^2	a	atto	10^{-18}
da	deca	10^1			

Le norme vigenti per scrivere le unità di misura del SI ed i relativi simboli sono le seguenti:

- le *unità di misura* devono essere scritte in carattere minuscolo e senza accenti (anche se derivano da nomi propri di persona con accento);
- i *simboli* devono essere scritti con l'iniziale minuscola, soltanto se derivano da nomi propri di persona devono essere scritti con lettera maiuscola;
- i *simboli* non devono essere seguiti dal punto e devono sempre seguire il valore numerico;
- quando le *unità di misura* non sono precedute dal numero devono essere scritte per intero;
- i *simboli* delle unità di misura composte da altre unità si scrivono senza usare trattini, ma con uno spazio vuoto tra simbolo e simbolo oppure con un punto a mezza altezza (come segno di moltiplicazione).

Come abbiamo già detto in precedenza, oltre alle unità di misura fondamentali, vi sono le unità derivate; alcune di esse hanno una unità propria ed un simbolo specifico, altre invece hanno delle unità composte.

La XI CGPM ha raccomandato l'adozione di un simbolismo che viene riportato nella Tab. I.3.1b. In questa tabella le principali grandezze meccaniche e termodinamiche del SI sono indicate con l'unità di misura, il simbolo e le dimensioni; nell'ultima colonna i simboli L, M, T e θ assumono il significato rispettivamente di una lunghezza, di una massa, di un tempo e di una temperatura.

Tab. I.3.1b - Unità di misura, simbolo e dimensione delle principali grandezze meccaniche e termodinamiche del SI

Grandezza	Unità di misura	Simbolo	Dimensione
Accelerazione	$m s^{-2}$	a	$ L T^{-2} $
Accel. angolare	$rad s^{-2}$	γ	$ T^{-2} $
Accel. areolare	$m^2 s^{-2}$	\dot{A}	$ L^2 T^{-2} $
Angolo piano	rad (radiante)	Φ	senza dimensione
Angolo solido	sr (steradiane)	Φ	senza dimensione
Calore	J	Q	$ M L^2 T^{-2} $
Calore specifico	$J kg^{-1} K^{-1}$	c	$ L^2 T^{-2} \theta^{-1} $
Capacità termica	$J K^{-1}$	C	$ M^1 L^2 T^{-2} \theta^{-1} $
Coefficiente di temperatura	K^{-1}	α	$ \theta^{-1} $
Coppia meccanica	$N m rad^{-1}$	C	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Densità (massa volumica)	$kg m^{-3}$	ρ	$ M^1 L^{-3} $
Energia	J (joule)	W	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Ener. cinetica	J	T	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Ener. interna	J	U	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Ener. potenziale	J	V	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Entalpia	J	H	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Entropia	$J K^{-1}$	S	$ M^1 L^2 T^{-2} \theta^{-1} $
Flusso termico	W	Φ_q	$ M^1 L^2 T^{-3} $
Forza	N (newton)	F	$ M^1 L^1 T^{-2} $
Frequenza	Hz (hertz)	f	$ T^{-1} $
Impulso	$kg m s^{-1}$	q	$ M^1 L^1 T^{-1} $
Imp. angolare	$kg m^2 s^{-1}$	J	$ M^1 L^2 T^{-1} $
Lavoro	J (joule)	W	$ M^1 L^2 T^{-2} $
Lunghezza	m (metro)	l	$ L^1 $
Massa	kg (chilogrammo)	m	$ M^1 $
Massa chimica	mol (mole)		$ M^1 $
Momento angolare o momento della quantità di moto	J s	P	$ M^1 L^2 T^{-1} $
Momento d'inerzia	$kg m^2$	I	$ M^1 L^2 $
Momento meccanico	N m	M	$ M^1 L^2 T^{-1} $
Periodo	s	T	$ T^1 $
Peso	N	P	$ M^1 L^1 T^{-2} $
Peso specifico	$N m^{-3}$	γ	$ M^1 L^{-2} T^{-2} $
Portata di massa	$kg s^{-1}$	Q_m	$ M^1 T^{-1} $
Portata di volume	$m^3 s^{-1}$	Q_v	$ L^3 T^{-1} $
Potenza	W (watt)	P	$ M^1 L^2 T^{-3} $
Pressione	Pa (pascal)	p	$ M^1 L^{-1} T^{-2} $
Prevalenza	m	h	$ L $
Pulsazione	$rad s^{-1}$	ω	$ T^{-1} $

(Segue) Tab. I.3.1b - Unità di misura, simbolo e dimensione delle principali grandezze meccaniche e termodinamiche del SI

Grandezza	Unità di misura	Simbolo	Dimensione
Quantità di moto	kg m s ⁻¹	q	M ¹ L ¹ T ⁻¹
Resistenza meccanica	N s m ⁻¹	r _m	M ¹ T ⁻¹
Sezione d'urto	m ²	σ	L ²
Superficie	m ²	A	L ²
Temperatura	K (kelvin)	θ	θ ¹
Tempo	s (secondo)	t	T ¹
Velocità	m s ⁻¹	v	L ¹ T ⁻¹
Vel. angolare	rad s ⁻¹	ω	T ⁻¹
Vel. areolare	m ² s ⁻¹	Ā	L ² T ⁻¹
Viscosità cinematica	m ² s ⁻¹	ν	L ² T ⁻¹
Viscosità dinamica	N s m ⁻²	η	M ¹ L ⁻¹ T ⁻¹
Volume	m ³	V	L ³
Vol. specifico	m ³ kg ⁻¹	v	M ⁻¹ L ³

I.3.2 Sistema Inglese

Ci riferiamo al sistema inglese fps (foot, pound, second: piede, libbra, secondo) che adotta come grandezze fondamentali la lunghezza, la massa ed il tempo:

- foot (piede), simbolo ft, uguale a 0,3848 m;
- pound (libbra), simbolo lb, uguale a 0,453592 kg;
- second (secondo), simbolo s, uguale al SI.

Per quanto riguarda i pesi è necessario far presente che esistono tre sistemi: l'Avoirdupois (attualmente il più usato), l'Apothecary (usato a volte nel campo farmaceutico) ed il Troy (oggi praticamente in disuso).

Nella Tab. I.3.2a vengono elencate le unità di misura inglesi più usate per le grandezze meccaniche e termodinamiche, i relativi simboli ed i fattori di ragguglio col sistema di misura SI.

Tab. 1.3.2a - Unità del sistema inglese, simboli e fattori di ragguglio col SI

Grandezza	Unità di misura	Simbolo	Fattore di ragguglio	
Lunghezze	pollice	in	2,539997 cm	
	pie	ft	12 in = 30,47997 cm	
	iarda	yd	3 ft = 91,43992 cm	
	miglio	mi	1760 yd = 5280 ft = 1,6093426 km	
	nodo	n mi	6080 ft = 1,85315 km	
Superfici	pollice quadrato	in ²	6,4516 cm ²	
	pie quadrato	ft ²	929,028 cm ²	
	iarda quadrata	yd ²	0,836126 m ²	
	miglio quadrato	mi ²	2,59 km ²	
Volumi	pollice cubo	in ³	16,387 cm ³	
	pie cubico	ft ³	28,317 dm ³	
	iarda cubica	yd ³	0,7646 m ³	
		register ton	100 ft ³ = 2,8317 m ³	
Capacità	pinta	gi	0,142 l	
	quarto	pt	0,568 l = 4 gi	
	gallone	qt	1,136 l = 2 pt	
	gallone USA	gal USA	4,546 l = 4 qt	
	stai	gal	3,785 l	
		bu	36,368 l = 8 gal	
		barrel	1,6365 hl = 32 gal	
		last	29,078 hl = 80 bu	
Massa	grano	gr	1/7000 lb = 64,799 mg	
	dramma	dr	1/256 lb = 1,772 g	
	uncia	oz	1/16 = 28,349 g	
	libbra	lb	453,592 g	
	tonnellata	—	2240 lb = 1016,047 kg	

Segue) Tab. 1.3.2a - Unità del sistema inglese, simboli e fattori di ragguglio col SI

Grandezza	Unità di misura	Simbolo	Fattore di ragguglio
<i>Unità Apothecaries</i>			
Massa	grain	gr	64,799 mg
	scruple	—	20 gr = 1,296 g
	drachm	dr ap	3 scruple = 60 gr = 3,888 g
	ounce	oz ap	8 drachm = 24 scruple = 480 gr = 31,10 g
	pound	lb ap	12 ounce = 96 drachm = 288 scruple = 5760 gr = 373,24 g
<i>Unità Troy</i>			
carato	grain	gr	64,799 mg
	carat	—	4 gr = 0,259 g
	ounce	oz tr	480 gr = 31,10 g
	pound	lb tr	12 oz = 373,2 g
	ton	ton tr	2000 lb tr = 746,48 kg
Forza	libbra-forza	lbf	4,448 N
	poundal	pdl	0,138 N
Pressione	libbra-forza per pollice quadrato	psi	0,068 atm = 6894,76 Pa
	pound-force per square inch	pdl/ft ²	1,488 Pa
Energia Lavoro Calore	foot poundal	ft pdl	0,042 J
	pound-force x foot	lbf ft	1,356 J
	unità termica Britannica	Btu	1054,5 J
Potenza	cavallo vapore	hp	550 lbf · ft/s = 745,7 W

I.3.3 Scale di temperatura

1. Scala internazionale della temperatura o scala Celsius

Le temperature vengono indicate col simbolo °C oppure C° (int). Sono state fissate delle temperature di riferimento mediante accurate esperienze alla pressione di 760 mm d'Hg:

- a) temperat. d'equilibrio tra ossigeno liquido e gassoso — 182,93 °C
- b) temp. d'equil. tra ghiaccio ed acqua 0,000 °C
- c) temp. d'equil. tra acqua liquida ed il suo vapore 100,000 °C
- d) temp. d'equil. tra solfo liquido ed il suo vapore 444,60 °C
- e) temp. d'equil. fra argento solido e liquido 960,5 °C
- f) temp. d'equil. fra oro solido e liquido 1063 °C

2. Scala termodinamica o di Kelvin

Questa scala che coincide bene con la scala internazionale ha lo zero in corrispondenza di — 273,16 °C. Queste temperature di solito vengono indicate come temperature assolute e così pure lo zero; il loro simbolo è K.

3. Scala di Fahrenheit

Questa scala è usata prevalentemente nei paesi Anglosassoni; essa divide l'intervallo tra la temperatura del ghiaccio fondente e dell'acqua bollente in 160 parti o gradi Fahrenheit, indicati col simbolo °F.

Avendo assegnato al ghiaccio fondente la temperatura di 32 °F, ne consegue che l'acqua bollente ha una temperatura di 212 °F.

4. Scala Réaumur

Questa scala è adottata in Francia e divide l'intervallo di temperatura tra il ghiaccio fondente e l'acqua bollente in 80 parti o gradi Réaumur, indicati col simbolo °r.

Lo zero di questa scala coincide con lo 0 °C, pertanto l'acqua bollente ha la temperatura di 80 °r.

La Tab. I.3.3 fissa la corrispondenza tra le temperature delle scale termometriche sopra citate.

Tab. I.3.3 - Corrispondenza tra le scale termometriche

°C		(K) — 273,16	5/9 (°F — 32)	5/4 (°r)
K	[°C] + 273,16		5/9 (°F — 32) + 273,16	5/4 (°r) + 273,16
°F	9/5 (°C) + 32	9/5 (K — 273,16) + 32		9/4 (°r) + 32
°r	4/5 (°C)	4/5 (K — 273,16)	4/9 (°F — 32)	

I.3.4 Altri sistemi di misura

Si ritiene opportuno dare alcuni cenni su altri sistemi di misura che storicamente hanno avuto molta importanza.

A. *Sistema pratico o tecnico*

E' un sistema adottato soprattutto dai tecnici, i quali presero come unità fondamentali il metro (m), il kg-peso (kgf) ed il secondo (s) ed aggiunsero a queste delle unità derivate approvate in vari congressi internazionali.

B. *Sistema assoluto C.G.S.*

Questo sistema studiato e perfezionato da Gauss introdusse finalmente il concetto di assoluto nei sistemi di misura.

Infatti, nei sistemi adottati precedentemente, mentre le unità campioni di lunghezza e tempo mantengono invariate la loro validità in qualsiasi punto della terra, non è così per il campione della forza che cambia con l'altitudine e la latitudine.

Pertanto Gauss pensò di introdurre come terza unità fondamentale l'unità della massa.

In definitiva le tre unità fondamentali della meccanica di questo sistema sono: il centimetro (cm) per le lunghezze, il grammomassa (g) per le masse ed il secondo (s) per le durate.

C. *Sistema definitivo di unità Giorgi o sistema M.K.S.*

Agli inizi del '99 Giorgi propose un nuovo sistema assoluto, che riscosse ampi consensi; questo sistema ha come unità fondamentali per la meccanica: il metro (m) per le lunghezze, il kilogrammossa (kg) per le masse ed il secondo (s) per le durate.

D. *Sistema termotecnico*

In tutti i sistemi di misura precedenti la temperatura viene considerata una grandezza fisica con dimensione propria, espressa in °C. Nel sistema termotecnico in particolare viene introdotta una nuova grandezza fondamentale: la caloria, che rappresenta l'unità di calore (e quindi di energia) necessaria ad innalzare da 14,5 °C a 15,5 °C la temperatura di 1 g d'acqua.

Pertanto ne deriva che una delle tre unità fondamentali della meccanica deve essere riguardata come derivata; in genere si considera l'unità di massa che dovrà essere presa uguale a 4,184 kg.

I.3.5 Unità ibride

Vi sono delle unità particolari che, pur non appartenendo ad alcun sistema in particolare, vengono usate; di queste unità, dette ibride, ne diamo un parziale elenco nella Tab. I.3.5.

Tab. I.3.5 - Unità ibride

Grandezza	Unità di misura	Simbolo	Fattore di ragguglio
Lunghezza	micron	μ	10^{-6} m
	angstrom	Å	10^{-10} m
	anno luce	a.l.	$9,46 \cdot 10^{15}$ m
Superficie	ara	a	100 m ²
	ettaro	ha	10.000 m ²
Volume	litro	l	1 dm ³
Tempo	minuto	min	60 s
	ora	h	3600 s
Angoli	grado sessagesimale	°	$\pi / 180$ rad
	grado centesimale		$\pi / 200$ rad
	angolo retto		π / rad
	angolo piano		π rad
	angolo giro		2π rad
Massa	quintale	q	10^2 kg
	tonnellata	t	10^3 kg
Velocità angolare	giri al minuto	giri/min	$0,104$ rad s ⁻¹
Calore	frigoria	fg	$-4,1868$ J
Energia	watt · ora	Wh	3600 J
Pressione	millimetro d'acqua	mm H ₂ O	$9,806$ Pa
	millimetro di Hg	torr	$133,322$ Pa
	bar	bar	10^5 Pa
	atmosfera	atm	$101,325$ Pa
	atmosfera tecnica	at	$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf cm}^{-2} = 9,806 : 10^4 \text{ Pa}$

I.3.6 Unità di misura soppresse

Con l'adozione del Sistema Internazionale da parte di tutti gli Stati membri della CEE, la direttiva del Consiglio del 1° ottobre 1971 ha stabilito di vietare dopo il 31 dicembre 1977 l'uso delle unità di misura riportate nel Capitolo III dell'allegato alla delibera.

Di seguito sono elencate le principali unità di misura soppresse:

Forza	chilogrammo-forza	kgf
Pressione	millimetro di Hg, torr	torr, mm Hg
	atmosfera tecnica	at
	metro d'acqua	m H ₂ O
Potenza	cavallo vapore	CV
Calore	caloria	cal
	frigoria	fg

I.3.7 Fattori di ragguglio tra unità di misura di differenti sistemi

Nelle tabelle che seguono sono riportati i fattori di ragguglio di alcune unità meccaniche dei sistemi di misura precedentemente descritti tra quelle maggiormente usate.

Tab. I.3.7a - Unità di lunghezza

Unità	cm	m	inch	foot	yard	statute mile	anni luce
cm	1	0,01	0,394	$3,281 \cdot 10^{-2}$	$1,094 \cdot 10^{-2}$	$6,214 \cdot 10^{-6}$	
m	100	1	39,37	3,281	1,094	$6,214 \cdot 10^{-4}$	$1,057 \cdot 10^{-16}$
inch	2,540	$2,54 \cdot 10^{-2}$	1	$8,333 \cdot 10^{-2}$	$2,778 \cdot 10^{-2}$	$15,783 \cdot 10^{-6}$	
foot	30,48	0,3048	12	1	0,333	$1,8939 \cdot 10^{-4}$	
yard	91,44	0,9144	36	3	1	$5,682 \cdot 10^{-4}$	$9,66 \cdot 10^{-17}$
statute mile	160,934	1609,34	63,360	5280	1760	1	
anni luce		$9,464 \cdot 10^{15}$			$1,035 \cdot 10^{16}$		1

Tab. I.3.7b - Unità di angoli piani

Unità	secondi	minuti	gradi	radianti
secondi	1	$1,667 \cdot 10^{-2}$	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$4,848 \cdot 10^{-6}$
minuti	60	1	$1,667 \cdot 10^{-2}$	$2,909 \cdot 10^{-4}$
gradi	3600	60	1	$1,746 \cdot 10^{-2}$
radianti	$2,063 \cdot 10^5$	3438	57,30	1

Tab. I.3.7c - Unità di massa

Unità	grammo	kgrammo	pound
grammo	1	10^{-3}	$2,2046 \cdot 10^{-3}$
kgrammo	10^3	1	2,2046
pound	453,592	0,453592	1

Tab. I.3.7d - Unità di tempo

Unità	secondi	minuti	ore	giorni
secondi	1	0,01666	$2,777 \cdot 10^{-4}$	$1,1574 \cdot 10^{-5}$
minuti	60	1	0,01666	$6,9444 \cdot 10^{-4}$
ore	3600	60	1	0,041667
giorni	$8,6400 \cdot 10^4$	1440	24	1
anni	$3,1557 \cdot 10^7$		8765,8128	365,2422

Tab. I.3.7e - Unità di velocità

Unità	cm/s	m/s	km/ora	foot/s
cm/s	1	0,01	0,036	0,0328
m/s	100	1	3,60	3,281
km/ora	27,77	0,277	1	0,9113
foot/s	30,48	0,3048	1,0973	1

Tab. I.3.7f - Unità di velocità angolare

Unità	gradi/s	rad/s	giri/min	giri/s
gradi/s	1	$1,745 \cdot 10^{-2}$	0,1667	$2,778 \cdot 10^{-3}$
rad/s	57,30	1	9,549	0,1592
giri/min	6	0,1047	1	$1,667 \cdot 10^{-2}$
giri/s	360	6,283	60	1

Tab. I.3.7g - Unità delle forze

Unità	dina	newton	kg-forza	pound-forza
dina	1	10^{-5}	$1,020 \cdot 10^{-6}$	$2,248 \cdot 10^{-6}$
newton	10^5	1	0,1020	0,2248
kg-forza	$9,807 \cdot 10^5$	9,807	1	2,205
pound-forza	$4,448 \cdot 10^5$	4,448	0,4356	1

Tab. I.3.7h - Unità del lavoro, dell'energia e calore

Unità	erg	joule	kgf · m	cal	litro · atm	CV · ora	kW · ora	Btu	ft · lbf
erg	1	10^{-7}	$1,0197 \cdot 10^{-8}$	$2,3889 \cdot 10^{-8}$	9,869 10^{-10}	3,722 10^{-14}	2,778 10^{-14}	9,4787 10^{-11}	$7,3756 \cdot 10^{-8}$
joule	10^7	1	0,10197	0,23889	9,869 10^{-3}	3,722 10^{-7}	2,778 10^{-7}	9,4787 10^{-4}	0,73756
kgf · m	$9,807 \cdot 10^7$	9,807	1	2,3427	9,6782 10^{-2}	3,6530 10^{-6}	2,7235 10^{-6}	9,2972 10^{-3}	7,2330
cal	$4,187 \cdot 10^7$	4,187	0,4265	1	4,1311 10^{-2}	1,5593 10^{-6}	1,1628 10^{-6}	3,9685 10^{-3}	3,0874
litro · atm	$1,013 \cdot 10^8$	$1,013 \cdot 10^2$	10,333	24,206	1	3,7745 10^{-5}	2,89 10^{-5}	9,607 10^{-2}	74,735
CV · ora	$2,6845 \cdot 10^{13}$	$2,6845 \cdot 10^6$	$2,7374 \cdot 10^5$	$6,413 \cdot 10^5$	2,578 10^4	1	0,7475	10^{-2}	1,980
kW · ora	$3,600 \cdot 10^{13}$	$3,600 \cdot 10^6$	$3,671 \cdot 10^5$	$8,6001 \cdot 10^5$	3,46 10^4	1,3410	1	10^3	10^6
Btu	$1,0550 \cdot 10^{10}$	$1,0550 \cdot 10^3$	107,56	251,98	10,409	3,9292 10^{-4}	2,930 10^{-4}	3,413 10^3	$2,6552 \cdot 10^6$
ft · lbf	$1,3558 \cdot 10^7$	1,3558	0,138	0,3239	1,338 10^{-2}	5,0505 10^{-7}	3,7662 10^{-7}	1,285 10^{-3}	777,97 1

Tab. I.3.7i - Unità della pressione

Unità	atm	bar	Pa	kgf/m ²	cm Hg	m H ₂ O	psi
atm	1	1,0133	$1,013 \cdot 10^5$	$1,033 \cdot 10^4$	76,00	10,33	14,696
bar	0,9869	1	10^5	$1,020 \cdot 10^4$	75,006	10,20	14,504
Pa	$9,869 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	1	0,102	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	
kgf/m ²	$9,6784 \cdot 10^{-5}$	$9,807 \cdot 10^{-5}$	9,807	1	$7,35 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$1,4223 \cdot 10^{-3}$
cm Hg	$1,3158 \cdot 10^{-2}$	$1,333 \cdot 10^{-2}$	$1,335 \cdot 10^3$	135,95	1	0,136	0,19337
m H ₂ O	$9,6784 \cdot 10^{-2}$	$9,807 \cdot 10^{-2}$	9807	10^3	7,3556	1	1,4223
psi	$6,804 \cdot 10^{-2}$	$6,894 \cdot 10^{-2}$		703,07	5,1715		1

psi = pound-force per square inch

Tab. I.3.71 - Unità della potenza

Unità	erg/s	watt	CV	kgf · m/s	cal/s
erg/s	1	10^{-7}	$1,360 \cdot 10^{-10}$	$1,0197 \cdot 10^{-8}$	$2,389 \cdot 10^{-8}$
watt	10^7	1	$1,360 \cdot 10^{-3}$	0,10197	0,2389
CV	$7,355 \cdot 10^9$	735,499	1	75	178
kgf · m/s	$9,807 \cdot 10^7$	9,807	$1,335 \cdot 10^{-2}$	1	2,3427
cal/s	$4,186 \cdot 10^7$	4,186	$5,62 \cdot 10^{-3}$	0,4268	1

1.4 Equazioni dimensionali

Tutte le leggi fisiche vengono quantitativamente espresse con delle equazioni che intendono esprimere l'uguaglianza e la disuguaglianza tra due termini necessariamente omogenei.

Pertanto il controllo sistematico della omogeneità dei termini di una legge fisica, cioè dell'uguaglianza delle dimensioni dei due membri dell'equazione, permetterà di acquisire la matematica certezza della esattezza del ragionamento e dei calcoli effettuati.

Il metodo è quello dell'analisi dimensionale.

Procediamo con un esempio per facilitare la comprensione.

Supponiamo di aver fissato nel nostro sistema di misura tre unità fondamentali: A, B, C e che una quarta grandezza fisica abbia nello stesso sistema come *dimensione derivata* l'espressione:

$$|D| = |A^a| |B^b| |C^c| \quad (1.4.1)$$

dove a, b, c sono degli esponenti adimensionali qualsiasi.

Se esiste una legge fisica tale che le unità A, B, C siano legate tra loro secondo la relazione (1.4.1) vuol dire che D, in quel sistema, rappresenta proprio la dimensione di quella grandezza fisica.

Esempio: ammettiamo per ipotesi che A sia l'unità della lunghezza, B della massa e C del tempo e gli esponenti siano rispettivamente $a = 2$, $b = 1$, $c = -2$, per cui:

$$|D| = |L^2| |M^1| |T^{-2}|$$

Queste sono le dimensioni di un lavoro, infatti prendiamo la relazione fisica che prevede come il lavoro derivi dal prodotto dell'intensità di una forza per una lunghezza pari alla componente dello spostamento secondo la sua direzione:

$$W = F \cdot l$$

se la esprimiamo in forma dimensionale avremo:

$$|W| = |F^1| |L^1| = |M^1 \cdot L^1 \cdot T^{-2}| |L^1| = |L^2| |M^1| |T^{-2}|$$

dimostrando che D ha le stesse dimensioni del lavoro W.

Prima di concludere l'argomento occorre fare alcune considerazioni relative ad affermazioni o scritture precedenti.

— le equazioni dimensionali, al contrario delle relative equazioni di misura, prescindono dai vari coefficienti.

Esempio: il teorema delle forze vive si esprime mediante l'equazione di misura:

$$W = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

le cui dimensioni sono:

$$|W| = |L^2| |M^1| |T^{-2}|$$

— l'unica operazione ammissibile tra grandezze fisiche non omogenee è quella di prodotto oppure la sua inversa il quoziente; è per questo che le equazioni dimensionali sono state espresse immediatamente con la forma:

$$|\dots| = |\dots| |\dots| \dots |\dots|$$

— a proposito della (1.4.1) abbiamo detto che i coefficienti a, b, c sono degli esponenti adimensionali.

Si può affermare che tutti gli esponenti delle unità scelte devono essere privi di dimensioni e cioè dei numeri puri.

— vi sono anche delle grandezze adimensionali, esprimibili cioè con un numero puro; ad esempio la dimensione di un angolo, oltre ad essere fornita in gradi, può essere espressa in radianti e cioè come rapporto tra l'arco di cerchio che sottende l'angolo ed il raggio relativo.