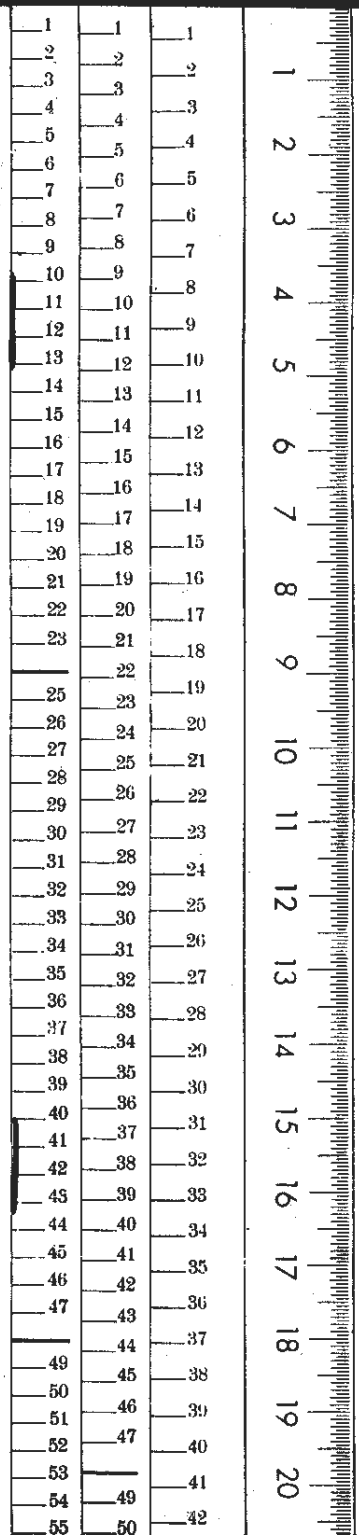


IL NUOVO SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÀ DI MISURA NELL'INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI

A.N.C.E. - Servizio Tecnologico

Il nostro Paese si sta adeguando a quanto previsto nella Direttiva comunitaria che introduce nei Paesi membri il sistema internazionale di unità SI; questo è in realtà, giorno dopo giorno, sempre più applicato in tutti i settori della scienza e della tecnica.

Anche nel campo dell'ingegneria civile e delle costruzioni, sono ormai vigenti in Italia diverse normative tecniche che adottano il nuovo sistema di unità, peraltro ormai sistematicamente impiegato all'estero.

Giunge perciò a proposito questo lavoro di presentazione e divulgazione del sistema SI che, affrontando il problema dal punto di vista dell'ingegneria civile, cerca di rendere più familiari unità di misura delle quali spesso non si ha la padronanza necessaria e nei confronti delle quali non si è formata la necessaria sensibilità relativamente agli ordini di grandezza.

Ringrazio il Servizio Tecnologico e, nel suo ambito, l'ing. Cesare Fossi che ha curato il testo del volumetto, per avere affiancato alle ormai numerose pubblicazioni del Servizio questo lavoro di interesse applicativo non trascurabile.

Dott. Ing. Eugenio CABIB
Presidente della Commissione Permanente
per i Problemi Tecnologici dell'ANCE

INDICE

Introduzione pag. 6

1. Il sistema internazionale SI ed i precedenti sistemi di misura pag. 8

1.1 Il sistema metrico ed i sistemi da esso derivati pag. 9
1.2 Il sistema internazionale SI pag. 10
1.3 Il sistema internazionale SI nella ingegneria civile pag. 11

2. Il sistema internazionale SI secondo la Direttiva CEE pag. 12

2.1 Stralcio del testo della Direttiva CEE pag. 13
2.2 Commenti e chiarimenti pag. 19

3. Tabelle di conversione pag. 24

3.1 Angolo piano pag. 25
3.2 Forza pag. 26
3.3 Pressione e tensione pag. 26
3.4 Energia, lavoro, quantità di calore pag. 27
3.5 Potenza pag. 27
3.6 Conversione di coefficienti contenuti in formule pag. 28

La Direttiva del Consiglio delle Comunità Europee n° 80/181CEE, del 20 dicembre 1979, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee del 15 febbraio 1980, è stata emanata con lo scopo di introdurre negli Stati membri il sistema internazionale di unità SI.

Secondo l'art. 7 della Direttiva, gli Stati membri avrebbero dovuto adottare e pubblicare anteriormente al 1° luglio 1981 le disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative necessarie per conformarsi alla Direttiva, e applicare le disposizioni in essa contenute a decorrere dal 1° ottobre 1981.

Il nostro Paese, dove è tuttora vigente il Testo Unico delle leggi sui pesi e sulle misure, approvato con Regio Decreto del 23 agosto 1980, n° 7088, dovrà pertanto, sia pure in ritardo rispetto alla scadenza indicata nella Direttiva, introdurre e rendere obbligatorio il Sistema Internazionale, che è stato del resto già proposto nelle tabelle C.N.R.-U.N.I. 10003 del 1974.

In attesa di tale intervento legislativo che renderà obbligatorio il sistema internazionale SI, va tenuto presente che questo trova comunque sempre più larga applicazione in Italia e all'estero, ed è utilizzato ormai correntemente anche nella normativa tecnica riguardante le costruzioni: la sua conoscenza e la sua comprensione sono perciò indispensabili per chi opera in questo settore.

* * *

Come si vedrà nel seguito, il sistema internazionale comporta da parte degli operatori del mondo delle costruzioni un adeguamento non soltanto formale, ma anche concettuale e logico. Il nuovo sistema di unità introduce infatti alcune innovazioni, come ad esempio l'abbandono definitivo del kilogrammo-peso, che sovvertono il nostro modo tradizionale di approccio a certe grandezze fisiche e ci obbligano a formarci una nuova sensibilità per quanto riguarda gli ordini di grandezza.

Allo scopo di facilitare il tempestivo adeguamento dei tecnici delle costruzioni a questo più moderno modo di impostare i problemi di misura, questa monografia vuole divulgare, nel campo dell'industria delle costruzioni, il sistema internazionale, agevolandone se possibile la comprensione e l'adozione e facilitandone le prime e più difficili applicazioni.

Si illustrerà, nel primo capitolo, come il nuovo sistema si inserisca storicamente nel campo metrologico, in modo da agevolare la comprensione di quanto di innovativo ci sia in esso.

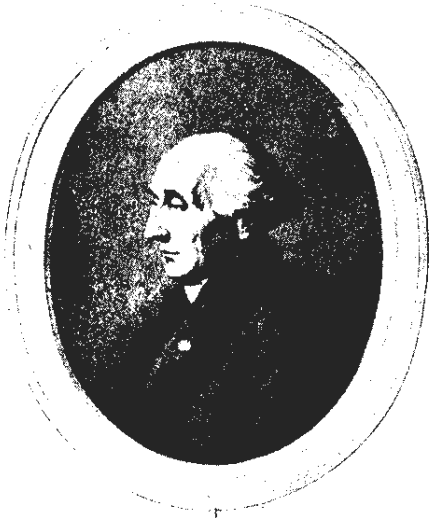
Il secondo capitolo riporta la parte della Direttiva CEE che introduce il sistema internazionale SI, con a fronte una serie di commenti, sviluppi e chiarimenti che hanno lo scopo di far comprendere meglio il nuovo sistema di misura e di facilitarne l'applicazione.

Il terzo capitolo infine contiene tabelle di conversione tra le grandezze del sistema SI e le altre grandezze finora in uso, limitandosi a quelle di applicazione più corrente nel settore dell'ingegneria civile.

1 Il Sistema Internazionale SI ed i precedenti sistemi di misura



Pierre Simon Laplace (1749-1827)



Joseph Louis Lagrange (1736-1813)

1.1. Il sistema metrico e i sistemi da esso derivati

Una qualunque grandezza fisica può essere misurata attraverso il raffronto tra la grandezza stessa ed una di riferimento della stessa natura, che rappresenta *l'unità di misura*. Poiché la scelta delle *unità di misura* è arbitraria, ciò ha dato luogo nei secoli passati ad una situazione di notevole confusione, che si è cercato di superare in tempi più recenti con convenzioni nazionali e internazionali che sancivano determinate scelte per quanto riguarda gli elementi di riferimento da adottare come *unità di misura*.

Fino alla Rivoluzione Francese, si presentavano problemi di misurazione solo per quanto riguardava lunghezze, superfici, volumi e pesi. Erano perciò sorti sistemi locali di misura comprendenti queste grandezze, basati su tradizioni locali, diversi talvolta da provincia a provincia.

Nel 1790 a Parigi, su iniziativa di Talleyrand, l'Assemblea Costituente nominò una Commissione, della quale facevano parte i maggiori scienziati dell'epoca, tra i quali Lagrange e Laplace, con il compito di mettere a punto un sistema di misura razionale e semplice, basato su una sola unità di misura, e precisamente quella della lunghezza.

Nacque così il *sistema metrico decimale*, che ha come unità fondamentale di lunghezza il metro, assunto eguale alla quarantamilionesima parte del meridiano terrestre. Il metro serviva poi come base per la determinazione delle altre unità di misura che erano allora considerate come fondamentali: il volume che veniva misurato con il metro cubo o con il litro (pari ad un decimetro cubo), ed il peso che veniva misurato con il kilogrammo, definito come il peso di un decimetro cubo di acqua distillata a quattro gradi centigradi. Tutti i multipli e sottomultipli erano decimali.

Nel 1799 furono realizzati i prototipi del metro e del kilogrammo, in una lega di platino-iridio particolarmente inalterabile nel tempo, e nello stesso anno, con la legge del 19 frimaio dell'anno VII, il sistema metrico fu reso obbligatorio.

Con il passare degli anni e con il progredire delle conoscenze, si venne a constatare che i campioni, custoditi nel padiglione di Breteuil a Sèvres, non corrispondevano esattamente alle grandezze che essi dovevano rappresentare, cioè alla quarantamilionesima parte del meridiano terrestre e al peso di un decimetro cubo di acqua distillata a 4 gradi centigradi. Si convenne allora di considerare comunque come campioni delle grandezze fondamentali di lunghezza e di peso quelli conservati a Sèvres, indipendentemente dalla loro definizione di origine.

Il sistema metrico decimale si diffuse lentamente con il passare degli anni, e rappresentò successivamente la base dei sistemi che seguirono.

I sistemi di unità di misura fisici più usati negli ultimi decenni sono il sistema MKS e il sistema CGS, che assumono ambedue come grandezze fondamentali la lunghezza, la massa e il tempo, adottando però rispettivamente la terna metro-kilogrammo-secondo e centimetro-grammo-secondo. Attraverso le leggi della fisica che collegano fra loro queste grandezze fondamentali, si derivano tutte le altre unità di misura. Il sistema CGS fu adottato dagli specialisti di elettrologia, perché le sue unità erano più confacenti a questa scienza, in un Congresso Internazionale tenutosi a Parigi nel 1881.

Accanto a questi sistemi fisici è stato largamente usato anche il *sistema tecnico*, che assume come grandezze fondamentali la lunghezza, la forza peso e il tempo. Poiché il nome dell'unità di peso (kilogrammo) del sistema tecnico è lo stesso dell'unità di massa del sistema MKS, la convivenza dei due sistemi ha creato per lungo tempo problemi non indifferenti, aggravati dal fatto che il kilogrammo-peso veniva spesso espresso con il simbolo kg (anziché con kgp o con kgf) identico al simbolo usato nel sistema MKS per l'unità di massa.

Il fattore di conversione tra il sistema MKS e quello tecnico è dato dal valore dell'accelerazione di gravità normale pari a 9,80665 m/sec^2.

1.2. Il sistema internazionale SI

Nel 1960, l'undicesima Conferenza Internazionale dei Pesi e delle Misure ha definito il Sistema Internazionale di Unità SI, con lo scopo di fornire al mondo della scienza e della tecnica un sistema di unità completo, universale, da tutti adottabile attraverso apposite convenzioni, dotato di unità univocamente definite.

Il sistema SI non è, a stretto rigor di termini, un *nuovo* sistema di unità. Le sue basi erano state già gettate all'inizio del secolo da Giorgi, ed esso non comporta rivoluzioni concettuali: ha però il grande pregio di rappresentare un sistema unificato per tutti i paesi, dotato di notevoli qualità intrinsiche. Vediamo quali sono, lasciando da parte qualche aggiustamento di carattere formale, le caratteristiche principali, le innovazioni e le qualità del sistema SI.

- Il sistema SI prende come base il sistema MKSA, cioè il sistema MKS modificato mediante l'aggiunta di una quarta unità fondamentale, l'ampère. Il sistema MKSA, in questa formulazione, fu adottato da una convenzione internazionale del 1950.

Rispetto al sistema MKSA, il sistema SI introduce tre nuove grandezze fondamentali, la temperatura termodinamica, l'intensità luminosa e la quantità di sostanza, che consentono di collegare in un unico sistema coerente le grandezze termiche ed ottiche.

- Il sistema SI è dotato di *coerenza*, che in linguaggio metrologico significa essere dotato della proprietà per cui le unità derivate sono date da espressioni algebriche monomie delle unità fondamentali, con un fattore numerico sempre uguale a 1. Non esistono cioè fattori di conversione diversi dall'unità tra un'unità dimensionale del sistema ed un'altra.

- Il sistema SI tende ad assumere per le unità fondamentali delle definizioni assolute, svincolate da campioni precostituiti. Le unità sono perciò definite sulla base di fenomeni fisici riproducibili in laboratorio e misurabili con un elevato grado di precisione. Ad esempio il metro è definito come un certo multiplo della lunghezza d'onda della radiazione corrispondente alla transizione tra due determinati livelli del cripto 86. In effetti questa della assolutezza è ancora solo una tendenza del sistema SI, perché le unità definite come sopra detto coesistono con altre, come la massa, la cui unità ha ancora come riferimento il campione di Sèvres.

1.3. Il sistema internazionale SI nell'ingegneria civile

Nell'ingegneria civile, il sistema di misura internazionale SI porta forse dei mutamenti maggiori che in altri settori della tecnica. La ragione di ciò va ricercata nel fatto che le discipline alle quali attinge l'ingegneria civile si sono servite fino ad oggi quasi esclusivamente del sistema tecnico.

Nel campo della statica, infatti, la massa interviene per la forza-peso che essa esercita, e può perciò risultare comodo assumere come unità fondamentale il kilogrammo-peso, circostanza che appunto si verifica nel sistema tecnico.

Il fatto di dover abbandonare, come grandezza fondamentale, la forza peso (misurata dal kilogrammo-peso) e di dover assumere invece come grandezza fondamentale la massa, con tutte le conseguenze che ciò comporta su grandezze derivate come peso specifico, pressione ecc., rappresenta perciò nel settore dell'ingegneria civile un mutamento non indifferente.

Nel seguito della presente monografia cercheremo di rendere più agevole questo adattamento riportando la parte della Direttiva CEE che introduce il sistema SI e completandola con osservazioni e complementi che dovrebbero contribuire ad eliminare eventuali dubbi ed esitazioni.

2 Il sistema internazionale SI secondo la Direttiva CEE



Incisione del XVI secolo che mostra la ricerca di un «piede normalizzato». In tale occasione si calcolò la media delle lunghezze dei piedi di un certo numero di fedeli presi a caso all'uscita di una chiesa una domenica mattina.

Riportiamo alcuni passi della Direttiva CEE, relativi al sistema internazionale SI. Il testo della Direttiva è stato completato, al par. 2.2, da commenti e chiarimenti con lo scopo di facilitare l'assimilazione di quanto c'è di innovativo rispetto alle consuetudini fino ad oggi seguite nel settore dell'ingegneria civile.

2.1 Stralcio del testo della Direttiva CEE (1)

1. UNITÀ SI, LORO MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI DECIMALI

1.1 Unità SI di base

Grandezza	Unità	
	Nome	Simbolo
Lunghezza	Metro	m
Massa	Chilogrammo	kg
Tempo	Secondo	s
Intensità di corrente elettrica	Ampère	A
Temperatura termodinamica	Kelvin	K
Quantità di materia	Mole	mol
Intensità luminosa	Candela	cd

Le definizioni delle unità SI di base sono le seguenti:

Unità di lunghezza

Il metro è la lunghezza pari a 1 650 763,73 lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione fra i livelli $2\ p_{10}$ e $5\ d_5$ dell'atomo di cripto 86.

Unità di massa

Il chilogrammo è l'unità di massa; esso è pari alla massa del prototipo internazionale del chilogrammo.

(1) Si è mantenuta la numerazione dei paragrafi adottata nella Direttiva CEE

Unità di tempo

Il secondo è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione fra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo del cesio 133.

Unità di intensità di corrente elettrica

L'ampère è l'intensità di una corrente elettrica costante che, percorrendo due conduttori paralleli rettilinei, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile, posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro nel vuoto, produrrebbe fra questi conduttori una forza eguale a 2×10^{-7} newton su ogni metro di lunghezza.

Unità di temperatura termodinamica

Il kelvin, unità di temperatura termodinamica, è la frazione 1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.

Unità di quantità di materia

La mole è la quantità di materia di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 chilogrammi di carbonio 12.

Quando si usa la mole, le entità elementari devono essere specificate; esse possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle, oppure raggruppamenti specificati di tali particelle.

Unità di intensità luminosa

La candela è l'intensità luminosa, in una determinata direzione, di una sorgente che emette un irraggiamento monocromatico di frequenza 540×10^{12} hertz e la cui intensità energetica in tale direzione è 1/683 watt per steradiante.

1.1.1 Nome e simbolo speciali dell'unità SI di temperatura nel caso della temperatura Celsius

Grandezza	Unità	
	Nome	Simbolo
Temperatura Celsius	Grado Celsius	°C

La temperatura Celsius t è definita dalla differenza $\vartheta = T - T_0$ tra due temperature termodinamiche T e T_0 con $T_0 = 273{,}15$ kelvin. Un intervallo o una differenza di temperatura possono essere espressi in kelvin o in gradi Celsius. L'unità «grado Celsius» è uguale all'unità «kelvin».

1.2 Altre unità SI

1.2.1 Unità supplementari SI

Grandezza	Unità	
	Nome	Simbolo
Angolo piano	Radiante	rad
Angolo solido	Steradiante	sr

Le definizioni delle unità supplementari SI sono le seguenti:

Unità di angolo piano

Il radiante è l'angolo piano compreso tra due raggi che, sulla circonferenza di un cerchio, intercettano un arco di lunghezza pari a quella del raggio.

Unità di angolo solido

Lo steradiante è l'angolo solido, che, avendo il vertice al centro di una sfera, delimita sulla superficie di questa un'area pari a quella di un quadrato di lato uguale al raggio della sfera.

1.2.2 Unità derivate SI

Le unità derivate in modo coerente dalle unità SI di base e dalle unità supplementari SI vengono indicate mediante espressioni algebriche sotto forma di prodotti di potenze delle unità SI di base e delle unità supplementari SI con un fattore numerico pari ad 1.

1.2.3 Unità derivate SI che hanno nomi e simboli speciali

Grandezza	Unità		Espressione	
	Nome	Simbolo	in altre unità SI	in unità SI di base o supplementari
Frequenza	Hertz	Hz		s^{-1}
Forza	Newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Pressione e tensione	Pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energia, lavoro, quantità di calore	Joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potenza, flusso energetico	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Quantità di elettricità, carica elettrica	Coulomb	C		$s \cdot A$
Tensione elettrica, potenziale elettrico, forza elettromotrice	Volt	V	$W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistenza elettrica	Ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Conduttanza	Siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Capacità elettrica	Farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Flusso d'induzione magnetica	Weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induzione magnetica	Tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induttanza	Henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Flusso luminoso	Lumen	lm		$cd \cdot sr$
Illuminamento	Lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Attività ((irraggiamento ionizzante)	Becquerel	Bq		s^{-1}
Dose assorbita, energia comunicata, massica Kerma, indice di dose assorbita	Gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Dose equivalente	Sievert	Sv	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$

Alcune unità derivate dalle unità SI di base o supplementari possono essere espresse impiegando le unità sopra riportate.

In particolare, alcune unità derivate SI possono essere espresse con i nomi e i simboli speciali riportati nella tabella di cui sopra, per esempio: l'unità SI della viscosità dinamica può essere espressa come $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$ oppure $N \cdot s \cdot m^{-2}$ oppure $Pa \cdot s$.

1.3 Prefissi e loro simboli che servono a designare taluni multipli e sottomultipli decimali

Fattore	Prefisso	Simbolo	Fattore	Prefisso	Simbolo
10^{18}	Exa	E	10^{-1}	Deci	d
10^{15}	Peta	P	10^{-2}	Centi	c
10^{12}	Tera	T	10^{-3}	Milli	m
10^{9}	Giga	G	10^{-6}	Micro	μ
10^{6}	Mega	M	10^{-9}	Nano	n
10^{3}	Chilo	k	10^{-12}	Pico	p
10^{2}	Etto	h	10^{-15}	Femto	f
10^{1}	Deca	da	10^{-18}	Atto	a

I nomi ed i simboli dei multipli e sottomultipli decimali dell'unità di massa vengono formati mediante l'aggiunta dei prefissi alla parola «grammo» e dei loro simboli al simbolo «g».

Per designare alcuni multipli e sottomultipli decimali di un'unità derivata la cui espressione si presenta sotto forma di una frazione, un prefisso può essere legato indifferentemente alle unità che figurano al numeratore, al denominatore o in entrambi.

Sono vietati i prefissi composti, cioè formati mediante giustapposizione di più prefissi di cui sopra.

1.4 Nomi e simboli speciali autorizzati di multipli e sottopultipli decimali di unità SI

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Volume	Litro	l o L(1)	$1\ l = 1\ dm^3 = 10^{-3}\ m^3$
Massa	Tonnellata	t	$1\ t = 1\ Mg = 10^3\ kg$
Pressione e tensione	Bar	bar (2)	$1\ bar = 10^5\ Pa$

(1) Per l'unità litro possono essere utilizzati i due simboli «l» e «L».

(2) Unità che, nell'opuscolo dell'Ufficio internazionale dei pesi e misure, è compresa tra le unità ammesse temporaneamente.

Avvertenza: I prefissi ed i simboli di cui al punto 1.3 si applicano alle unità ed ai simboli elencati nella tabella del punto 1.4

2. UNITÀ DEFINITE IN BASE ALLE UNITÀ SI, MA CHE NON SONO MULTIPLI O SOTTOMULTIPLI DECIMALI DI QUESTE

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Angolo piano	Angolo giro		1 angolo giro = 2 π rad
	Grado centesimale oppure gon	gon	$1\ \text{gon} = \frac{\pi}{200}\ \text{rad}$
	Grado sessagesimale	°	$1° = \frac{\pi}{180}\ \text{rad}$
	Minuto d'angolo	'	$1' = \frac{\pi}{10.800}\ \text{rad}$
	Secondo d'angolo	"	$1'' = \frac{\pi}{648.000}\ \text{rad}$
Tempo	Minuto	min	1 min = 60 s
	Ora	h	1 h = 3.600 s
	Giorno	d	1 d = 86.400 s

Avvertenza: I prefissi di cui al punto 1.3 si applicano soltanto ai nomi «grado» e «gon» ed i relativi simboli soltanto al simbolo «gon».

2.2. Commenti e chiarimenti

Per le unità SI che hanno nomi e simboli speciali (vedi paragrafo 1.2.3. della Direttiva CEE), e che rappresentano le unità più usate, insieme a quelle fondamentali, nel campo dell'ingegneria, riportiamo anche le definizioni contenute nella norma CNR-UNI 10003-74.

Grandezza	Unità		Definizione in relazione con le unità SI fondamentali, supplementari o derivate
	Nome	Simbolo	
frequenza	hertz	Hz	Frequenza di un fenomeno periodico il cui periodo è 1 s. 1 Hz = 1 s^{-1}
forza	newton	N	Forza che imprime a un corpo con massa di 1 kg l'accelerazione di 1 m/s^2 1 N = 1 kg m/s^2
pressione tensione	pascal	Pa	Pressione esercitata dalla forza di 1 N applicata perpendicolarmente ad una superficie con area di 1 m^2. 1 Pa = 1 N/m^2
energia lavoro quantità di calore	joule	J	Lavoro compiuto dalla forza di 1 N quando il suo punto di applicazione si sposta di 1 m nella direzione e nel verso della forza stessa. 1 J = 1 N · m
potenza	watt	W	Potenza di un sistema che produce il lavoro di 1 J in 1 s. 1 W = 1 J/s
carica elettrica	coulomb	C	Carica elettrica che attraversa in 1 s una sezione di un conduttore percorso dalla corrente elettrica costante di 1 A. 1 C = 1 A · s
potenziale elettrico, tensione elettrica, forza elettromotrice	volt	V	Differenza di potenziale elettrico che esiste tra due sezioni di un conduttore che, percorso dalla correne elettrica costante di 1 A e senza essere sede di altri fenomeni energetici oltre a quello Joule, dissipa nel tratto compreso fra le due sezioni considerate la potenza di 1 W. 1 V = 1W/A

resistenza elettrica	ohm	Ω	Resistenza elettrica tra due sezioni di un conduttore che, percorso dalla corrente elettrica di 1 A e senza essere sede di alcuna forza elettromotrice, dà luogo fra le due sezioni considerate alla differenza di potenziale di 1 V. 1 Ω = 1 V/A
conduttenza elettrica	siemens	S	Conduttanza elettrica tra le due sezioni di un conduttore nel quale la differenza di potenziale di 1 V, applicata tra le due sezioni considerate, dà luogo in assenza di alcuna forza elettromotrice, al passaggio della corrente elettrica di 1 A. 1 S = 1 A/V
capacità elettrica	farad	F	Capacità elettrica di un condensatore nel quale la differenza di potenziale elettrico fra le due armature varia di 1 V quando la carica elettrica di 1 C si trasferisce da un'armatura all'altra. 1 F = 1 C/V
flusso magnetico	weber	Wb	Flusso di induzione magnetica, che concatenando un circuito costituito da una sola spira, induce in esso la forza elettromotrice di 1 V quando si annulla in 1 s con decremento lineare. 1 Wb = 1 V · s
induzione magnetica	tesla	T	Induzione magnetica uniforme che, essendo perpendicolare ad una superficie piana con area di 1 m^2, produce attraverso questa superficie il flusso di 1 Wb. 1 T = 1 Wb/m^2
induttanza elettrica	henry	H	Induttanza di un circuito chiuso nel quale è generata la forza elettromotrice di autoinduzione di 1 V, quando il circuito è percorso da una corrente elettrica che varia linearmente di 1 A in 1 s. 1 H = 1 V · s/A
flusso luminoso	lumen	lm	Flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme isotropa di intensità luminosa di 1 cd nell'angolo solido di 1 sr, avente il vertice nella sorgente stessa. 1 lm = 1 cd · sr
illuminamento	lux	lx	Illuminamento di una superficie sulla quale il flusso luminoso di 1 lm, incidente perpendicolarmente, si ripartisce in modo uniforme sull'area di 1 m^2. 1 lx = 1 lm/m^2

Allo scopo di porre in rilievo i mutamenti che la nuova normativa comporta nell'ingegneria civile, si evidenziano qui di seguito le conseguenze che si hanno sull'uso delle grandezze di uso corrente in questo settore.

Massa - L'unità di misura nel sistema internazionale è il *chilogrammo* (simbolo kg), definito come la massa del prototipo internazionale. Bisogna tenere presente che questa unità è d'ora in poi adottata *solo per la massa*, cioè (con una dizione fisicamente non esatta, ma che può servire e rendere abbastanza bene l'idea), solo tutte le volte che intervenga il concetto di «quantità di materia».

La massa di un corpo si può determinare misurandone o l'inerzia opposta ad una variazione del suo stato di moto o, come comunemente avviene, l'attrazione gravitazionale verso altri corpi (ad esempio la Terra) per confronto con un campione.

Può essere perciò determinata, in sostanza, come è finora avvenuto, attraverso il tradizionale sistema di pesata, esprimendo il risultato in unità di massa (kg).

Si è detto che, volendo individuare delle «quantità», la grandezza alla quale riferirsi è sempre la massa, misurata in kg. Ad esempio, si parlerà di un sacco di cemento di 50 kg, cioè con una massa pari a 50 kg. Egualmente, si dirà ad esempio che un profilato ha una massa lineare di 70 kg/m.

Si noti che numericamente (ed anche come simbolo) niente cambia nel passaggio al sistema internazionale, in tutti i casi nei quali il sistema tecnico adopera il kgf per designare quantità di materia. Quel corpo che nel sistema tecnico *ha un peso* di x kg, nel sistema internazionale *ha una massa* di x kg, con x che resta numericamente lo stesso.

Forza - L'unità di misura nel sistema internazionale è il *newton* (simbolo *N*), definito come la forza che imprime a un corpo con massa 1 kg l'accelerazione di 1 m/s^2 (1 N = 1 kg·m/s^2). Non sono ammesse né transitoriamente tollerate altre unità di misura. Il newton deve essere perciò impiegato anche per misure di peso (forza peso), inteso come la forza che deriva dal prodotto della massa per l'accelerazione di gravità locale.

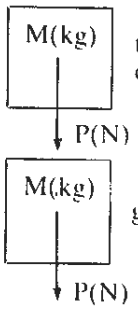
Con l'adozione del sistema SI *l'unità kilogrammo forza, finora ampiamente impiegata, deve essere definitivamente abbandonata.* La relazione tra il kilogrammo forza e il newton è, come è noto, la seguente: 1 kgf = 9,80665N.

Riassumendo e schematizzando, per quanto riguarda i concetti di massa, peso, forza, si ha:



— un corpo ha una massa M, misurabile in chilogrammi (kg) con gli strumenti correntemente usati (bilance)[2]; M è una grandezza scalare

[2] In realtà, nel caso di bilance di tipo dinamometrico, bisognerebbe tenere conto dell'eventuale diversità tra accelerazione di gravità locale e accelerazione di gravità normale.



— questa massa, per il fatto di trovarsi nel campo gravitazionale terrestre, è sottoposta ad una forza peso P (grandezza vettoriale), che deve essere misurata in newton (N)

— ogni altra forza F, dovuta ad altre cause diverse dalla gravità, deve pure essere misurata in (N)

Pressione e tensione - L'unità di misura del sistema internazionale è il pascal (simbolo Pa), definito come la pressione esercitata dalla forza 1 N applicata perpendicolarmente ad una superficie con area di 1 m^2 (1 Pa = 1 N/m^2).

Per esprimere le grandezze che definiscono caratteristiche di resistenza dei materiali, la norma CNR-UNI 10003 consiglia l'uso dell'unità N/mm^2, che in effetti è stata adottata in alcune recenti normative.

Si noti che essendo 1 kgf/cm^2 = 0,0980665 N/mm^2, adottando la nuova unità di misura raccomandata nel campo della resistenza dei materiali, i dati numerici che esprimono una certa sollecitazione si ridurranno all'incirca ad 1/10 di quelli attuali, espressi in kgf/cm^2.

Per fare un esempio, la resistenza caratteristica di un calcestruzzo pari ad esempio a 300 kgf/cm^2 sarà espressa nel sistema internazionale da 29,4 N/mm^2 (o anche da 294 bar o da 294 daN/cm^2).

L'unità di misura del sistema SI che più si avvicina al kgf/cm^2, finora adottato nell'ingegneria civile è, a meno del 2%, il bar (1 bar = 10^5 pascal = 1,02 kgf/cm^2 = 1 daN/cm^2), unità della quale la CNR-UNI 10003 consiglia l'uso per misurare la pressione dei fluidi.

Energia, lavoro, quantità di calore - L'unità di misura del sistema internazionale è il joule (simbolo J), definita come il lavoro compiuto dalla forza di 1 N quando il suo punto di applicazione si sposta di 1 m nella direzione e nel verso della forza stessa (1 J = 1 N·m). Non sono ammesse altre unità ad eccezione dell'elettronvolt (1 eV = 1,60219 x 10^{-19} J). Anche la quantità di calore andrà perciò misurata in joule. Si ricorda che 1 Cal = 1 kcal = 4186,8 joule. Facciamo un esempio in campo termico.

Il coefficiente di conducibilità termica λ di un materiale è definito come la quantità di calore che attraversa in un'ora un m^2 di superficie di una parete dello spessore di 1 m, quando la differenza di temperatura tra due facce opposte è di 1°C. Si ha cioè che λ viene correntemente misurato in

$$\frac{\text{k cal} \cdot \text{m}}{\text{h m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}} \text{ ossia } \frac{\text{k cal}}{\text{h m } {}^\circ\text{C}}$$

Nel sistema internazionale λ si misura invece in

$$\frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{s m}^2 \, {}^\circ\text{K}} \text{ ossia } \frac{\text{J}}{\text{s m } {}^\circ\text{K}} = \frac{\text{W}}{\text{m } {}^\circ\text{K}}$$

Determiniamo il fattore di conversione:

$$1 \frac{\text{k cal}}{\text{h m } {}^\circ\text{C}} = \frac{4186{,}8}{3600} \quad \frac{\text{W}}{\text{m } {}^\circ\text{K}} = 1{,}16 \frac{\text{W}}{\text{m } {}^\circ\text{C}}$$

Potenza - L'unità di misura del sistema internazionale è il watt (simbolo W) definita come la potenza di un sistema che produce il lavoro di 1J in 1 s (1W = 1J/s).

Unità composte

La Direttiva CEE non fornisce elementi sulle grandezze misurabili con unità composte (cioè con unità composte da altre unità fondamentali o derivate).

Appartengono a queste grandezze, ad esempio, la velocità (m/s), l'accelerazione (m/s^2), la massa volumica (kg/m^3) ecc.

La CNR-UNI 10003-74, in un prospetto comprendente le unità SI ed i loro multipli e sottomultipli, prende invece in esame anche tali grandezze, e introduce per alcune di esse delle innovazioni rispetto alla prassi finora corrente. Queste innovazioni sono ormai universalmente adottate da parte di chi, specialmente all'estero, impiega il sistema internazionale SI.

Mettiamo in rilievo anche qui quanto di nuovo riguarda le grandezze impiegate in ingegneria civile, fornendo alcuni chiarimenti, in particolare, sulla massa volumica e sul momento di inerzia.

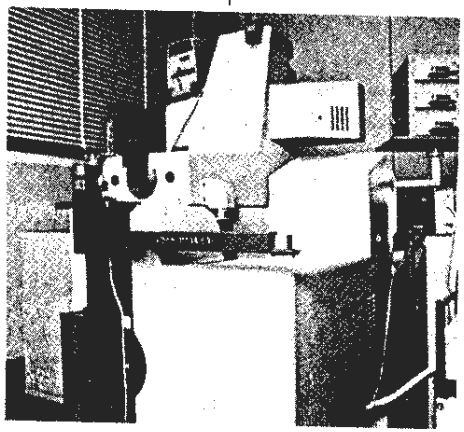
Massa volumica - Nel sistema internazionale il peso specifico è abbandonato. La massa per unità di volume si chiama massa volumica e non più massa specifica o densità assoluta. La massa volumica si misura in kg/m^3.

I termini di *densità* e *densità relativa* sono entrambi usati per indicare il rapporto fra la massa volumica di un corpo omogeneo e la massa volumica di un corpo di riferimento in condizioni che devono essere specificate per i due corpi. Trattasi quindi di una grandezza adimensionata.

Da quanto sopra consegue che, ad esempio, la massa volumica di un calcestruzzo sarà di 2400 kg/m^3 e la sua densità sarà 2,4 se intesa riferita all'acqua, a 4°C.

Momento d'inerzia - Il momento d'inerzia propriamente detto si misura in kg/m^2. La dizione «momento d'inerzia» adottata comunemente in Scienza delle Costruzioni e riferita ad una superficie, nel sistema SI è ritenuta impropria ed è sostituita dalla espressione «momento quadratico di superficie», misurabile in m^4.

3 Tabelle di conversione



Particolare di un interferometro triassale impiegato per misure di alta precisione in campo industriale.

Sempre rimanendo nel campo delle grandezze adoperate nell'ingegneria civile, diamo una serie di tabelle di conversione tra le unità del sistema internazionale SI e le unità fino ad oggi più comunemente adottate. Le unità del sistema internazionale sono individuabili dall'asterisco.

Si cerchi l'unità da convertire nella colonna verticale e si trovi il fattore di conversione in corrispondenza della unità alla quale si vuole passare.

3.1 Angolo piano

	rad	m rad	μ rad	grado sessagesimale °	minuto di angolo '	secondo di angolo ''	grado centesimale o gon
* rad	1	10^3	10^6	$\frac{180}{\pi} = 57,2958$	$\frac{180 \times 60}{\pi} = 3437,75$	$\frac{180 \times 3600}{\pi} = 206264,81$	$\frac{200}{\pi} = 63,6620$
* m rad	10^{-3}	1	10^3	$5,7296 \cdot 10^{-2}$	3,4377	206,26	$6,3662 \cdot 10^{-2}$
* μ rad	10^{-6}	10^{-3}	1	$5,7296 \cdot 10^{-5}$	$3,4377 \cdot 10^{-3}$	0,2063	$6,3662 \cdot 10^{-5}$
grado sessagesimale °	$\frac{\pi}{180} = 1,7453 \cdot 10^{-2}$	17,4533	17453,29	1	60	3600	1,1111
minuto di angolo '	$\frac{\pi}{180 \times 60} = 2,9089 \cdot 10^{-4}$	$2,9089 \cdot 10^{-1}$	290,8882	$\frac{1}{60} = 1,6667 \cdot 10^{-2}$	1	60	$1,8519 \cdot 10^{-2}$
secondo di angolo ''	$\frac{\pi}{180 \times 3600} = 4,8481 \cdot 10^{-6}$	$4,8481 \cdot 10^{-3}$	4,8481	$\frac{1}{3600} = 2,7778 \cdot 10^{-4}$	$\frac{1}{60} = 1,6667 \cdot 10^{-2}$	1	3,0864
grado centesimale o gon	$\frac{\pi}{200} = 1,5708 \cdot 10^{-2}$	15,7080	15707,96	$\frac{180}{200} = 0,9$	54	3240	1

3.2 Forza

	* N	* daN	* kN	* MN	kg, kgf, kgp
* N	1	0,1	10^{-3}	10^{-6}	0,1020
* daN	10	1	10^{-2}	10^{-5}	1,0197
* kN	10^{3}	10^{2}	1	10^{-3}	101,97
* MN	10^{6}	10^{5}	10^{3}	1	101971,62
kg, kgf o kgp	9.8066	0,9807	$9,8066 \cdot 10^{-3}$	$9,8066 \cdot 10^{-6}$	1

Nell'ultima riga e nell'ultima colonna della tabella compare il kilogrammo-forza o kilogrammo-peso, unità finora largamente adottata nell'ingegneria civile con il simbolo kg, oppure kgf, oppure kgp.

Si noti che, con un'approssimazione del 2%, si ha che:

— 1 newton corrisponde ad un decimo di kilogrammo forza, ossia a 100 grammi forza.

— 1 kilogrammo forza corrisponde ad 1 decanewton.

3.3 Pressione e tensione

	* Pa (N/m^2)	* kPa	* M Pa (N/mm^2)	* bar (daN/cm^2)	kg/cm^2	atm	mm Hg	mm H_2O
* Pa (N/m^2)	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-5}	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$9,8692 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	0,1020
* kPa	10^{3}	1	10^{-3}	10^{-2}	$1,0197 \cdot 10^{-2}$	$9,8692 \cdot 10^{-3}$	7,5	101,97
* MPa (N/mm^2)	10^{6}	10^{3}	1	10	10,1972	9,8692	7500	101971,62
* bar (daN/cm^2)	10^{5}	10^{2}	10^{-1}	1	1,0197	0,9869	750	10197,16
kg/cm^2	98066,50	98,07	$9,8066 \cdot 10^{-2}$	0,9807	1	0,9680	735,06	9993,22
atm	101325	101,3250	0,1013	1,0132	1,033	1	760	10332,27
mm Hg	133,32	0,1333	$1,3332 \cdot 10^{-4}$	$1,3332 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,316 \cdot 10^{-3}$	1	13,5951
mm H_2O	9,8066	$9,8066 \cdot 10^{-3}$	$9,8066 \cdot 10^{-6}$	$9,8066 \cdot 10^{-5}$	$1,0007 \cdot 10^{-4}$	$0,9678 \cdot 10^{-4}$	$7,3556 \cdot 10^{-2}$	1

Per atmosfera (simbolo atm) si intende l'atmosfera normale (1 atm = 101325 Pa). Si usa talvolta anche l'atmosfera tecnica (simbolo at; 1 at = 98066,5 Pa).

Si noti che, con l'approssimazione del 2%, si ha:

— 1 bar corrisponde ad 1 kg/cm^2;

— 1 bar corrisponde ad una atmosfera normale;

— 1 MPa (o N/mm^2) corrisponde a 10 kg/cm^2.

3.4 Energia, lavoro, quantità di calore

	joule	wh	caloria
joule	1	$2{,}7778 \cdot 10^{-4}$	0,2388
wh	3600	1	859,84
caloria	4,1868	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	1

3.5 Potenza

	watt	CV	cal/h
watt	1	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	859,84
CV	735,50	1	633874,24
cal/h	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5776 \cdot 10^{-6}$	1

3.6 Conversione di coefficienti contenuti in formule

Come è noto, i coefficienti dimensionati che si trovano nelle formule devono essere convertiti quando si cambia sistema di unità.

Ricordiamo, servendoci di due esempi tratti dal Regolamento sulle opere in cemento armato, la procedura da seguire per convertire i suddetti coefficienti.

Nel sistema di unità fino ad oggi adottato, la formula che lega il modulo di elasticità alla resistenza caratteristica del calcestruzzo è:

$$Ec = 18.000 \sqrt{R_{bk}} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Si vuole trovare il valore del coefficiente di proporzionalità nel sistema internazionale SI, esprimendo E_c ed R_{bk} in N/mm^2. Si ha (vedi tabella 3.3):

$$E_c \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 10{,}2\ E_c \left[\frac{N}{mm^2} \right] \text{ ed } R_{bk} \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 10{,}2\ R_{bk} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

La formula diventa perciò, esprimendo le grandezze in $\frac{N}{mm^2}$:

$$10{,}2\ E_c = 18.000 \sqrt{10{,}2\ R_{bk}}$$

da cui:

$$E_c = 18.000\ \frac{\sqrt{10{,}2}}{10{,}2}\ \sqrt{R_{bk}}$$

$$E_c = 5635 \sqrt{R_{bk}} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Il nuovo valore del coefficiente è perciò 5635. Tale valore, nel D.M. 26 marzo 1980, è stato arrotondato a 5700.

Adottando come unità di misura delle tensioni il N/mm^2, la formula che lega la resistenza media unitaria a trazione semplice alla resistenza caratteristica del calcestruzzo, è:

$$f_{ctm} = 0{,}27 \sqrt[3]{R^2_{bk}} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Si vuole trovare il valore del coefficiente di proporzionalità, quando f_{ctm} e R_{bk} siano espressi in kg/cm².

Si ha (vedi tabella 3.3):

$$f_{ctm}\left[\frac{N}{mm^2}\right] = 0{,}098\, f_{ctm}\left[\frac{kg}{cm^2}\right] \text{ ed } R_{bk}\left[\frac{N}{mm^2}\right] = 0{,}098\, R_{bk}\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

La formula diventa perciò, esprimendo le grandezze in $\frac{kg}{cm^2}$:

$$0{,}098\, f_{ctm} = 0{,}27 \sqrt[3]{(0{,}098\, R_{bk})^2}$$

da cui:
$$f_{ctm} = 0{,}27\, \frac{\sqrt[3]{0{,}098^2}}{0{,}098} \sqrt[3]{R^2_{bk}}$$

$$f_{ctm} = 0{,}58 \sqrt[3]{R^2_{bk}}\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

Il nuovo valore del coefficiente è perciò 0,58.