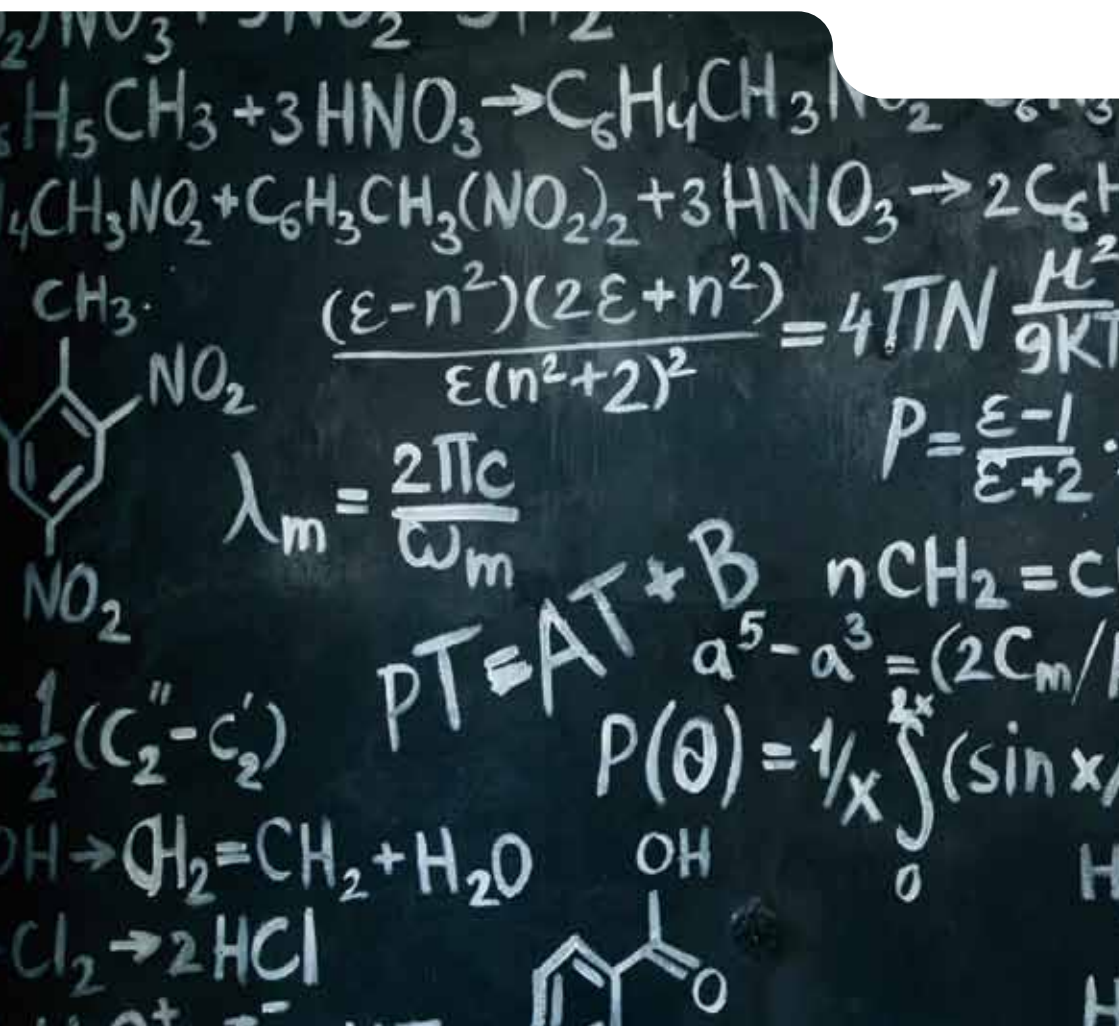


# Manuale Tecnico

Quaderni di formazione





# Manuale Tecnico

edizione 2018



# Indice

Indice analitico

## Parte I

### Scelta ed applicazione del cuscinetti

1. Tavola sinottica .....	10
2. Cuscinetti volventi e radenti SKF.....	11
3. Fabbricazione di un cuscinetto volvente (esempio riferito ad un cuscinetto radiale a sfere) .....	16
4. Piani dimensionali, dimensioni di ingombro, serie dimensionali .....	17
5. Tolleranze e giuoco .....	18
6. Appellativi .....	18
7. Forma del contatto .....	19
8. Osculazione .....	19
9. Angolo di contatto .....	19
10. Angolo di carico .....	19
11 . Attrito del cuscinetto .....	20
12. Lubrificazione .....	20
13. Calcolo dei cuscinetti .....	20

## Parte II

### Unità SI raccomandate

1. Grandezze ed unità fisiche .....	24
1.1. Grandezze ed equazioni .....	24
1.2. Le grandezze di base o primarie .....	24
1.3. Il sistema delle unità .....	24
1.4. Il sistema di grandezze .....	25
1.5. Riepilogo .....	25
2. Unità SI ed altri sistemi (concetto/significato) .....	25
3. Le sette unità di base SI e le loro definizioni .....	27
4. Unità atomofisiche per massa ed energia .....	27
5. Unità coerenti derivate dalle unità SI .....	28
6. Simboli ed unità del sistema internazionale di unità (SI) .....	33
7. Unità usate finora e non più ammesse .....	37

### Simboli di grandezze ed unità fisiche

1. Simboli ed unità dell'elettrotecnica (secondo SI) .....	38
2. Simboli ed unità della termodinamica (secondo SI) .....	39
3. Simboli della fluidodinamica .....	41
4. Simboli ed unità della meccanica (grandezze cinematiche e dinamiche) .....	44

### Conversione delle unità (Tabelle)

1. Conversione delle unità di tempo .....	45
---	----

2. Conversione delle unità di forza .....	45
3. Conversione delle unità di pressione ( $p$ ) .....	46
4. Conversione delle unità di lavoro, energia ( $W$ ), energia termica ( $Q$ ) .....	48
5. Conversione delle unità di potenza ( $P$ ), flusso di energia ( $E$ ), flusso termico ( $\Phi$ ) .....	50
6. Conversione delle unità di conduzione termica ( $\lambda$ ) .....	52
7. Conversione del coefficiente di irraggiamento termico ( $\alpha_s$ ), coefficiente di convezione termica naturale e coefficiente di trasmissione del calore ( $\alpha$ e $k$ ) .....	54
8. Conversione delle unità di tensione normale e tangenziale ( $\sigma$ e $\tau$ ) .....	56
9. Conversioni delle unità di energia interna spec. ( $u$ ), entalpia spec. ( $h$ ) e potere calorifico ( $H$ ) .....	58
10. Conversioni delle unità di viscosità cinematica ( $\nu$ ) .....	58
11. Conversioni delle unità di viscosità dinamica ( $\eta$ ) .....	59
12. Abachi per unità di viscosità internazionali .....	60
13. Abachi per unità termiche internazionali .....	61
14. Conversione delle unità per la durezza dell'acqua .....	62
15. Conversioni delle unità angolari in decimali (radiante, grado, grado centesimale) .....	63

## Unità anglosassoni

1. Simboli di unità anglosassoni e francesi .....	64
2. Rapporti tra le unità anglosassoni e quelle metriche .....	65
2.1. Generalità .....	65
2.2. Unità di volume .....	66
2.3. Misure di capacità: a) Materiali secchi; b) Liquidi .....	66
2.4. Pesi commerciali (Masse) .....	66
2.5. Valori dei carichi: a) Carichi per unità di lunghezza .....	66
b) Carichi per unità di superficie .....	67
2.6. Pesi specifici (densità, massa spec.) .....	67
2.7. Momenti (torcente, di inerzia, resistente) .....	67
2.8. Varie (unità composte) .....	67

## Parte III

### Richiami di matematica

1. Segni e simboli matematici .....	70
2. Alfabeto greco .....	72
3. Numeri romani .....	73
4. Costanti di uso frequente .....	73
5. Prefissi letterali dei multipli e sottomultipli .....	74
6. Numerali .....	74
7. Le operazioni fondamentali .....	75
8. La divisibilità di numeri con più cifre .....	75
9. Aritmetica: formule e regole .....	76
a) Leggi fondamentali .....	76
b) Regole dei segni .....	76

c) Frazioni .....	77
d) Proporzioni .....	77
e) Binomi, polinomi .....	78
f) Potenze .....	78
g) Radici .....	79
h) Logaritmi .....	79
10. Progressioni aritmetiche, geometriche, infinite .....	80
11. Algebra: risoluzione di equazioni .....	82
a) Identità .....	82
b) Equazioni .....	82
I. Equazioni lineari con un'incognita (equazioni di primo grado) .....	82
II. Equazioni lineari con due o più incognite (equazioni di primo grado) .....	82
1. Procedimento di sostituzione .....	83
2. Procedimento di confronto .....	83
3. Procedimento di addizione .....	84
III. Equazioni di secondo grado o quadratiche .....	84
IV. Equazioni di terzo grado o cubiche .....	84
12. Numeri immaginari .....	86
13. Risoluzione di sistemi lineari con 3 incognite .....	87
14. Calcolo combinatorio .....	92
a) Permutazioni .....	92
b) Combinazioni .....	92
c) Variazioni .....	92

## Numerazione binaria

Conversione in forma binaria di un numero decimale e viceversa .....	93
--	----

## Richiami di trigonometria

1. Unità angolari: grado, grado centesimale, radiante .....	95
2. Conversione delle unità angolari .....	95
3. Conversione di una superficie circolare conosciuta in un quadrato di uguale superficie .....	96
4. Formule per il triangolo piano .....	96
5. Funzioni trigonometriche per il triangolo rettangolo .....	96
6. Funzioni nel cerchio di raggio uno .....	97
7. Segni delle funzioni trigonometriche nei quadranti .....	97
8. Valori delle funzioni per angoli particolari .....	97
9. Riduzione delle funzioni al I quadrante .....	98
10. Rapporti tra le funzioni dello stesso angolo .....	99
11. Archi complementari .....	99
12. Rapporti delle funzioni trigonometriche fra di loro .....	100
13. Formule per il triangolo rettangolo .....	100
14. Altri teoremi trigonometrici .....	101
15. Formule per il triangolo obliquangolo .....	102
16. Funzioni trigonometriche nel triangolo obliquangolo .....	102
17. Formule per il triangolo sferico .....	104

## Indice analitico

Algebra, analisi matematica (segni matematici) .....	70
Algebra, teoria delle equazioni .....	82
Alfabeto greco .....	72
Ampere, unità di base SI .....	27
Appellativi dei cuscinetti volventi .....	18
Archi complementari, trigonometria .....	99
Aritmetica, formule e regole .....	76
Attrito del cuscinetto .....	20
Binaria (numerazione) .....	93
Binomi .....	78
Calcolo combinatorio, formule .....	92
Calcolo dei cuscinetti .....	20
Calcolo differenziale, segni matematici .....	71
Calcolo integrale, segni matematici .....	72
Candela, unità di base SI .....	27
Carichi lineari, unità anglosassoni .....	66
Carichi per unità di superficie anglosassoni; unità .....	67
Cerchio di raggio uno, funzioni trigonometriche .....	97
Chilogrammo, unità di base SI .....	27-29
Coefficiente di convezione termica naturale, conversione .....	54
Coefficiente di irraggiamento termico naturale, conversione .....	54
Coefficiente di trasmissione del calore, unità; conversione .....	54
Conduttività termica, unità; conversione .....	52
Costanti di uso frequente .....	3
Cuscinetti radenti SKF .....	11
Cuscinetti volventi, fabbricazione .....	16
Cuscinetti volventi SKF .....	11
Densità, unità anglosassoni .....	65-67
Dimensioni di ingombro dei cuscinetti .....	17
Divisibilità dei numeri .....	75
Durezza dell'acqua, unità, conversione .....	62
Elettrotecnica, formule e unità .....	35-38
Energia, unità atomofisiche (SI) .....	27
Energia interna spec.; unità e conversione .....	58
Energia termica, unità anglosassoni .....	64
Energia termica, unità, conversione .....	48
Energia, unità metrica; conversione .....	48
Entalpia spec., unità, conversione .....	58
Equazioni base tra grandezze, definizione .....	24
Equazioni cubiche, formule .....	85
Equazioni, formule .....	82
Equazioni lineari .....	82
Equazioni quadratiche, formule .....	84
Fluidodinamica, formule e unità .....	41
Flusso termico, unità, conversione .....	50
Forma del contatto, angolo di contatto .....	19
Frazioni, aritmetica .....	77
Funzione esponenziale, segni matematici .....	72
Funzioni trigonometriche, trigonometria .....	96, 97, 100, 102
Geometria, segni e simboli.....	70
Gradi di durezza, acqua .....	62
Grandezze di base .....	24
Grandezze di base, simboli.....	27
Grandezze fisiche .....	24
Identità .....	82
Intensità luminosa, unità; conversione .....	27
Kelvin, unità di base SI.....	27
Logaritmi, formule .....	79
Lubrificazione dei cuscinetti.....	20
Massa, unità anglosassoni .....	66
Massa, unità atomofisiche .....	27
Meccanica, simboli di formule .....	33-35
Metro (m), unità di base SI .....	27
Misure di capacità (liquidi) anglosassoni .....	66
Misure di capacità (materie secche) anglosassoni .....	66
Mole, unità di base SI .....	27
Momenti, unità anglosassoni .....	67
Momento di inerzia, unità anglosassoni .....	67
Momento resistente, unità anglosassoni .....	67
Momento torcente, unità anglosassoni .....	67
mval/l, durezza dell'acqua; conversione .....	62
Numerali .....	74
Numerazione binaria .....	93
Numeri immaginari, formule.....	86
Numeri romani.....	73
Operazioni fondamentali .....	75

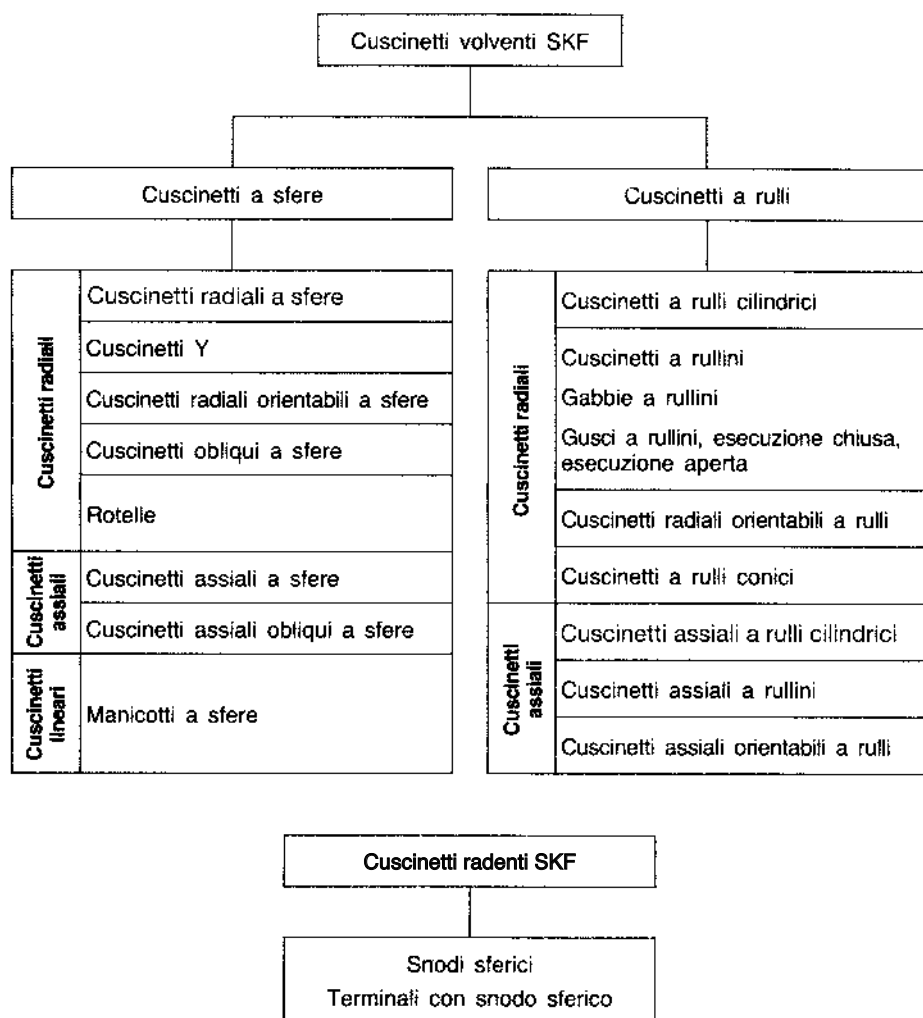
Osculazione nei cuscinetti volventi .....	19	Triangolo sferico, formule .....	104
Ottica, formule e unità .....	36	Trigonometria, formule	
Permutazioni, formule .....	92	fondamentali .....	95
Pesi commerciali, anglosassoni .....	66	Trigonometria altri teoremi .....	101
Pesi e volumi, unità anglosassoni .....	66	Trigonometria funzioni .....	96, 97, 99, 102
Pesi specifici anglosassoni; conversione .....	67	Unità anglosassoni, conversione	
Piani dimensionali, serie dimensionali,		e tabelle.....	64-67
cuscinetti SKF .....	17	Unità anglosassoni, metriche .....	66
Potere calorifico, unità, conversione .....	58	Unità angolari, conversione, grado,	
Polinomi, formule .....	78	grado centesimale (Gon) e radiante .....	95
Potenze, formule .....	78	Unità angolari, conversione	
Prefissi letterali di multipli e sottomultipli ....	74	in decimali .....	95
Proporzioni, aritmetica, formule .....	77	Unità atomofisiche (SI) .....	27
Quantità di calore anglosassoni,		Unità coerenti derivate dalle unità SI .....	28
unità e conversione .....	64	Unità composte, anglosassoni .....	64, 67
Quantità di calore, unità, conversione .....	48	Unità della fluidodinamica (SI) .....	41
Quantità di energia, anglosassone .....	67	Unità della meccanica .....	44
Quantità di materia, unità atomofisiche .....	27	Unità della termodinamica (SI) .....	39
Radici, formule.....	79	Unità dell'elettrotecnica (SI) .....	38
Secondo, unità di base SI .....	27	Unità di base SI; definizioni .....	27
Segni, aritmetica .....	76	Unità di densità anglosassoni,	
Segni, funzioni di angoli nei quadranti.....	97	conversione .....	65-67
Segni matematici .....	70	Unità di energia anglosassoni,	
Simboli e formule, elettrotecnica .....	38	conversione .....	64-67
Simboli e formule, meccanica.....	44	Unità di energia, conversione .....	48
Simboli e formule, internazionali .....	33	Unità di forza, conversione.....	45
Simboli e formule, fluidodinamica .....	41	Unità di lavoro, conversione.....	48
Simboli e formule, tabelle .....	38-44	Unità di luminanza .....	31
Simboli e formule, termodinamica .....	39	Unità di lunghezza anglosassoni,	
Simboli, unità anglosassoni e francesi.....	64	conversione .....	65
Sistemi delle unità.....	24	Unità di massa anglosassoni, conversione ....	66
Sistemi di grandezze.....	24	Unità metriche, spazio e massa .....	28, 33, 63
Superficie circolare conversione in un		Unità metriche, superficie e lunghezza ...	28, 33
quadrato.....	96	Unità di momento torcente, conversione .....	67
Tecnica nucleare, simboli, formule e		Unità di potenza anglosassoni,	
unità .....	36	conversione .....	50
Termodinamica, formule e unità .....	39	Unità di potenza SI, conversione .....	50
Tipi di cuscinetti .....	11-16	Unità di pressione anglosassoni,	
Tolleranze e giuoco del cuscinetto .....	18	conversione .....	65, 67
Triangolo obliquangolo, formule		Unità di pressione, conversione.....	46
trigonometriche .....	102	Unità di resistenza, conversione.....	56
Triangolo piano, formule .....	96	Unità di superficie anglosassoni,	
Triangolo rettangolo, trigonometria,		conversione .....	65
formule .....	96	Unità di tempo, conversione .....	45

Unità di tensione, conversione.....	56
Unità di volume anglosassoni .....	65, 67
Unità di volume anglosassoni, conversione .....	66
Unità fisiche .....	24
Unità metrica massa/misure, conversione .....	33, 34
Unità per la viscosità, conversione e abaco .....	60
Unità precedenti non più ammesse .....	37
Unità SI concetto e significato .....	25
Unità SI, conversione e tabelle .....	45, 63
Unità SI ed altri sistemi.....	25, 33
Unità SI raccomandate .....	24, 26
Unità termiche, conversione.....	34, 48
Valori di $\pi$ .....	73
Valori di funzione di angoli particolari .....	97, 99, 102
Valori limite, segni matematici .....	71
Variazioni, formule .....	92
Velocità, unità anglosassoni, conversione .....	65, 67
Viscosità, unità cinematiche, conversione .....	58, 60
Viscosità, unità dinamiche, conversioni .....	59, 60
Volteletterone, unità atomofisiche .....	27

Parte I

Scelta e applicazione dei cuscinetti

## 1. Tavola sinottica



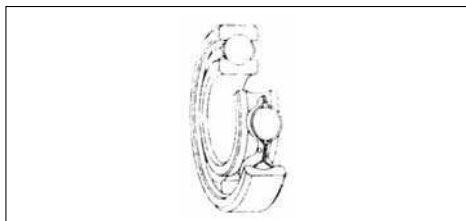
## 2. Cuscinetti volventi e radenti SKF

I cuscinetti hanno il compito di guidare parti che ruotano l'una rispetto all'altra e di reggere carichi di tipo e grandezza differenti. I cuscinetti radiali sono adatti prevalentemente per carichi perpendicolari all'asse del cuscinetto, i cuscinetti assiali invece prevalentemente per carichi in direzione dell'asse. I cuscinetti si distinguono in cuscinetti volventi e radenti. Nei cuscinetti volventi tra le piste sono interposti corpi volventi (sfere, rulli ecc.); nei cuscinetti radenti (ad esempio snodi sferici) le superfici portanti generalmente scorrono l'una contro l'altra con l'interposizione di un lubrificante. I cuscinetti descritti in seguito rappresentano soltanto un elenco dei tipi di cuscinetti prodotti dalla SKF. Dati dettagliati si possono rilevare dalle pubblicazioni SKF.

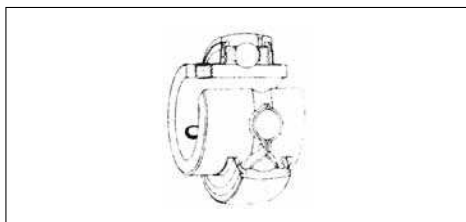
**Cuscinetti radiali rigidi a sfere.** Nella versione ad una corona, sono i cuscinetti maggiormente impiegati. Possono reggere carichi assiali nei due sensi in aggiunta ai carichi radiali, anche a velocità elevate. Sono previsti anche nelle esecuzioni con tenute laterali e con anelli di ancoraggio.

**Cuscinetti Y.** Sono così denominati i cuscinetti radiali a sfere prodotti dalla SKF aventi particolari caratteristiche costruttive. L'anello esterno ha la superficie diametrale esterna sferica. L'anello interno generalmente è più largo da uno o da entrambi i lati e di solito viene fissato all'albero o con collare eccentrico, con vite di pressione o con una bussola di trazione. Il cuscinetto insieme con il relativo alloggiamento in lamiera d'acciaio o ghisa può sopportare disallineamenti iniziali di moderata entità, ma, di norma, non consente lo spostamento assiale, salvo in cui vengano effettuate specifiche lavorazioni. I cuscinetti Y hanno guarnizioni striscianti da entrambi i lati.

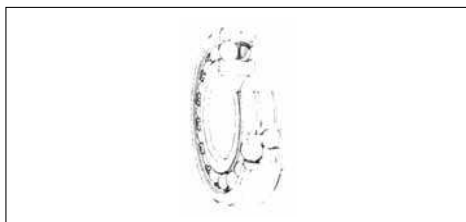
**Cuscinetti radiali orientabili a sfere.** Hanno due corone di sfere ed un'unica pista di forma sferica



*Cuscinetto radiale a sfere*



*Cuscinetto Y*



*Cuscinetto radiale orientabile a sfere*

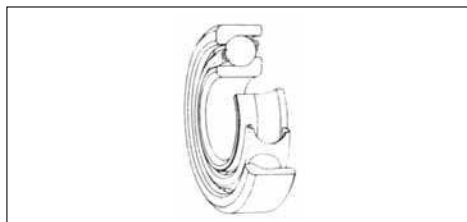
## Parte I - Scelta ed applicazione dei cuscinetti

nell'anello esterno: quest'ultima caratteristica conferisce loro doti di orientabilità e perciò sono consentiti certi valori di inclinazione dell'albero rispetto all'alloggiamento. Essi vengono impiegati principalmente quando possono verificarsi inflessioni abbastanza grandi od errori di allineamento, ad esempio per alberi lunghi e sottili.

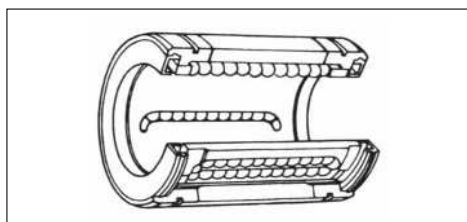
**Cuscinetti obliqui a sfere.** Hanno piste sfalsate l'una rispetto all'altra; i carichi vengono trasmessi, tramite le sfere, da una gola all'altra lungo rette che formano un certo angolo con l'asse del cuscinetto. I cuscinetti obliqui a sfere sono adatti per reggere carichi combinati (radio-assiali). Questo tipo di cuscinetto può reggere carichi assiali diretti in un solo senso. Infatti sotto l'effetto di un carico radiale, si genera nel cuscinetto una forza assiale che deve venir equilibrata da un'altra diretta in senso opposto: perciò esso viene montato generalmente in opposizione con un altro. Il cuscinetto obliquo a due corone di sfere può invece reggere carichi assiali in ambo i sensi.

**Manicotti a sfere.** Sono cuscinetti volventi lineari per movimenti alternativi di lunghezza illimitata. Essi consentono una guida longitudinale precisa, anche in presenza di carichi elevati. I manicotti a sfere SKF sono disponibili in tre diverse esecuzioni: con guscio chiuso, con guscio avente taglio longitudinale (il gioco residuo può essere regolato) o in esecuzione aperta (per guide longitudinali nelle quali l'albero deve essere sostenuto a causa della sua grande lunghezza).

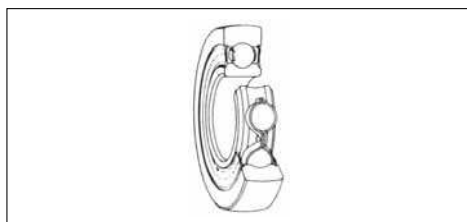
**Rotelle.** Sono cuscinetti volventi schermati da entrambi i lati con anello esterno rinforzato. Esse vengono prodotte in versione stretta e larga. Le rotelle strette hanno una superficie di rotolamento sferica sull'anello esterno, le rotelle larghe possono avere superficie di rotolamento sferica o cilindrica sull'anello esterno.



*Cuscinetto obliquo a sfere*



*Manicotto a sfere*

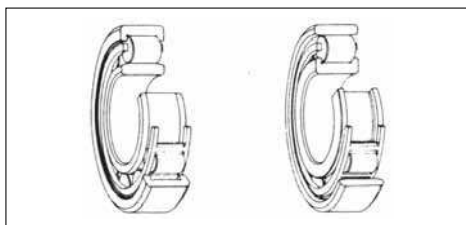


*Rotelle*

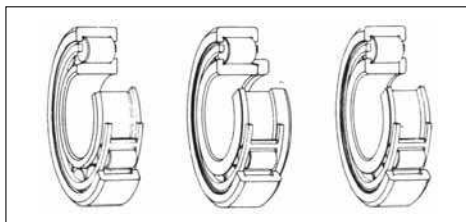
**Cuscinetti a rulli cilindrici.** Possono reggere elevati carichi radiali. Nella versione a una corona uno dei due anelli del cuscinetto ha due orletti integrali tra i quali i rulli vengono guidati assialmente; l'altro anello o non dispone di alcun orletto (forma NU e N), o di un orletto integrale (forma NJ) o di un orletto integrale ed un anello di spalleggiamento (forma NUP). I cuscinetti a rulli cilindrici delle forme NU e N consentono, entro certi limiti indicati a catalogo, uno spostamento assiale nei due sensi dell'albero rispetto all'alloggiamento. Nei cuscinetti a rulli cilindrici della forma NJ è possibile la guida assiale dell'albero in un senso. I cuscinetti a rulli cilindrici della forma NUP permettono la guida assiale dell'albero in ambo i sensi. In luogo della forma NUP può essere impiegato anche un cuscinetto NJ insieme con un anello di spalleggiamento riportato. I cuscinetti a due corone di rulli cilindrici a fronte di un modesto ingombro radiale possono reggere elevati carichi radiali. Con i cuscinetti a due corone di rulli cilindrici si hanno applicazioni molto rigide.

**Cuscinetti a rullini.** Hanno una capacità di carico radiale elevata con ingombro radiale molto piccolo. Per motivi di spazio spesso i cuscinetti a rullini vengono montati senza anello interno. Se è necessario avere ridurre l'ingombro radiale i cuscinetti a rullini vengono impiegati senza anello interno e senza anello esterno (*gabbie a rullini*).

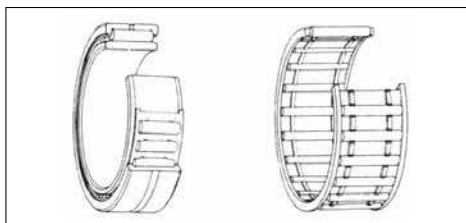
**Gusci a rullini, esecuzione aperta ed esecuzione chiusa.** Sono cuscinetti a rullini dotati di un anello esterno molto sottile, fatto di lamiera d'acciaio. Permettono di realizzare applicazioni molto economiche nei casi in cui è richiesta un'elevata capacità di carico con un basso ingombro radiale. I gusci a rullini sono disponibili sia nell'esecuzione aperta dai due lati, sia in quella chiusa da un lato. Nella maggior parte dei casi vengono impiegati gusci senza anello interno. Gli anelli interni vengono montati solo quando l'albero non può venir indurito e rettificato.



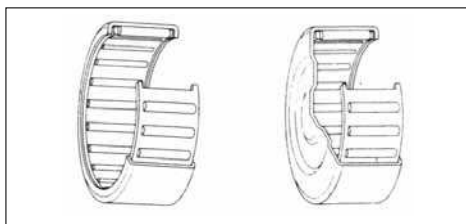
Forme NU - N



Forme Nj, NJ con anello di spalleggiamento e NUP



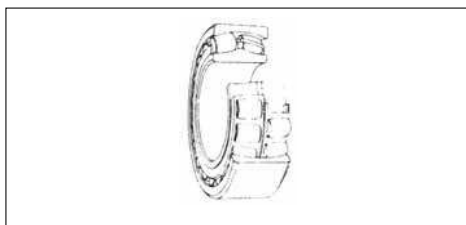
Cuscinetto e gabbia a rullini



Gusci a rullini

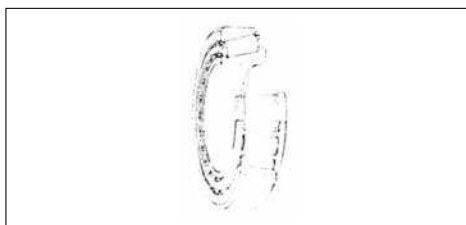
## Parte I - Scelta ed applicazione dei cuscinetti

**Cuscinetti radiali orientabili a rulli.** Possono reggere carichi radiali molto elevati. Il fatto che l'asse di ciascun rullo risulti inclinato rispetto a quello del cuscinetto permette a quest'ultimo di sopportare, oltre a carichi radiali, anche spinte assiali in ambo i sensi. Le due corone di rulli hanno un'unica pista di forma sferica ricavata nell'anello esterno. Questi cuscinetti sono orientabili e permettono di far fronte, entro certi limiti, al disassamento dell'albero rispetto all'alloggiamento nonché alle inflessioni dell'albero. La guida dei rulli è assicurata dalla gabbia e da un apposito anello riportato situato tra le due corone di rulli.



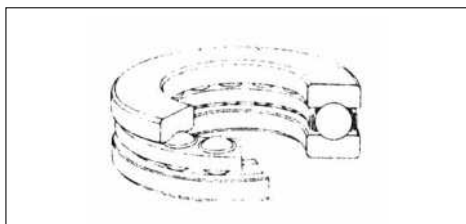
*Cuscinetto radiale orientabile a rulli*

**Cuscinetti a rulli conici.** Sono particolarmente adatti per reggere carichi combinati (radio-assiali). I cuscinetti ad una corona di rulli possono reggere carichi assiali diretti in un senso solo. Per effetto del carico radiale, si genera nel cuscinetto una componente assiale che dev'essere equilibrata con una forza diretta in senso opposto: per questa ragione il cuscinetto viene per lo più montato in opposizione ad un altro.



*Cuscinetto a rulli conici*

**Cuscinetti assiali a sfere, a semplice effetto.** Sono adatti a reggere carichi assiali in un unico senso e non sono idonei a reggere carichi radiali. Sono costituiti da due ralle piane munite di gole – la ralla per albero (o interna) e la ralla per alloggiamento (o esterna) – e di una corona di sfere con relativa gabbia. Questi cuscinetti sono scomponibili e perciò le relative ralle interne ed esterne possono essere montate separatamente.



*Cuscinetto assiale a sfere, a semplice effetto*

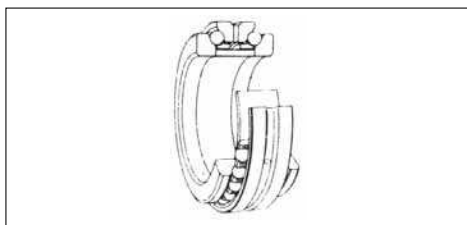
**Cuscinetti assiali a sfere, a doppio effetto.** Possono reggere carichi assiali in ambo i sensi. Sono costituiti da una ralla interna, due ralle esterne e da due gabbie complete di relative corone di sfere.



*Cuscinetto assiale obliquo a sfere, a doppio effetto*

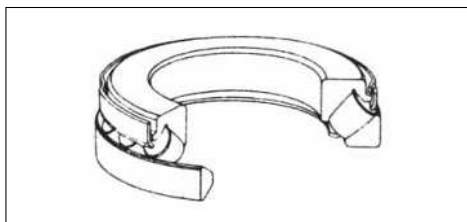
**Cuscinetti assiali obliqui a sfere, a doppio effetto.** Sono adatti per reggere carichi assiali in

ambo i sensi. Poiché i carichi vengono trasmessi, tramite le sfere, da una gola all'altra lungo rette che formano un certo angolo con l'asse degli stessi cuscinetti, essi sono adatti per velocità più elevate rispetto ai cuscinetti assiali a sfere. I cuscinetti sono costituiti da una ralla centrale non divisa, due gabbie massicce con molte sfere e due ralle da montare sull'albero separate da una bussola distanziatrice. La bussola distanziatrice è dimensionata in modo che i cuscinetti presentino, dopo il montaggio, un determinato precarico.



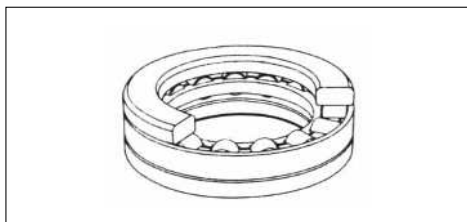
*Cuscinetto assiale obliquo a sfere*

**Cuscinetti assiali orientabili a rulli.** Possono reggere carichi assiali molto elevati in un solo senso. Fino ad una determinata percentuale del carico assiale supportano anche carichi radiali. I cuscinetti hanno una ralla esterna con pista di forma sferica il che conferisce loro doti di orientabilità. Sono perciò consentiti certi valori di inclinazione dell'albero rispetto all'alloggiamento o di inflessione dell'albero.



*Cuscinetto assiale orientabile a rulli*

**Cuscinetti assiali a rulli cilindrici e cuscinetti assiali a rullini, a semplice effetto.** Sono adatti per reggere carichi assiali elevati in un solo senso: essi non sono adatti a reggere carichi radiali. Questi cuscinetti sono costituiti da due ralle piane e dalla serie di corpi volventi tenuta da una gabbia. I cuscinetti sono scomponibili e perciò le ralle possono venir messe in opera separatamente.



*Cuscinetto assiale a rulli cilindrici*

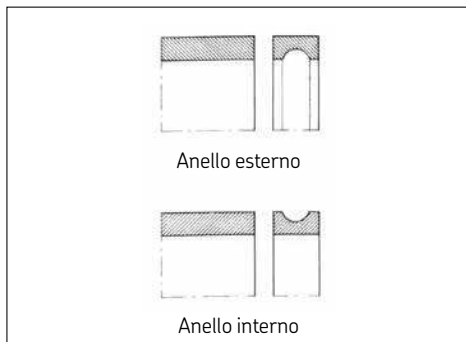
**Snodi sferici.** Gli snodi sferici sono cuscinetti radenti pronti per il montaggio. Essi vengono impiegati specialmente là dove devono essere trasmessi carichi elevati e spesso anche di tipo pulsante con movimenti di ribaltamento e di orientamento. Gli snodi sferici sono costituiti da un anello interno e da un anello esterno le cui superfici di scorrimento sono sferiche. La SKF produce snodi sferici con diversi design ed accoppiamenti di scorrimento.



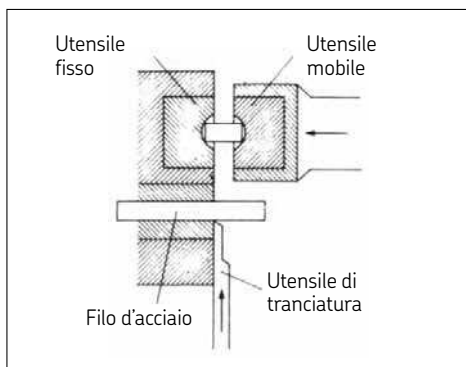
*Snodo sferico*

### 3. Fabbricazione di un cuscinetto volvente (esempio riferito ad un cuscinetto radiale a sfere)

**Anello esterno, anello interno.** Gli anelli vengono ricavati da tubi, barre o semilavorati fucinati, laminati o stampati. Gli anelli piccoli e medi vengono lavorati su torni automatici, quelli grandi su torni a giostra. Dopo la tornitura segue il riscaldamento degli anelli a 800°C, seguito dallo spegnimento in bagno di oli o sale (tempra) ed il rinvenimento. Poi vengono rettificate le superfici laterali degli anelli, il diametro esterno dell'anello esterno, il foro dell'anello interno e le piste che vengono inoltre anche levigate.



**Corpi volventi.** Le sfere più piccole vengono prodotte da filo d'acciaio trafilato. I cilindretti tranciati con lo stampaggio a freddo su una pressa rapida vengono trasformati in sfere. Le sfere con diametro più grande vengono invece stampate a caldo su presse o fucinatrici. La bavatura che si forma viene eliminata con apposite macchine. Seguono poi la rettificazione e la barilatura prima della tempra, fino quando le sfere hanno raggiunto la rotondità prescritta. Le sfere vengono poi temprate e rinvenute, poi barilate dopo la tempra, rettificate, lappate, lucidate mediante barilatura ed alla fine selezionate in gruppi di diametri.

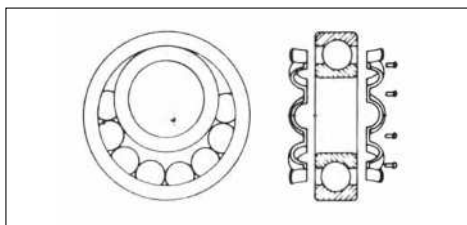


**Gabbie.** Le gabbie stampate vengono prodotte mediante tranciatura principalmente da nastro di acciaio per imbutitura o da lamiera di ottone e sono costituite da due metà che vengono collegate insieme mediante chiodatura, sovrapposizione o saldatura.



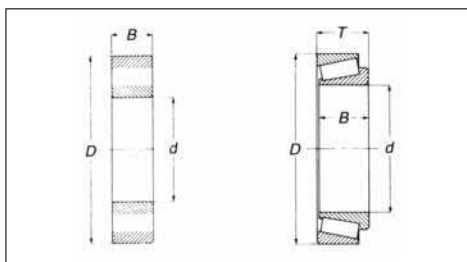
Gabbie di lamiera

**Montaggio.** Le sfere vengono introdotte tra gli anelli disposti in posizione eccentrica e distribuite in modo uniforme sulla circonferenza, poi vengono inserite le semigabbie e collegate tra di loro. Dall'entrata della materia prima, durante la fabbricazione delle parti singole, fino al prodotto finito e imballato sono inseriti numerosi collaudi e controlli. Per un cuscinetto radiale a sfere in esecuzione standard si hanno circa 70 operazioni di controllo.

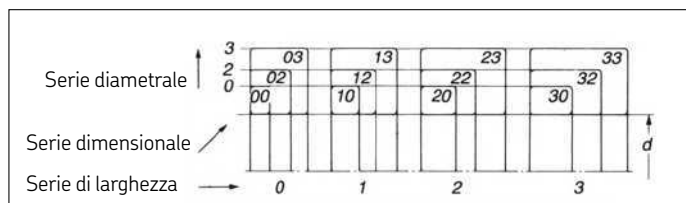
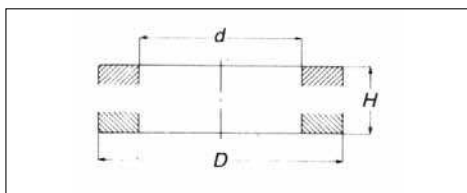


## 4. Piani dimensionali

**Dimensioni d'ingombro.** Per rendere possibile la fabbricazione economica dei cuscinetti e anche per assicurare l'intercambiabilità tra cuscinetti di differenti produttori, le dimensioni di ingombro sono state unificate in sede ISO ed elencate in piani dimensionali sia per i cuscinetti volventi, sia per alcune serie di cuscinetti a rullini e per gli snodi sferici.



**Serie dimensionali.** I cuscinetti volventi vengono prodotti in diverse **serie diametrali**, cioè ad un determinato diametro  $d$  del foro sono coordinati diversi diametri esterni unificati. Entro ogni serie diametrale vi sono inoltre diverse **serie di larghezze**. Le serie di larghezze sono contrassegnate con i numeri, 8, 0, 1, 2, 3, 4, 5, e 6; le serie diametrali con i numeri 7, 8, 9, 0, 1, 2, 3, e 4. Con questa successione dei numeri la larghezza del cuscinetto e rispettivamente il diametro esterno aumentano. Combinando le serie di larghezze con le rispettive serie diametrali si ottengono le **serie dimensionali** le quali definiscono la forma



*Serie dimensionali per cuscinetti volventi*

## Parte I - Scelta ed applicazione dei cuscinetti

della sezione trasversale del cuscinetto volvente radiale. Nei cuscinetti volventi assiali alle serie diametrali sono coordinate, in luogo delle serie di larghezze, le **serie di altezze**. Le serie dimensionali sono formate da due numeri; il primo numero indica la serie di larghezze o rispettivamente la serie di altezze, il secondo numero la serie diametrale. Anche per gli snodi sferici sono state stabilite serie dimensionali che vengono contrassegnate con lettere maiuscole.

## 5. Tolleranze e giuoco

I cuscinetti volventi vengono prodotti nella classe di precisione 0 (toleranze normali) o, con precisione più elevata, nelle classi di precisione P6 e P5. La precisione aumenta con il diminuire della cifra. Queste classi di tolleranza sono state unificate internazionalmente dalla ISO.

Per casi speciali vengono prodotti cuscinetti con particolare precisione nelle classi di tolleranza SP (Precisione Speciale) e UP (Ultra Precisione) P4, P4A, PA9A. Per giuoco di un cuscinetto s'intende lo spostamento massimo possibile di un anello rispetto all'altro in senso radiale (giuoco radiale) o in senso assiale (giuoco assiale). Il giuoco di un cuscinetto non ancora in opera (giuoco iniziale) si riduce dopo il montaggio (giuoco residuo) e diminuisce ancora nelle condizioni di funzionamento (a causa della differente dilatazione termica di un anello rispetto all'altro) di un determinato valore (giuoco di esercizio). I cuscinetti con giuoco "normale" sono sufficienti per i casi di applicazione usuali.

Per condizioni di funzionamento particolari vengono impiegate le classi di giuoco C1 e C2 (giuoco più piccolo), oppure C3, C4 e C5 (giuoco più grande di quello normale). I valori per il giuoco dei cuscinetti sono pure unificati in sede ISO. Gli snodi sferici della SKF vengono prodotti generalmente nella classe di giuoco "normale" ed in casi speciali con giuoco radiale più piccolo (C2) o più grande (C3).

## 6. Appellativi

L'appellativo completo dei cuscinetti volventi è composto dei simboli per la serie del cuscinetto (numeri o lettere e numeri), del numero indicativo del foro ed eventualmente ancora di altri suffissi. Fino ad un diametro del foro  $d = 9$  mm il numero indicativo del foro è uguale al diametro del foro in mm; al foro di 10, 12, 15 e 17 mm corrispondono i numeri indicativi 00, 01, 02 e 03, da 20 fino a 480 mm il numero indicativo del foro è pari ad  $1/5$  del diametro del foro (ad esempio  $24 \triangleq d = 120$  mm). A partire da  $d = 500$  mm il numero indicativo del foro è nuovamente uguale al diametro del foro.

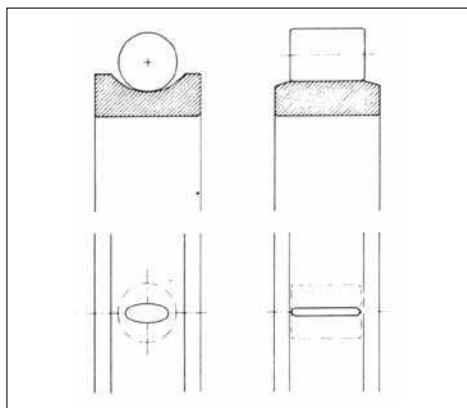
Esempi		
Appellativo	$\frac{618}{18}$	$\frac{24}{24}$
Simbolo della serie di cuscinetto (6: tipo di cuscinetto; 18: serie diametrale)	618	
Numero indicativo del foro		24
Appellativo	$\frac{NPU\ 22}{22}$	$\frac{03}{03}$ E
Simbolo della serie di cuscinetto (NUP: tipo di cuscinetto; 22: serie diametrale)	NUP 22	
Numero indicativo del foro		03
Suffisso		E

Gli appellativi di alcune serie di cuscinetti volventi furono stabiliti già tanto tempo addietro e poi inclusi invariati nel sistema di denominazione oggi valido che perciò presenta alcune irregolarità. Per alcuni tipi di costruzione di cuscinetti volventi sono stati stabiliti sistemi di denominazione particolari. Negli snodi sferici la serie di snodi viene contrassegnata mediante lettere. A queste viene aggiunto il numero indicativo del foro che corrisponde al diametro del

foro in mm. Altri simboli indicano l'esecuzione dello snodo.

## 7. Forma del contatto

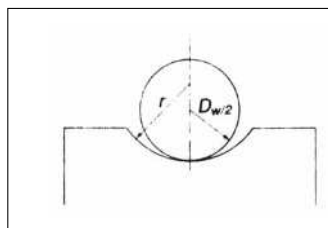
Nei cuscinetti volventi si distingue fra contatto puntiforme (ad esempio cuscinetti a sfere) e contatto lineare (ad esempio cuscinetti a rulli). Se i cuscinetti vengono sottoposti a carico si formano superfici di contatto che diventano più grandi con carico crescente.



## 8. Osculazione

Per osculazione  $S$  s'intende il rapporto tra raggio di curvatura del corpo volvente e raggio di curvatura della pista. Più stretta è l'osculazione più alta è la capacità di carico; ma l'osculazione troppo stretta può avere effetti negativi sulle caratteristiche di marcia (attrito, riscaldamento ecc.).

$$S = \frac{D_w/2}{r}$$



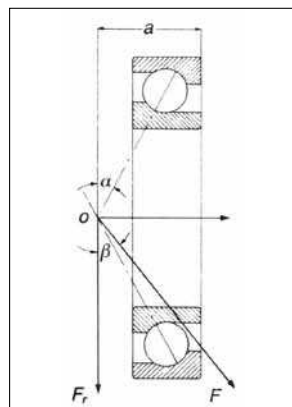
## 9. Angolo di contatto

L'angolo di contatto  $\alpha$  è l'angolo tra un piano perpendicolare all'asse del cuscinetto e la retta di azione dei carichi trasmessi dai corpi volventi agli anelli di cuscinetto. Le rette di azione si intersecano nel centro di pressioni  $O$ , nel quale agiscono le forze esterne. La distanza  $a$  è indicata nelle tabelle cuscinetti del catalogo generale SKF.

## 10. Angolo di carico

L'angolo di carico  $\beta$  è l'angolo che il carico esterno risultante  $F$  forma con il piano perpendicolare all'asse del cuscinetto.

$$\tan \beta = \frac{F_a}{F_r}$$



### 11. Attrito del cuscinetto

Per il calcolo approssimativo del momento di attrito di cuscinetti volventi il carico sul cuscinetto  $F$  viene moltiplicato per il coefficiente d'attrito  $\mu$  (vedi tabella) ed il raggio del foro (= braccio della leva):

$$M = \mu \cdot F \cdot \frac{d}{2} \text{ in } Nmm$$

Per il calcolo preciso e per condizioni di funzionamento anomale (ad esempio lubrificazione sfavorevole) vengono impiegate altre formule. Dati più dettagliati si possono desumere dal catalogo generale SKF.

Tipo di cuscinetto	$\mu$
Cuscinetto radiale rigido a sfere	0,0015
Cuscinetto radiale orientabile a sfere	0,0010
Cuscinetto obliquo a sfere:	
a una corona	0,0020
a due corone	0,0024
Cuscinetto a rulli cilindrici	0,0011
Cuscinetto a rullini	0,0025
Cuscinetto radiale orientabile a rulli	0,0018
Cuscinetto a rulli conici	0,0018
Cuscinetto assiale a sfere	0,0013
Cuscinetto assiale orientabile a rulli	0,0018

### 12. Lubrificazione

Il contatto metallico diretto delle parti di cuscinetto che scorrono o rotolano l'una contro l'altra provocherebbe un'usura troppo forte e di conseguenza un cedimento precoce del cuscinetto. Adottando lubrificanti e sistemi di lubrificazione adatti, l'attrito e l'usura vengono ridotte ed il cuscinetto è anche protetto dalla corrosione e dalle impurità esterne. Come lubrificanti per cuscinetti volventi vengono adottati principalmente grassi con saponi metallici ed olii minerali, in casi speciali anche lubrificanti solidi. La scelta del lubrificante viene determinata in particolare

dalla temperatura di esercizio e dal numero di giri del cuscinetto. La maggior parte dei cuscinetti volventi viene lubrificata con grasso. Esso offre particolari vantaggi per quanto riguarda la tenuta e la protezione contro impurità, acqua ed umidità. Occorre curare che al primo montaggio sia usata la quantità adatta di lubrificante (pieno riempimento del cuscinetto e dal 30% al 50% degli spazi liberi adiacenti). Un eccesso di grasso può provocare un forte aumento di temperatura. I cuscinetti che vengono lubrificati con olio possono funzionare con temperature di esercizio ed a numeri di giri più elevati.

### 13. Calcolo dei cuscinetti

**Coefficienti di carico.** Le dimensioni del cuscinetto adatto vengono calcolate in base ai coefficienti di carico. Il **coefficiente di carico dinamico**  $C$  è usato per i cuscinetti volventi che ruotano sotto carico. Esso rappresenta il carico sul cuscinetto a cui corrisponde una durata base di un milione di giri. Il **coefficiente di carico statico**  $C_0$  viene utilizzato quando si debbono calcolare cuscinetti destinati a ruotare a velocità molto basse, ad essere soggetti ad oscillazioni molto lente od a restare fermi per certi periodi sotto carico.

**Durata.** Per durata di un cuscinetto volvente s'intende il numero di giri (o quello di ore di funzionamento ad una certa velocità costante) che il cuscinetto può raggiungere prima che si verifichino fenomeni di fatica (erosioni) su uno degli anelli o sui corpi volventi.

Risulta però chiaro, sia da prove di laboratorio, sia dall'impiego pratico che cuscinetti apparentemente identici per quanto riguarda il materiale, l'esecuzione e la dimensione e funzionanti nelle stesse condizioni hanno durate diverse. È perciò indispensabile, per il calcolo del dimensionamento del cuscinetto, dare una definizione chiara del termine "durata". Tutti i dati indicati dalla SKF sui coefficienti di carico dina-

mico sono basati sulla durata che si prevede possa venir raggiunta o superata dal 90% dei cuscinetti di una campionatura sufficientemente grande costituita da unità apparentemente tutte uguali. Tale grandezza è detta "durata di base" (o durata teorica) ed è conforme alla definizione ISO. La maggior parte dei cuscinetti SKF raggiunge una durata molto maggiore di quella sopra indicata: la durata della metà di loro è circa cinque volte quella di base risultante dal calcolo.

La durata di un cuscinetto volvente rotante in funzione della capacità di carico dinamico è espressa dalla formula

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad \text{oppure}$$

$$L_{10h} = \frac{1\,000\,000}{60 \cdot n} \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$L_{10}$  = durata di base in  $10^6$  giri

$L_{10h}$  = durata di base in ore di funzionamento

$C$  = coefficiente di carico dinamico in N

$P$  = carico dinamico equivalente in N  
(vedere paragrafo relativo)

$p$  = esponente della formula della durata:  
per cuscinetti a sfere  $p = 3$ ;  
per cuscinetti a rulli  $p = 10/3$ .

Per la durata corretta ved. catalogo generale SKF.

**La nuova teoria della durata.** La SKF ha recentemente introdotto la nuova teoria della durata, che introduce il concetto di un carico al di sotto del quale, in condizioni ideali, non si verifica l'affaticamento. La teoria tiene anche conto di molti fattori connessi con la lubrificazione e la presenza di contaminazione, ved. Catalogo generale.

**Capacità di carico statico.** Per capacità di carico statico s'intende il carico che può reggere un cuscinetto volvente destinato a ruotare a velocità molto basse o ad essere soggetto ad oscillazioni molto lente od a restare fermo per certi periodi sotto carico. Il carico ammissibile viene limitato dall'entità delle deformazioni permanenti nelle zone di contatto tra corpi volventi e piste. Con un carico sul cuscinetto volvente inferiore al coefficiente di carico statico  $C_0$  indicato nelle tabelle dei cuscinetti, le deformazioni sono così lievi da non avere alcuna influenza degna di nota sulle caratteristiche di marcia.

Il carico statico ammissibile con la sicurezza richiesta è dato da:

$$P_0 = \frac{C_0}{s_0}$$

$P_0$  = carico statico equivalente gravante sul cuscinetto, in N (vedere capoverso seguente);

$C_0$  = coefficiente di carico statico, in N;

$s_0$  = coefficiente di sicurezza relativo al carico statico.

**Carico equivalente.** I coefficienti di carico indicati per i cuscinetti volventi valgono con la premessa che il carico sia invariabile in grandezza e senso e agisca nei cuscinetti radiali solo in senso radiale e nei cuscinetti assiali solo in senso assiale e centrato. Soltanto in casi molto rari queste premesse vengono soddisfatte.

Quindi quando un cuscinetto viene caricato, ad esempio, contemporaneamente in senso radiale ed assiale occorre tenere conto del **carico equivalente sul cuscinetto**. Esso ha la stessa influenza sull'entità delle deformazioni permanenti come il carico reale.

**Durata utile degli snodi sferici.** A seconda se lo snodo sferico deve eseguire sotto carico movimenti di orientamento oppure soltanto piccoli

## Parte I - Scelta ed applicazione dei cuscinetti

movimenti di adattamento si parla nel primo caso di sollecitazione dinamica, nel secondo caso di sollecitazione statica. Per determinare la dimensione dello snodo sotto carico dinamico, la SKF ha fissato una formula empirica per il calcolo della durata utile approssimativa. Essa indica il numero di movimenti di orientamento dopo i quali il giuoco radiale aumenta di un determinato valore. Per la sollecitazione statica si utilizza il coefficiente di carico statico  $C_0$  che negli snodi sferici risulta dalla pressione ammissibile e dalla superficie proiettata degli snodi. Dati più precisi relativi al capitolo "calcolo dei cuscinetti" possono essere tratti dal Catalogo generale SKF.

## Parte II

### Unità SI raccomandate

### Simboli di grandezze ed unità fisiche

### Conversione delle unità (tabelle)

### Unità anglosassoni

Quasi tutti i paesi del mondo adotteranno nel campo della tecnica e della fisica il "Sistema Internazionale di Unità" (sistema MKSAKC) con le sue unità SI. Vi è stata cioè un'intesa sul piano internazionale per un sistema concordato e cioè lo SI (= Systeme International).

Il sistema Internazionale di unità (SI), già pubblicato come norma sperimentale CNRUNI con tabelle edite nel 1965 e nel 1972, è diventato Norma Raccomandata con la tabella CNR-UNI1003-74 dell'aprile 1974 per adeguamento alla norma ISO 1000-1973 ed alle direttive CEE.

# 1. Grandezze ed unità fisiche

## 1.1 Grandezze ed equazioni

Per poter descrivere fenomeni e stati fisici nella fisica e nella tecnica si fa uso di **grandezze fisiche ed equazioni** che connettono tra di loro le singole grandezze fisiche. Una grandezza fisica (per brevità indicata come "grandezza") viene misurata confrontandola con una grandezza già conosciuta che ha la stessa dimensione della grandezza da misurare. Le **misurazioni** diventano poi particolarmente semplici quando come grandezza comparativa viene impiegata l'unità della grandezza fisica da misurare. Il **valore numerico** (misura) della grandezza da misurare risulta poi come rapporto della grandezza da misurare rispetto a quella conosciuta. La grandezza fisica può essere rappresentata in modo esatto soltanto mediante **due dati**; un dato qualitativo ed un dato quantitativo:

- a) Il **dato qualitativo** dà chiarimenti sul tipo della grandezza, sulla sua **dimensione**, e sulla sua **unità** di misura.
- b) Il **dato quantitativo** contrassegna il **valore numerico** (misura) od il numero delle unità.

Se con  $\{G\}$  viene indicato il valore numerico di una qualsiasi grandezza  $G$  e con  $[G]$  l'unità della grandezza, questa può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$G = \{G\} \cdot [G]$$

L'unità  $[G]$  di una grandezza fisica  $G$  è quindi una grandezza fisica con il valore numerico 1.

La correlazione di **diverse grandezze** per la descrizione di un **fenomeno fisico** o **tecnico** viene indicata come **equazione - equazione base tra grandezze**.

I **compiti principali** dell'equazione base tra grandezze sono:

- a) Rappresentazione di un fenomeno fisico o tecnico in modo fisicamente sensato.

- b) Rappresentazione di un fenomeno fisico indipendentemente dalla scelta del sistema di unità impiegato.

## 1.2 Le grandezze di base o primarie

- a) Venivano precedentemente indicate come grandezze fondamentali o tipi di grandezze fondamentali.
- b) Sono grandezze indipendenti l'una dall'altra che vengono scelte e concordate in un certo numero (nella cinematica, per esempio, la lunghezza ed il tempo, quindi grado  $g = 2$ ).
- c) Formano la base di un **sistema di grandezze**. Tutte le altre grandezze vengono derivate da queste.

## 1.3 Il sistema delle unità

- a) Contiene esclusivamente le **unità di base** e le unità da queste derivate, rappresentate mediante prodotti esponenziali (od eventualmente da un fattore numerico), ad esempio  $\text{kg}$  non  $\text{g}$ ,  $\text{m}$  non  $\text{cm}$ ,  $\text{m}^2$  non  $\text{cm}^2$ .
- b) Di **grado  $g$**  è fondato su un numero  $g$  di **unità di base** indipendenti l'una dall'altra ed appartenenti ad un sistema di grandezze dello stesso grado.

## 1.4 Il sistema di grandezze

- a) Di **grado  $g$**  (è il numero di grandezze di base): richiede sempre sistemi di unità dello stesso grado.

**Esempio:** per il sistema di grandezze con le grandezze di base lunghezza, tempo e massa le unità base  $1 \text{ m}$ ,  $1 \text{ s}$ ,  $1 \text{ kg}$  formano un sistema di unità coerente.

Poiché si ha

forza = massa · lunghezza/tempo<sup>2</sup>, risulta la seguente equazione base con il fattore numerico 1 per l'unità di forza  $\text{N}$  (Newton):  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}/1 \text{ s}^2$ .

Sarebbe stato possibile scegliere come unità-base le tre unità  $1 \text{ m}$ ,  $1 \text{ s}$ ,  $1 \text{ N}$  oppure  $1 \text{ m}$ ,  $1 \text{ s}$ ,  $1 \text{ J}$  ( $\text{J} = \text{Joule}$ ), dove si ha  $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}^2/1 \text{ s}^2$ .

- b) Viene formato da **n grandezze** di differente tipo che compaiono in **m equazioni tra grandezze** indipendenti l'una dall'altra per la determinazione delle correlazioni quantitative (nelle scienze e nella tecnica).  $g = n - m$ .
- c) Può avere grado differente a seconda del numero  $g$  di grandezze base scelto. Usuale ad esempio è un sistema di grandezza di grado  $g = 1$  nella geometria, grado  $g = 2$  nella cinematica, grado  $g = 3$  nella meccanica (anche  $g = 4$ ), grado  $g = 4$  nell'elettrodinamica e nella termodinamica (anche  $g = 5$ ).

### 1.5 Riepilogo

1. Per la rappresentazione di correlazioni fisiche nelle scienze naturali e nella tecnica vengono impiegate **grandezze ed equazioni base tra grandezze** poiché queste sono indipendenti dalle unità impiegate per l'indicazione delle grandezze. D'altra parte nelle **equazioni a valori numerici** è necessario indicare sempre in modo preciso le unità impiegate.
2. Le **grandezze fisiche** sono **proprietà misurabili** di oggetti, fenomeni o stati fisici, ad esempio lunghezza, tempo, massa, velocità, energia, temperatura, intensità di campo. Esse possono essere ricavate come "grandezza di misura" o come "quantità numerica".
3. L'**unità di misura** è una grandezza scelta e stabilita tra la quantità di grandezze analoghe.
4. Il **valore numerico** di una grandezza è il rapporto della grandezza rispetto all'unità di misura prescelta; quindi esso è il numero con il quale si deve moltiplicare l'unità per ottenere la grandezza:  
**grandezza = valore numerico x unità**

Attenzione: se si sceglie un'unità  $n$ -volte più grande, il valore numerico si riduce alla  $n$ -esima parte, ad esempio:

$$I = 2000 \text{ A} = 2 \text{ kA}, l = 3200 \text{ m} = 3,2 \text{ km}$$

Inoltre il prodotto del valore numerico per l'unità rimane **costante**: la grandezza è **invariabile** cambiando l'unità.

5. I **simboli** delle grandezze vengono indicati con caratteri **corsivi** ed i **simboli** delle unità in caratteri **tondo** (diritto normale). In base alle recenti norme gli **esponenti** dovrebbero essere stampati in caratteri normali.

## 2. Unità SI ed altri sistemi (concetto/significato)

Ogni grandezza fisica è composta dal prodotto dei fattori valore numerico moltiplicato per unità scelta. Le unità fisiche non possono essere né addizionate né sottratte, ma soltanto moltiplicate (elevate a potenza) o divise (o sottoposte ad estrazione di radice).

Le unità di questo tipo vengono indicate come unità derivate; ad esempio  $m \cdot m \cdot m = m^3$  (metro cubo, un volume) oppure

$$\frac{\text{km}}{\text{h}} = \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$$

(chilometro per ora, una velocità).

Tutte le unità fisiche possono essere fatte risalire alle 7 unità primarie o di base dello SI. Si significa "Système International d'Unités" (sistema internazionale delle unità) che nel 1954 è stato concordato in sede internazionale e che è stato adottato dalla ISO, la "International Standardizing Organisation", nella raccomandazione R 31 del novembre 1956.

SI rappresenta un sistema fisico ampliato. In esso sono contenute tutte le unità fondamentali dei sistemi MKS, MKSA (= sistema Giorgi dell'e-

## Parte II - Unità SI raccomandate

lettrotecnica) e MKSAK (M= metro, K =chilo-grammo, S =secondo, A= ampère e K =grado Kelvin). Si scostano invece il centimetro = 0,01 m e il grammo = 0,001 kg usati nel sistema CGS. Nel sistema tecnico non esiste il concetto "massa". Esso è sostituito da un'unità derivata, quella forza con la quale la massa terrestre attira la massa 1 kg sul luogo convenzionale (livello medio del mare a 45° di latitudine). Questa forza viene indicata come peso e la relativa unità è il Newton (N). Il peso è una unità che è riferita alle condizioni del luogo. Il valore numerico dipende infatti dalla distanza dal centro di gravità terrestre, cosicché la massa costante 1 kg ha in diversi punti della superficie terrestre un peso diverso che nei casi più sfavorevoli differisce dello 0,6%! Sulla luna questa massa peserebbe soltanto 1/6, cioè circa 1,638 N (Newton).

Questa forza di attrazione delle masse  $F$  (Forza) viene calcolata in base alla legge di Newton della gravitazione

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

La costante di gravitazione  $\gamma$  e la massa  $m_1 = 1$  kg rimangono costanti. Per  $m_2$  la massa lunare è 1/81 della massa terrestre, mentre il raggio della luna è soltanto 0,272 del raggio terrestre:

$$F = 10 \text{ N} \cdot \frac{1}{81 \cdot 0,272^2} \approx \frac{10 \text{ N}}{6}$$

Una tale "grandezza corretta" è determinata nella sua direzione da un angolo solido. Essa viene contrassegnata mediante una freccia sovrapposta e viene indicata come vettore. Esempi: percorso  $\vec{s}$ , velocità  $\vec{v}$ , velocità angolare  $\vec{\omega}$ , forza  $\vec{F}$ , ecc.

### Osservazioni:

a) Il concetto fondamentale dello SI (sistema internazionale delle unità) si basa sulla **coerenza** tra le sue unità, cioè che con l'impiego di unità SI le **conversioni** fra differenti unità non debbano avvenire mai con fattori numerici differenti da "1", ad esempio

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Pa(Pascal)} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$

b) Le **unità derivate** devono avere origine sempre come rapporto fra unità di base coerenti.

### 3. Le sette unità di base SI e le loro definizioni

1. Il <b>metro</b> (m) [lunghezza $l, s, d, r$ ]	Il metro è la lunghezza del tragitto percorso dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di durata pari a $1/299792458$ di secondo.
2. Il <b>secondo</b> (s) [tempo $t$ ]	Il secondo è $9192631770$ volte il periodo della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.
3. Il <b>chilogrammo</b> (kg) [massa $m$ ]	Il chilogrammo è l'unità della <b>massa</b> ; esso è uguale alla massa del chilogrammo prototipo internazionale.
4. Il <b>Kelvin</b> (K) [temperatura $T$ ]	Il Kelvin è la $273,16$ -esima parte della temperatura termodinamica del <b>punto triplo</b> dell'acqua pura ( $T_{tr} = 273,16$ K).
5. La <b>candela</b> (cd) [intensità luminosa $J$ ]	La candela è l'intensità luminosa di una superficie di area $1/600000$ m <sup>2</sup> del corpo nero alla temperatura di solidificazione del platino sotto la pressione di $101\,325$ kg/m s <sup>2</sup> , emessa nella direzione perpendicolare alla superficie stessa.
6. L' <b>ampere</b> (A) [intensità di corrente elettrica]	L'ampere è l'intensità di una corrente elettrica costante che circolando in due conduttori infinitamente lunghi, rettilinei, disposti parallelamente nel vuoto ad una distanza di $1$ m l'uno dall'altro, di sezione trasversale circolare trascurabile produce, tra questi conduttori, la forza di $0,2 \cdot 10^{-6}$ N su ogni metro di lunghezza.
7. La <b>grammomolecola</b> (mole) [quantità di sostanza $n$ ]	1 grammomolecola è la quantità di sostanza di un sistema di una determinata composizione che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi contenuti in $12 \cdot 10^{-3}$ kg di carbonio 12. Il termine <b>quantità di materia</b> veniva utilizzato precedentemente con altra denominazione per la massa. L'unità della quantità di materia, la grammomolecola, era così un'unità di massa individuale che a seconda del tipo di materia assumeva entità diverse (ad esempio per ossigeno O <sub>2</sub> : $1$ mole $\approx 32$ g).

### 4. Unità atomofisiche per massa ed energia

1. L'unità di massa atomica (u)	1 unità di massa atomica è la $12$ -esima parte della massa dell'atomo di carbonio 12 ( $1\text{ u} \approx 1,6603 \cdot 10^{-27}$ kg).
2. Il <b>voltelettrone</b> (eV)	1 voltelettrone è l'energia cinetica che un elettrone acquista nel vuoto durante il passaggio in un campo elettrico con differenza di potenziale di $1$ Volt. ( $1\text{ eV} \approx 1,6021 \cdot 10^{-19}$ J).

Le unità atomofisiche per massa ed energia vengono quindi determinate mediante definizioni proprie. Queste unità possono essere convertite in modo approssimativo in unità SI. I rapporti di conversione indicati corrispondono all'attuale stato della tecnica di misura.

## 5. Unità coerenti derivate dalle unità SI

“Le unità coerenti sono correlate in modo tale che durante la conversione da una unità all'altra il fattore numerico abbia sempre il valore 1”.

Grandezza fisica e simbolo per le formule	Simboli dell'unità	Unità derivate (SI). Definizioni
1. Superficie $A, S$	$m^2$	è la superficie di un quadrato avente lato di 1 m
2. Volume $V, \tau$	$m^3$	è il volume di un cubo avente spigolo di 1 m
3. Angolo piano $\alpha, \beta$ (angolo) $\gamma, \delta$	rad	1 <b>radiante</b> è l'angolo piano al centro di un cerchio avente un raggio di 1 m e che sottende un arco di lunghezza 1 m
4. Sterangolo $\Omega$ (angolo solido)	sr	1 <b>steradiano</b> è l'angolo solido al centro che su una sfera di 1 m di raggio intercetta una calotta avente superficie di $1 m^2$
5. Massa $m$	kg	1 grammo è uguale a 1/1 000 kg; 1 kg=1 000 g
6. Massa riferita alla lunghezza $m_1$ (massa lineica)	kg/m	è la massa riferita alla lunghezza di un corpo omogeneo che con sezione costante ha per ogni metro di lunghezza, la massa di 1 kg
7. Massa riferita alla superficie $m_1$	kg/m <sup>2</sup>	è la massa riferita alla superficie di un corpo omogeneo che con spessore costante ha per ogni m <sup>2</sup> di superficie, la massa di 1 kg
8. Densità $\rho$ (massa spec., massa volumica)	kg/m <sup>3</sup>	è la densità di un corpo omogeneo che con la massa di 1 kg occupa un volume di 1 m <sup>3</sup>
9. Tempo $t$ (intervallo)	min h d	1 minuto è uguale a 60 s (secondi) 1 ora è uguale a 3 600 s 1 giorno è uguale a 86 400 s
10. Frequenza $f, \nu$	Hz	1 Herz è la frequenza di un fenomeno periodico il cui periodo è di 1 s
11. Velocità $v (c)$	m/s	è la velocità di un corpo che si muove di moto uniforme e rettilineo e che durante un tempo di 1 s percorre la distanza di 1 m $v = s/t$
12. Accelerazione $a$	m/s <sup>2</sup>	è l'accelerazione di un corpo che si muove di moto rettilineo, la cui velocità varia in modo uniforme di 1 m/s durante un tempo di 1 s
13. Velocità angolare $\omega$	rad/s	1 <b>radiante</b> diviso secondo è la velocità (punto 11) angolare di un corpo ruotante con moto uniforme, attorno all'asse di rotazione e che compie un angolo di 1 rad in un tempo di 1 s
14. Accelerazione angolare $\alpha$	rad/s <sup>2</sup>	1 radiante diviso secondo al quadrato è l'accelerazione angolare di un corpo la cui velocità angolare varia in modo uniforme di 1 rad/s (punto 13) in un tempo di 1 s

Grandezza fisica e simbolo per le formule	Simboli dell'unità	Unità derivate (SI). Definizioni
15. Portata in volume $V, Q, q_v$	$m^3/s$	è la corrente o il flusso di un fluido omogeneo con il volume di $1 m^3$ che durante un tempo di $1 s$ fluisce in modo uniforme attraverso una sezione perpendicolare al flusso. $V = V/t$
16. Portata in massa $\dot{m}, q_m$	$kg/s$	è la corrente o il flusso di massa di un fluido omogeneo con la massa di $1 kg$ che durante un tempo di $1 s$ fluisce in modo uniforme attraverso una sezione perpendicolare al flusso. $\dot{m} = m/t$
17. Forza $F$	N	$1$ Newton è la forza necessaria per imprimere ad un corpo della massa di $1 kg$ l'accelerazione di $1 m/s^2$ . $1 N = 1 kg \cdot m/s^2$
18. Pressione, $p$ tensione meccanica	Pa bar	$1$ Pascal è la pressione esercitata dalla forza di $1 N$ applicata perpendicolarmente ad una superficie con area di $1 m^2$ . $p = F/A$ ; $1 Pa = 1 N/m^2$ $1 bar = 100\ 000$ Pascal (Pa) = $0,1$ MPa
19. Viscosità dinamica $\eta$	$Pa \cdot s$	$1$ Pascal secondo è la viscosità dinamica di un fluido omogeneo che scorre di moto laminare, nel quale tra due strati piani paralleli ad una distanza di $1 m$ sussiste con una differenza di velocità di $1 m/s$ la tensione tangenziale di $1 Pa$ .
20. Viscosità cinematica $\nu$	$m^2/s$	è la viscosità cinematica di un fluido omogeneo avente una viscosità dinamica di $1 Pa \cdot s$ ed una densità di $1 \cdot kg/m^3$ . $\nu = \eta/\rho$
21. Lavoro $W, A$ Energia $W, E$ Quantità di calore $Q$	J	$1$ joule è il lavoro sviluppato dalla forza di $1 N$ quando il suo punto di applicazione viene spostato di $1 m$ nel senso della forza stessa. $1 J = 1 Nm = 1 Ws$
22. Potenza $P$ Corrente d'energia $\dot{E}$ , Corrente di calore $\Phi$	W	$1$ watt è la potenza di un sistema che produce il lavoro di $1 J$ in $1 s$ . $P = W/t$ ; $1 W = 1 J/s$
23. Tensione elettrica $U$ Differenza di potenziale elettrico Forza elettromotrice	V	$1$ Volt è la tensione elettrica o la differenza di potenziale elettrico tra due punti di un conduttore metallico, filiforme, omogeneo e trattato termicamente in modo uniforme, percorso da una corrente elettrica dell'intensità di $1 A$ costante nel tempo quando tra i due punti viene dissipata la potenza $1 W$ . $1 V = 1 W/A$ ; $U = P/I$
24. Resistenza elettrica $R$	$\Omega$	$1$ Ohm è la resistenza elettrica tra due punti di un conduttore metallico, filiforme, omogeneo e trattato termicamente in modo uniforme, attraverso il quale, con una tensione elettrica di $1 V$ , passa una corrente elettrica costante con un'intensità di $1 A$ . $1 \Omega = V/A$ ; $R = U/I$

## Parte II - Unità SI raccomandate

Grandezza fisica e simbolo per le formule	Simboli dell'unità	Unità derivate (SI). Definizioni
25. Conduttanza elettrica $G$	S	1 Siemens è la conduttanza elettrica di un conduttore della resistenza elettrica $1 \Omega$
26. Quantità di elettricità $Q$ , carica elettrica	C	1 Coulomb è la quantità d'elettricità che passa attraverso la sezione di un conduttore durante un tempo di 1 s, con una corrente elettrica costante dell'intensità di 1 A. $1 C = 1 As$ .
27. Capacità elettrica C	F	1 Farad è la capacità elettrica di un condensatore che con la quantità d'elettricità 1 C viene caricato ad una tensione elettrica di 1 V. $1 F = 1 C/V$
28. Densità di flusso elettrica, $\psi$ spostamento	C/m <sup>2</sup>	1 Coulomb/m <sup>2</sup> è la densità di flusso elettrico o di spostamento in un condensatore a piastre le cui due piastre estese in modo infinito, disposte nel vuoto parallele l'una all'altra, verrebbero caricate in modo uniforme, per la superficie di 1 m <sup>2</sup> , con una quantità d'elettricità 1 C. $\psi = Q/A$
29. Intensità di campo elettrico E	V/m	1 Volt/m è l'intensità di campo elettrico di un campo elettrico omogeneo, nel quale la differenza di potenziale tra due punti ad una distanza di 1 m nel senso del campo ammonta a 1 V
30. Flusso magnetico $\phi$	Wb	1 Weber è il flusso magnetico che annullandosi con decremento lineare nel periodo di 1 s, induce in una spira che lo avvolge la tensione elettrica 1 V. $1 Wb = 1 V \cdot s$
31. Densità di flusso magnetico $B$ Induzione magnetica	T	1 Tesla è la densità superficiale di un flusso magnetico omogeneo di 1 Wb, che attraversa perpendicolarmente una superficie di 1 m <sup>2</sup>
32. Induttanza $L$	H	1 Henry è l'induttanza di un circuito chiuso che, percorso da una corrente avente un'intensità di 1 A, avvolge nel vuoto il flusso magnetico di 1 Wb. $1 H = 1 V \cdot s/A$
33. Intensità di campo magnetico $H$	A/m	1 Ampere/m è l'intensità di campo magnetico che una corrente elettrica dell'intensità di 1 A passante attraverso un conduttore rettilineo, di lunghezza infinita ed avente una sezione circolare, provocherebbe nel vuoto, al di fuori del conduttore, sul bordo di una superficie circolare concentrica rispetto alla sezione del conduttore e con un perimetro di 1 m

Grandezza fisica e simbolo per le formule	Simboli dell'unità	Unità derivate (SI). Definizioni
34. Temperatura $T$ $t$	K °C	Kelvin (vedi unità di base punto 4). Grado Celsius è un'unità di una scala. Per definizione i gradi Celsius individuano una scala termometrica a partire dai punti di congelamento e di ebollizione dell'acqua
35. Luminanza $L_v$	cd/m <sup>2</sup>	1 candela/m <sup>2</sup> è la 600.000esima parte della luminanza di un corpo nero alla temperatura del platino solidificante sotto la pressione di 101.325 Pa
36. Flusso luminoso $\Phi_v$	lm	1 lumen è il flusso luminoso che una sorgente luminosa puntiforme di intensità luminosa di 1 cd emette in modo uniforme, verso tutte le direzioni, nell'angolo solido 1 sr (steradiane)
37. Illuminamento $E_v$	lx	1 lux è l'illuminamento di una superficie di 1 m <sup>2</sup> sulla quale si ripartisce in modo uniforme un flusso luminoso di 1 lm
38. Attività d'una sorgente radioattiva	s <sup>-1</sup> (1/s)	1 secondo reciproco è l'attività di una quantità di un nuclide radioattivo nella quale il quoziente dal valore statistico previsto per il numero delle trasformazioni o transizioni isomeriche e per l'intervallo di tempo nel quale hanno luogo queste trasformazioni o transizioni, si dirige, con intervallo di tempo in diminuzione, verso il valore limite di 1/s
39. Dose assorbita Dose equivalente	J/kg	è l'energia o dose equivalente che ha origine durante la trasmissione dell'energia di -1 J sulla materia di massa di 1 kg mediante radiazione ionizzante di densità di flusso energetico spazialmente costante
40. Rateo dose assorbita, potenza dose assorbita, rateo dose equivalente, potenza rateo dose equivalente	W/kg	è la quota di dose assorbita durante la quale mediante una radiazione ionizzante di densità di flusso energetico invariabile nel tempo, ha origine, durante un tempo di 1 s, una dose assorbita di 1 J/kg
41. Dose ionica	C/kg	è la dose ionica che durante la generazione di ioni di una polarità con la carica elettrica di 1 C (Coulomb) in aria, della massa di 1 kg, ha origine mediante la radiazione ionizzante di densità di flusso energetico spazialmente costante
42. Rateo dose ionica, potenza rateo dose ionica	A/kg	è la quota di dose ionica nella quale mediante una radiazione ionizzante di densità di flusso energetico costante nel tempo, ha origine, durante un tempo di 1 s, la dose ionica 1 C/kg

## Parte II - Unità SI raccomandate

Grandezza fisica e simbolo per le formule	Simboli dell'unità	Unità derivate (SI). Definizioni
43. Massa molare, massa M riferita alla quantità di materia	Kg/mol	La massa molare è la massa di una mole di una sostanza, quindi la massa della quantità di particelle elementari che corrisponde alla costante di Avogadro ( $6,022 \times 10^{23}$ [1/mol])
44. Molarità, concentrazione molare	mol/m <sup>3</sup>	è un'unità di misura della concentrazione di una specie chimica in una soluzione, è definita come le moli di soluto presenti in un litro di soluzione

### Con campo d'impiego limitato

45. Potere diottrico di sistemi ottici	dpt	1 diottria (dpt) è il potere diottrico di un sistema ottico con una distanza focale di 1 m in un mezzo con indice di rifrazione 1
46. Superfici di terreni e campi	a ha	1 ara è uguale a 100 m <sup>2</sup> 1 ettaro è uguale a 100 a
47. Misure di pietre preziose	Kt	1 carato metrico (Kt) è uguale a 1/5000 kg = 0,0002 kg
48. Misure riferite alla lunghezza di fibre tessili	tex	1 tex è uguale a 10 <sup>-6</sup> kg/m (= 0,001 g/m = 1 g/km) L'unità di misura "denaro" (den) finora in uso non è più ammessa.

### a) Multipli decimali e parti di unità

- I multipli decimali e frazioni di unità possono essere contrassegnate con dei prefissi davanti al nome dell'unità. Prefissi e simboli sono a pag. 74.
- Per indicare un multiplo decimale oppure una frazione di un'unità secondo il punto 1, deve essere impiegato non più di un prefisso.
- Il prefisso deve essere posto prima del nome dell'unità, il simbolo del prefisso senza spazio intermedio prima del simbolo dell'unità. Gli esponenti devono riferirsi, nei simboli composti in questo modo, su tutto il simbolo.
- Se un'unità viene formata come prodotto o come quoziente da multipli decimali o frazioni di altre unità, queste possono, essere contrassegnate con i prefissi indicati al punto 1 ed i simboli di questi.

Sbagliato: mμ, mμm	Sbagliato: μμ, μμm
Giusto: nm	Giusto: pm
Chilometro quadrato	= km <sup>2</sup>
Centimetro cubo	= cm <sup>3</sup>

$$\frac{MN}{cm^2} \cdot \frac{kV}{mm}$$

## 6. Simboli ed unità del sistema internazionale di unità (SI)

(I simboli di formule corrispondono alle raccomandazioni ISO, le unità sono le unità raccomandate secondo SI) . Le unità SI già oggetto di norma sperimentale UNI sono diventate norma raccomandata dall'Aprile 1974 e contemplate nella tabella CNR-UNI 10003-74.

Grandezza	Simboli		Unità		Osservazioni
	Nuovo	Vecchio	Unità SI nuova	Unità precedente	
<b>Generalità</b>					
1. Lunghezza	<i>l</i>	<i>L</i>	m	Å (Ångstr.)	1 km = 1000 m 1 Å = 10 <sup>-10</sup> m
2. Lunghezza, reciproco (diottria)	<i>n</i>	<i>f</i>	dpt		1 dpt $\triangleq$ 1 m <sup>-1</sup> = 1/m 2 dpt $\triangleq$ 0,5 m distanza focale
3. Superficie	<i>A, S</i>	<i>F</i>	m <sup>2</sup> dam <sup>2</sup> a (Ar), ha	mq	1 m <sup>2</sup> = 100 dm <sup>2</sup> Decametro quadrato 1 a = 1/100 ha = 100 m <sup>2</sup>
4. Volume, spazio  Legname lungo, Legname compensato	<i>V, τ</i>	<i>R</i>	m <sup>3</sup>	mc  Fm, Rm	1 m <sup>3</sup> = 1000 dm <sup>3</sup> 1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 1/1000 m <sup>3</sup> 1 Fm = 1 m <sup>3</sup> = 1 Rm
5. Angolo, piano Angolo giro, (Vw) Angolo retto Grado (vecchio) Minuto (vecchio) Secondo (vecchio) Gon, Grado centesimale (nuovo) Minuto centesimale (nuovo) Secondo centesimale (nuovo)	$\alpha, \beta, \gamma$ $\Omega$		rad  ° (Retto) ° (Grado) ' (Min) '' (Sec) Gon		Radiante 1 Vw = 2π rad 1 <sup>l</sup> = π/2 rad 1° = π/180 rad 1' = π/10800 rad 1'' = π/648000 rad 1 grado centesimale = π/200 rad 1 minuto centesimale = π/20000 rad 1 secondo centesimale = π/2 · 10 <sup>6</sup> rad
6. Angolo solido Sterangolo	$\Omega$	$\omega$	sr	1◻° = (n/1) 1◻° 1◻ <sup>g</sup>	Steradiane 1◻° = (π/180) <sup>2</sup> sr 1◻ <sup>g</sup> = (π/200) <sup>2</sup> sr
<b>Meccanica</b>					
7. Massa ( <i>m</i> = ρ · <i>V</i> )  di pietre preziose	<i>m</i>		kg  Kt (carato)		1 g = 1/1000 kg 1 t = 1000 kg 1 t = 1 Mg (Megagrammo) 1 Kt = 1/5 g = 0,2 g
8. Massa, riferita alla lungh. di fibre/filati tessili	<i>m<sub>l</sub></i> <i>m<sub>i</sub></i>		kg/m tex (Tex)		1 g/m = 1/1000 kg/m 1 tex = 1 g/km = 10 <sup>-6</sup> kg/m
9. Massa, riferita alla superf.	<i>m<sub>f</sub></i>		kg/m <sup>2</sup>		1 g/cm <sup>2</sup> = 10 kg/m <sup>2</sup>
10. Densità (ρ = <i>V</i> /m) Massa, riferita al volume	$\rho$	<i>d</i>	kg/m <sup>3</sup>		1 kg/dm <sup>3</sup> = 1/1000 kg/m <sup>3</sup> ° Bé (grado Baumé non è ammesso)

## Parte II - Unità SI raccomandate

Grandezza	Simboli		Unità		Osservazioni
	Nuovo	Vecchio	Unità SI nuova	Unità precedente	
11. Tempo, intervallo (durata) Minuto Ora Giorno (Anno) Costante di tempo	$t$     $\tau$	$\tau, z$     $T$	s min h d (a) (s)		Secondo; 1 s = 1/60 min 1 min = 60s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86 400 s (1 a = 365 d; non legale)
12. Frequenza Numero di giri	$f, \nu$ $n$	$p$	Hz 1/s, 1/min	g/s, g/min	1 Hz (Hertz) = 1/s Giri al s od al min
13. Velocità	$v, c$	$u, w$	m/s		1 m/min = 1/60 m/s 1 km/h = 1/3,6 m/s
14. Accelerazione Accelerazione di gravità	$a$ $g$	$b$ $g$	m/s <sup>2</sup> m/s <sup>2</sup>	Gal	1 Gal = 0,01 m/s <sup>2</sup>
15. Velocità angolare	$\omega$	$\Omega$	rad/s		Radiante/secondo
16. Accelerazione angolare	$\alpha$		rad/s <sup>2</sup>		Radiante/secondo quadrato
17. Portata (volume) Flusso (volume)	$\dot{V}, Q, q_v$		m <sup>3</sup> /s	(l/min) (Ltr/mn)	1 m <sup>3</sup> /s = 1000 dm <sup>3</sup> /s = 1000 Ltr/s
18. Portata (massa) Flusso (massa)	$\dot{m}, q_m$		kg/s		1 kg/s = 60 kg/min
19. Forza Forza peso	$F$ $G$	$P, K$	N (Newton)	dyn (dina) kgf (kg forza) kp (kg peso)	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N 1 kgf = 1 kp = 9,80665 N 1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> = 0, 1 02 kgf
20. Pressione Tensione meccanica Sollecitazione di compressione/trazione  (ata, atu e atü non sono più ammesse)	$p$  $\sigma$		Pa (Pascal) = N/m <sup>2</sup> bar (Bar)	kp/cm <sup>2</sup> at atm  Torr m H <sub>2</sub> O mm Hg	1 at = 98 066,5 Pa = = 0,980685 bar 1 atm = 101325 Pa = = 1,01325 bar 1 bar = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> = = 0,1 MPa  1 Torr = 1/760 atm = = 101 325/760 = 133,322 Pa 1 m H <sub>2</sub> O = 9806,65 Pa 1 mm Hg = 133,322 Pa
21. Viscosità dinamica, viscosità	$\eta$		Pa · s (Ns/m <sup>2</sup> )	P (Poise)	1 P = 0, 1 Pa · s = 0,1 Ns/m <sup>2</sup> 1 Pa · s = 1 Ns/m <sup>2</sup>
22. Viscosità cinematica	$\nu$		m <sup>2</sup> /s	St (Stokes)	1 St = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s = 10 <sup>-4</sup> Pa · s · kg/m <sup>3</sup>
23. Energia Lavoro  Energia termica Quantità di calore  Energia elettrica	$W, E$ $W$  $Q$  $W$	$A$  $W$	J (Joule) = Ws	erg (Erg) kgfm cal (Caloria)	1 J = 1 Ws = 1 Nm 1 erg = 10 <sup>-7</sup> J 1 kgfm = 9,80665 Nm = 10 Nm 1 cal = 4,1868 J = 4,19 J 1 kcal = 4,19 kJ = 427 kgfm = 1,16 Wh  1 kWh = 3600 kJ = 1,36 PSh = 367000 kgfm = 860 kcal 1 PSh = 2650 kJ = = 0,736 kWh = 632 kcal

Grandezza	Simboli		Unità		Osservazioni
	Nuovo	Vecchio	Unità SI nuova	Unità precedente	
24. Potenza Energia	$P$ $\dot{E}$	$N$	W(Watt) = J/s	$W_{int}$ PS, HP, CV	$1 W_{int} = 1,00034/1,00049 W$ $1 PS = 735,49875 W \approx 736 W$ $\approx 736 Nm/s$
Potenza elettrica	$P$	$N$	$W$		$1 kW = 1000 Nm/s = 1000 W$ $\approx 1,36 PS, HP = 1 kJ/s$
Corrente di calore Potenza elettrica apparente Potenza elettrica reattiva	$\Phi$ $P_s$ $P_b$	$N_s$ $N_b$	$W = VA$ $W = var$		$1 kgfm/s \approx 0,01 kW \approx 10 N mis$ Voltampere Var
<b>Elettrotecnica</b>					
25. Tensione elettrica Differenza di potenziale elettrica	$U$		V(Volt)	$V_{abs}$ $V_{int}$	$1 V = 1 W/A = 1 \Omega \cdot A$ $V_{int} = 1,00034 V$
26. Resistenza elettrica, Resistenza ohmica	$R$		$\Omega$ (Ohm)	$\Omega_{abs}$ $\Omega_{int}$	$1 \Omega = 1 V/A$ $1 \Omega_{int} = 1,00049 \Omega$
27. Intensità corrente elettrica	$I$		A (Ampere)	$A_{abs}$ $A_{int}$	$1 A = 1 WN = 1 V/\Omega$ $A_{int} = 1,00034/1,00049 A$
28. Conduttanza elettrica	$G$		S (Siemens)	$1/\Omega$	$1 G = 1/R; S = 1/\Omega$
29. Q.tà d'energia elettrica Carica elettrica	$Q$	$q$	C (Coulomb)	(As)	$Q = I \cdot t$
30. Capacità elettrica	$C$		F (Farad)	$F_{abs}$ $F_{int}$	$C = Q/U; 1 F = 1 CN$ $1 F_{int} = 1/1,00049 F$
31. Densità di flusso elettr. Spostamento	$D$	$\psi$	C/m <sup>2</sup>		Coulomb al m <sup>2</sup> $D = Q/A$
32. Intensità di campo elettr.	$E$		V/m	(N/C)	$E = U/l$
33. Flusso magnetico	$\phi$		Wb (Weber)	M (Maxwell)	$\phi = B \cdot A; 1 Wb = 1 T \cdot m^2$ $1 M = 10^{-8} Wb$
34. Densità di flusso magnetico Induzione magnetica	$B$		T (Tesla)	G (Gauß)	$B = \phi/A; 1 T = 1 Wb/m^2$ $1 G = 10^{-4} T$
35. Induttanza	$L$		H (Henry)	$H_{abs}$ $H_{int}$	$1 H = 1 Vs/A$ $1 H_{int} = 1,00049 H$
36. Intensità di campo magnetico	$H$		A/m	Oe (Oersted)	$1 A/m = 1 N/Wb$ $H = I \cdot w/l; 1 Oe = (10^3/4\pi) A/m$
37. Temperatura  Differenza e intervallo di temperatura	$T$ $t$ $\Delta t, \Delta T$		K (Kelvin) °C (Celsius) K (Kelvin)	°K  grad (Grad)	$1 K = T_{tr}/273,16$

## Parte II - Unità SI raccomandate

Grandezza	Simboli		Unità		Osservazioni
	Nuovo	Vecchio	Unità SI nuova	Unità precedente	
<b>Ottica</b>					
38. Luminanza	$L_v$	$B, L$	$\text{cd/m}^2$ (Candela/m <sup>2</sup> )	sb (Stilb)	1 sb = 1 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup> 1 asb = 0,3183 cd/m <sup>2</sup> 1 cd/m <sup>2</sup> = 3,1415 asb
39. Flusso luminoso	$\Phi_r$	$\Phi, F$	lm (lumen)		1 lm = 1 cd · sr
40. Illuminamento	$E_v$		lx (lux)		Phot (ph) non ammissibile
41. Potere diottrico (sistemi ottici)	$n$	$\mu$	dpt Diottria		1 dpt = 1 m <sup>-1</sup> $\triangleq$ 1 m distanza foc.; 0,5 dpt $\triangleq$ 2m, 2 dpt $\triangleq$ 0,5 m
<b>Tecnica nucleare</b>					
42. Attività di una sostanza radioattiva			1/s	Ci (Curie)	1 Ci = 37 · 10 <sup>9</sup> s <sup>-1</sup> = 37 ns <sup>-1</sup>
43. Dose assorbita Dose equivalente			J/kg	rd (Rad) rem (Rem)	1 rd = 1 cJ/kg = 0,01 J/kg 1 rem = 1 cJ/kg = 0,01 J/kg 1 J/kg = 1 Ws/kg
44. Rateo dose assorbita, Potenza dose assorbita, Rateo dose equivalente			W/kg		1 W/kg = 1 J/s kg
45. Dose ionica			C/kg	R (Rontgen)	1 R = 258 $\mu$ C/kg 1 C/kg = 10 <sup>6</sup> $\mu$ C/kg (Coulomb/kg)
46. Rateo dose ionica Potenza dose ionica			A/kg		Ampere/kg
47. Massa molare, massa riferita alla quantità di materia	$M$		kg/mol		
48. Molarità, concentrazione di quantità di materia			mol/m <sup>3</sup>		
49. Sezione d'urto efficace di particelle			m <sup>2</sup>	b (Barn)	1 b = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

## 7. Unità usate finora e non più ammesse

	Tipo di grandezza	Simboli	
		Vecchio	Attuale
Ångström Atmosfera fisica Atmosfera tecnica	Lunghezza Pressione Pressione	Å atm a t	m Pa, (bar) Pa, (bar)
Barn	Sezione d'urto efficace	b	m <sup>2</sup>
Caloria Chilogrammo-forza Chilogrammo-forza diviso centimetro quadrato Chilogrammo-forza diviso millimetro quadrato Chilogrammo-forza-metro	Quantità di calore Forza Pressione Tensione meccanica Lavoro Momento torcente	cal kgf, kp kgf/cm <sup>2</sup> kgf/mm <sup>2</sup> kgfm kgfm	J N Pa, (bar) Pa J Nm
Chilogrammo-forza secondo quadrato diviso metro Colonna d'acqua metrica Colonna di mercurio millimetrica Curie	Massa Pressione Pressione Attività (di sorgente radioattiva)	kgfs <sup>2</sup> /m mH <sub>2</sub> O mmHg Ci	kg Pa, (bar) Pa, (bar) s <sup>-1</sup>
Dina	Forza	dina	N
Erg	Lavoro, energia	erg	J
Gal Grammo-forza Grammo-forza secondo quadrato diviso metro	Accelerazione di gravità Forza Massa	Gal p, g ps <sup>2</sup> /m, gs <sup>2</sup> /m	m/s <sup>2</sup> N kg
Mega-grammo-forza Metro cubo pieno (senza vuoti) Minuto centesimale, secondo centesimale	Forza Volume, legname Angolo piano	Mp, Mgf Fm c, cc	N m <sup>3</sup> gon
Poise Potenza in cavalli Punto tipografico (1 p = 0,375939 mm)	Viscosità dinamica Potenza Lunghezza	P CV, HP, PS p	Pa · s W m
Rad Rem Röntgen	Dose d'energia Dose equivalente Dose ionica	rd rem R	J/kg J/kg C/kg
Stero Stokes	Volume, legname accatastato Viscosità cinematica	Rm St	m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /s
Torr	Pressione	Torr	Pa, (bar)

# 1. Simboli ed unità dell'elettrotecnica (secondo SI)

Grandezza	Simbolo	Unità SI		Formule ( $q = A$ area della sezione)
		Nome	Abbreviazione	
Tensione	$U$	Volt	V	$U = I \cdot R$
Intensità di corrente	$I$	Ampere	A	$I = U/R$
Resistenza	$R$	Ohm	$\Omega$	$R = U/I$
Conduttanza elettrica	$G$	Siemens	S, $1/\Omega$	$G = 1/R$
Resistenza elettrica specifica	$\rho$	Ohm m	$\Omega\text{m}$ ; Vm/A	$\rho = 1/\sigma$
Conduttività elettrica	$\sigma, k, \gamma$	Siemens/m	S/m; A/Vm	$\sigma = 1/\rho$
Frequenza ( $c$ velocità della luce)	$f, \nu$	Hertz	Hz, (kHz)	$f = c/\lambda$
Lunghezza d'onda	$\lambda$	Metro	m, (cm)	$\lambda = c/f$
Carica elettrica	$Q$	Coulomb	C, (= As)	$Q = I \cdot t$
Capacità	$C$	Farad	F	$C = Q/U$
Induttanza	$L$	Henry	H; (= Vs/A)	
Potenza	$P$	Watt, Joule/s	W; (= VA = J/s)	$P = U \cdot I$
Lavoro	$W; A$	Joule	J; (= Ws)	$W = P \cdot t$
Forza (peso)	$F$	Joule/m	J/m; (= Ws/m)	$F = W/l$
Intensità di campo elettrico	$E$	Volt/m	V/m; (= N/C)	$E = U/l$
Costante dielettrica	$\epsilon$	Farad/m	F/m; (= C/Vm)	$\epsilon_0 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
Costante di campo elettri. Spostam.	$\epsilon_0$	Farad/m	F/m; (= C/Vm)	
Costante dielettrica relativa	$\epsilon_r$	-	-	$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$
Flusso di spostamento elettrico	$\psi$	Coulomb	C, (= As)	
Induzione dielettrica	$D$	Coulomb/m <sup>2</sup>	C/m <sup>2</sup>	$D = Q/q$
Densità di corrente elettrica	$J, S$	Ampere/m <sup>2</sup>	A/m <sup>2</sup>	$S = I/q$
Corrente elettrica	$\Theta$	Ampere	A; (= J/Wb)	$\Theta = H \cdot I$
Flusso magnetico	$\phi$	Weber (Maxwell)	Wb (= Vs); (M)	$\phi = B \cdot q$
Tensione magnetica	$V$	Ampere	A (= J/Wb)	$V = H \cdot s$
Intensità di campo magnetica	$H$	Amp./m (Oerstedt)	A/m (= N/Wb); (Ö)	$H = B/\mu = I \cdot W/l$
Induzione magnetica, densità di flusso	$B$	Tesla (Weber/m <sup>2</sup> )	T; (= Wb/m <sup>2</sup> ) (Vs/m <sup>2</sup> )	$B = \mu H$
Costante di campo magnetico	$\mu_0$	Henry/m	H/m (= Wb/Am) (= $\Omega\text{s/m}$ )	$\mu_0 = 4\pi/10^7 \text{ H/m}$
Permeabilità magnetica, permeabilità assoluta	$\mu$	Henry/m	H/m = Wb/Am	$\mu = B/H$
Indice di permeabilità	$\mu_t$	-	-	$\mu_t = \mu/\mu_0$
Polarizzazione magnetica	$J$	Tesla (Weber/m <sup>2</sup> )	T (= Wb/m <sup>2</sup> )	$J = B - \mu_0 H$
Intensità di magnetizzazione	$M$	Amp./m = N/Wb	A/m (= Vsm)	$M = J/\mu_0$
Conduttanza magnetica	$\Lambda$	Henry	H	$\Lambda = 1/R_m$
	$R$	1/Henry	1/H	$R_m = l/q \cdot \mu$
Suscettività dielettrica	$\chi_e$	-	-	$= 4\pi \chi'_e$
Suscettività magnetica	$\chi_m$	-	-	$= M/H = \mu_t - 1$
Momento magnetico coulombiano	$M_C$	Webermetro	Wbm (= Vsm) (= Nm/(N/Wb))	
Momento magnetico amperico	$M_A$	Amp · m <sup>2</sup>	Am <sup>2</sup> [= Nm/(Wb/m <sup>2</sup> )	
Intensità di campo	$H_C$	Amp/m	A/m (= Wb/m <sup>2</sup> )	
Densità di flusso, magnetizzazione residua	$B_r = J_r$	Tesla	Tv (= Wb/m <sup>2</sup> )	
Polarizzazione permanente	$J_p$	Tesla	T (= Wb/m <sup>2</sup> )	

# 1. Simboli ed unità della termodinamica (secondo SI)

Grandezza	Simbolo	Unità SI		Annotazioni
		Unità SI nuova	Unità precedente	
Massa	$m$	kg		
Quantità di materia	$n, (M)$	mol	Mol	
Densità (massa specifica)	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup> , g/cm <sup>3</sup>	$\rho = \gamma/g$ , quindi $\rho m/V$
Peso, forza	$F$	N	kgf, kp	$F = m \cdot g$
Peso specifico	$\gamma (= \rho \cdot g)$	N/m <sup>3</sup>	kgf/dm <sup>3</sup> , g/cm <sup>3</sup>	1 kgf/m <sup>3</sup> = 1.000 kgf/dm <sup>3</sup>
Volume, (p.e. vapore, liquido)	$V$	m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup> , cm <sup>3</sup>	1 dm <sup>3</sup> = 1 l (Litro)
Volume specifico	$v (= V/m)$	m <sup>3</sup> /kg	dm <sup>3</sup> /kg	event. velocità $w$
Massa molare	$M (= m/n)$	kg/mol	kg/Mol	
Volume molare	$V_m (= V/n)$	m <sup>3</sup> /mol	m <sup>3</sup> /Mol	anche dm <sup>3</sup> /mol
Pressione (forza specifica)	$p$	N/m <sup>2</sup> ; bar	kgf/cm <sup>2</sup> = at	1 at $\approx$ 0,98 bar $\approx$ 0,98 · 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup>
Temperatura, termodinamica	$T, \Theta$	K	°K	
Temperatura, critica	$T_k$	K	°K	T. di saturazione: $T_s$
Temperatura del punto fisso del ghiaccio	$t$	°C	°C	event. tempo, allora $z$
Differenza di temperatura	$\Delta t, \Delta T$	K	grd; °K	per grd anche deg
Costante gas, molare	$R, R_m$	J/mol K	kgfm/Mol grd	$R_m = M \cdot R_i$
Costante gas, spec. (materia $i$ )	$R_i$	J/kg K	kgfm/kg grd	
Lavoro (1 J = 1 Ws)	$W, A$	J (Joule)	kgfm, kcal	1 J = 1 Nm = 0,238 cal
Lavoro specifico	$w, (W_0, A_0)$	J/kg	kgfm/kg	
Energia	$E, W$	J	kcal	energia irradiata
Energia termica quantità di calore, calore	$Q$	J	kcal	p.e. cal. di reazione
Quantità di calore specifica	$q$	J/kg	kcal/kg	calore addotto
Equivalentente termico del lavoro	$E_0 = 1/427$		kcal/kgfm	$E_0$ più preciso 1/426,8
Energia specifica	$\Theta$	J/kg m <sup>3</sup> h	kcal/kg m <sup>3</sup> h	$R_i = c_p - c_v$
Quantità di calore latente	$L$	J	kcal	Indice: s sublimare; d evaporare; f fondere; u trasformazione
Capacità termica a pressione costante	$C_p$	J/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	
Calore specifico	$c (= C/m)$	J/kg K	kcal/kg grd	$c_m$ calore specifico medio
Calore specifico isobaro	$c_p$	J/kg K	kcal/kg grd	$k = C_p/C_v = c_p/c_v$
Calore specifico isocoro	$c_v$	J/kg K	kcal/kg grd	
Esponente isentropica (comportamento del calore specifico)	$k, (\gamma)$			gas ideali: $k = C_{mp}/C_{mv} = c_p/c_v$
Entropia	$S$	J/K	kcal/grd	
Entropia molare	$S_m (= S/n)$	J/mol K	kcal/Mol grd	
Entropia specifica	$s (= S/m)$	J/kg K	kcal/kg grd	
Entalpia (contenuto termico, calore totale)	$H, (I)$	J	kcal	$H = U + pV; H_m$ entalpia molare
Potere calorifico	$H$	J/kg; J/m <sup>3</sup>	kcal/kg, kcal/m <sup>3</sup>	1 kJ/kg $\approx$ 0,24 kcal/kg
Entalpia specifica (contenuto termico)	$h (= H/n)$	J/kg	kcal/kg	prima $i$ in luogo di $h$
Entalpia libera funzione di Gibbs	$G$	J	kcal	$G = H - TS; G_m$ entalpia libera molare (= $G/n$ )

## Parte II - Simboli di grandezze e unità fisiche

Grandezza	Simbolo	Unità SI		Annotazioni
		Unità SI nuova	Unità precedente	
Entalpia molare	$G_m (= G/n)$	J/mol	kcal/Mol	$F = U - TS$ ; $F_m (= F/n)$ entalpia libera molare
Entalpia libera specifica	$g (= G/m)$	J/kg	kcal/kg	
Energia libera, funzione di Helmholtz	$F$	J	kcal	
Energia libera molare	$F_m (= F/n)$	J/mol	kcal/Mol	prima anche kcal/s $\Phi = Q/t$ (t o z tempo) $w = \Phi/A$ (A Superficie) anche kJ/m h K quando $\lambda$ è indep. dalla temper.  $\alpha$ per lung., $\gamma$ per volume  $X = \gamma/p \cdot \beta$ $U_m (= U/n)$ in J/mol (energia interna molare)  isocore $C_{mv}$ , isobare $C_{mp}$
Energia libera specifica	$f (= u - Ts)$	J/kg	kcal/kg	
Rapporto di compressione	$\varepsilon$	–	–	
Quantità di calore latente specifico	$l$	J/kg	kcal/kg	
Potenza (1 W = J/s)	$P$	W, kW	kgfm/s (PS)	
Flusso, potenza calorifica	$\Phi, (W)$	W, kW, (kJ/s)	kcal/h	
Conducibilità termica	$w, (q)$	W/m <sup>2</sup>	kcal/m <sup>2</sup> h	
Conducibilità termica	$\lambda$	W/m K	kcal/mh grad	
Diffusività termica	$a = \lambda/\rho \cdot c_p$			
Coefficiente di convezione termica nat.	$\alpha$	W/m <sup>2</sup> K	kcal/m <sup>2</sup> h grad	
Coefficiente di trasmissione del calore	$k$	W/m <sup>2</sup> K	kcal/m <sup>2</sup> h grad	
Coefficiente di dilatazione	$\alpha, \gamma$	K <sup>-1</sup> , 1/°C	1/°K, 1/°C	
Coefficiente di tensione	$\beta$	K <sup>-1</sup>	1/°K	
Comprimibilità	$\chi \cdot x$	m <sup>2</sup> /N	m <sup>2</sup> /kgf	
Energia interna	$U$	J	kcal	
Energia interna specifica (calore)	$u (= U/m)$	J/kg	kcal/kg	
Capacità termica	$C$	J/K	kcal/grd	
Capacità termica molare	$C_m (= C/n)$	J/mol K	kcal/Mol grad	
Capacità termica a volume costante	$C_v$	J/m <sup>3</sup> N	kcal/m <sup>3</sup>	

### 3. Simboli della fluidodinamica (vedi anche tabella 4)

Grandezza	Simboli	Osservazioni, Formule
<b>a) Grandezze geometriche</b>		
Coordinate ortogonali	$x, y, z$	$x$ parallelo alle pareti preferibilmente nel senso del flusso principale, $y$ perpendicolare alle pareti
Coordinate cilindriche	$r, \varphi, z$	
Percorso lungo il senso del flusso	$s$	
Lunghezza	$L$	p.e. lungh. tubo, profondità profili, lunghezza corpo; in idraulica: profondità sezione
Diametro idraulico	$D_h$	$D_h = 4 A/U$ , dove $A$ rappresenta la sezione ed $U$ il perimetro bagnato
Raggio	$R$	p.e. distanza dall'asse, raggio variabile, $R$ valore costante o valore di riferimento
Altezza media della rugosità	$k$	
Altezza rugosità della sabbia (rugosità sabbia)	$k_s$	Diametro di granelli di sabbia di grandezza quasi eguale su una parete che ha la stessa resistenza al flusso come una parete ruvida conosciuta
Angolo del flusso (corrente)	$\alpha, \beta$	
<b>b) Grandezze cinematiche</b>		
Velocità	$W, V, C$	in aviazione $V$
Componenti della velocità	$u, v, w$	anche $w$ , $v$ o $c$ con le coordinate come indice
Velocità di turbolenza (critica)	$u', v', w'$	in direzione $x, y$ e $z$
Velocità del suono	$c, a; c_{**}, a_{**}$	Velocità di propagazione di piccole variaz. di press.
Velocità di Laval	$c_L, a_L$	quella velocità di corrente locale che è uguale alla velocità del suono locale
Funzione potenziale	$\phi$	$u = \frac{\delta\phi}{\delta y}, v = \frac{\delta\phi}{\delta y}, w = \frac{\delta\phi}{\delta z},$
Potenziale di velocità		
Funzione di corrente	$\psi$	$u = \frac{\delta\psi}{\delta y}, v = \frac{\delta\psi}{\delta x}$
Funzione potenziale complessa	$\chi$	$\chi = \phi + i\psi$
Circolazione	$\Gamma$	Integrale lineare della velocità su un percorso chiuso (uguale all'integrale di superficie sul rotore della velocità)
Corrente in volume	$V, Q, q$	anche portata in volume, in casi particolari: efflusso, afflusso. (La parola "quantità" non deve essere usata per le grandezze riferite al tempo).
Velocità media in una sezione	$\bar{w}, \bar{v}, \bar{c}$	indicata anche come densità della corrente in volume
Spessore dello strato limite	$\delta$	Spessore dello strato limite di corrente $\delta_{fl}$ , quando è necessaria una distinzione
Spessore dello strato limite termico	$\delta_{th}$	
Spessore dello strato limite di diffusione	$\delta_D$	
Spessore di spostam. dello strato limite	$\delta_1$	fino ad ora spesso anche $\delta^*$
Spessore perdita di impulsi dello strato limite	$\delta_2$	fino ad ora spesso anche $\delta$
Spessore perdita d'energia dello strato limite	$\delta_3$	

## Parte II - Simboli di grandezze e unità fisiche

Grandezza	Simboli	Osservazioni, Formule
<b>c) Grandezze dinamiche</b>		
Spinta statica, forza trasversale: Resistenza Spinta dinamica Pressione statica	$F_A, A, Q$ $F_w, W$ $F_T, T, S$ $p, p_{st}, p_s$	A preferenza $F_A, A$ per spinta statica, $Q$ per forza trasversale  La pressione che verrebbe misurata da un'apparecchio di misura sufficientemente piccolo relativa al fluido <sup>1)</sup> in stato di quiete
Pressione totale, pressione compless.	$p_t, P_{ges}, P_g$	La pressione che si formerebbe quando il fluido <sup>1)</sup> viene portato in stato di quiete in modo adiabatico-isentropico (adiabatico reversibile)
Pressione cinetica, pressione di velocità Pressione dinamica	$q$ $p_d, q_c$	L'energia cinetica riferita al volume, $q = \rho w^2/2$ Differenza tra pressione complessiva e pressione statica.
Pressione di Pitot	$p_p$	Per fluidi incompressibili <sup>1)</sup> uguale alla pressione cinetica $\rho w^2/2$ Pressione che viene indicata da un tubo di Pitot ideale; con corrente subsonica e numero di Reynolds non troppo piccolo uguale alla pressione compless.; con corrente subsonica uguale alla press. compless. dietro ad un'onda d'urto normale.
Variazione di pressione locale riferita al tempo Altezza di pressione	$\dot{p}$ $H, z$	$\dot{p} = \delta p / \delta t$  $H$ (o $H_{st}$ ) = $p_t / \rho g$ ; $H_t = p_t / \rho g$ (altezza pressione compl.) $g$ accelerazione di gravità
Corrente di massa	$m, q_m$	Anche flusso delle masse (la parola "quantità" non deve essere usata per grandezze riferite al tempo)
Densità corrente delle masse Corrente d'energia Impulso Corrente d'impulso	$\rho \cdot \bar{w}$ $E$ $I, p$ $I, p$	Uguale al quoziente tra corrente delle masse e sezione
<b>d) Grandezze della materia</b>		
Densità Volume specifico	$\rho$ $v$	$v = 1/\rho$
Esponente isentropica	$k_3, k$	$k_3 = - \frac{v}{p} \left( \frac{\delta p}{\delta v} \right)_s$ (per gas ideali uguale al rapporto $k$ delle capacità di calore specifico)
Tensione superfici limite, tensione superficiale	$\sigma, \gamma$	
<b>e) Rapporti di grandezze (grandezze caratteristiche e coefficienti)</b>		
Resistività	$\zeta$	$\zeta = \frac{p_{t2} - p_{t2}}{p_2}$
Coefficiente d'attrito nei tubi	$\lambda, \psi$	$\lambda = - \frac{\delta p_t \cdot d}{\delta s \cdot q_2}$  Nei tubi rettilinei con sezione circolare e numero di Mach basso si può sostituire - $\delta p_t / \delta \sigma$ con $(p_1 - p_2) / l$

<sup>1)</sup> Con fluido s'intende il liquido, il gas o il vapore, come un mezzo continuo non solido sul quale sono applicabili le leggi della meccanica dei fluidi.

Grandezza	Simboli	Osservazioni, Formule
Coefficiente di portanza	$C_A, \zeta_A$	$C_A = \frac{F_A}{qS}$
Coefficiente di resistenza	$C_W, \zeta_W$	$C_W = \frac{W}{qS}$
Coefficiente di momento	$C_M, C_{Mn}, \zeta_M$	$C_M = \frac{M}{lqS}$
Modulo di elasticità tangenziale	$\varepsilon$	$\varepsilon = W/A$
Numero di Eulero	$Eu$	$Eu = \frac{p_1 - p_2}{\rho w^2}$
Numero di Froude	$Fr$	Nella costruzione navale è usuale: $Fr = w/\sqrt{gl}$ Invece nelle costruzioni idrauliche è usuale: $Fr = w^2/gl$
Numero di Mach	$Ma$	$Ma = w/c$ ; nell'aviazione anche $M$ in luogo di $Ma$
Densità relativa della corrente di masse	$\Theta$	$\Theta = \frac{\rho w}{\rho_B a_B}$ dove qui $B$ indica lo stato di riferimento
Numero di Reynolds	$Re$	$Re = wl/\nu = w/\rho/\eta$
Numero di Strouhal	$Sr$	$Sr = lf/w$
Numero di Weber	$We$	$We = w^2 l \rho / \sigma$

$M$	Momento torcente
$\delta$	Derivata parziale
Indice 1 e 2	per due luoghi
$c$	Velocità del suono
$f$	Frequenza
$g$	Acceleraz. di gravità
$\nu, \eta$	Viscosità dinamica e cinematica

Significato	Indice
<b>f) Indici</b>	
Posizioni che si susseguono nel senso della corrente	1, 2, 3, ...
Entrata	1, $\alpha$
Uscita	2, $\beta$
Componente normale	n
Compon. del piano meridiano	m
Componente radiale	r
Componente tangenziale	t
Componente periferica	u, $\theta$
Coordinate cartesiane	x, y, z
Coordinate cilindriche	r, $\varphi$ , z
Acqua	H <sub>2</sub> O
Aria, Laval	L

Significato	Indice
Entropia cost. ideale	s
comprimibile	id
non comprimibile	c
statico	ic
	st, s oppure senza indice
totale, comples.	t, g
stato di quiete	0 (zero)
Parete	w
ad una distanza molto grande, da supporre come infinita, da una parete o da un ostacolo	$\infty$

## 4. Simboli ed unità della meccanica (grandezze cinematiche e dinamiche)

Grandezza	Simboli	Unità SI	Osservazioni
Tempo, intervallo di tempo, durata	$t$	s	
Periodo, periodo di oscillazione, tempo di rotazione	$T$	s	
Frequenza	$f$	Hz	
Deviazione, escursione	$x, y, z$	m	
Spostamenti	$\xi, \eta, \zeta$	m	Simboli alternativi $u, v, w$
Velocità	$v$	m/s	Componenti $v_x, v_y, v_z$ oppure $u, v, w$
Velocità di percorrenza			
Accelerazione	$a$	$m/s^2$	
Accelerazione di gravità	$g$	$m/s^2$	$g_n$ accelerazione di gravità normale
Variazione di accelerazione	$r, h$	$m/s^3$	
Velocità angolare	$\omega, \Omega$	rad/s	Simbolo alternativo $w$
Velocità di rotazione, numero di giri	$n$	$s^{-1}, \text{min}^{-1}$	Numero di giri come reciproco del tempo di rotazione
Accelerazione angolare	$\alpha$	$\text{rad}/s^2$	
Massa	$m$	kg	
Volume specifico	$v$	$m^3/\text{kg}$	
Densità	$\rho$	$\text{kg}/m^3$	
Densità relativa	$d$		Rapporto di grandezze
Forza	$F$	N	
Peso	$G$	N	
Pressione	$p$	$N/m^2$	
Momento di una forza (di una coppia di forze)	$M$	Nm	
Momento d'inerzia	$J, \Theta$	$\text{kgm}^2$	$J_x, J_y, J_z$ momento d'inerzia rispetto agli assi
Raggio d'inerzia	$i, k$	m	$i = \sqrt{J/M}$
Impulso	$p$	$\text{kgm}/s$	
Impulso di rotazione	$L, b$	$\text{kgm}^2/s$	
Lavoro	$W, A$	J	
Energia	$E, W$	J	
Energia potenziale	$E_p, V$	J	
Energia cinetica	$E_k, T$	J	
Potenza	$P$	W	
Rendimento	$\eta$		Rapporto di grandezze
Coefficiente di attrito	$\mu$		Rapporto di grandezze

## 1. Conversioni delle unità di tempo

Fino a quando negli uffici, aziende e laboratori verranno impiegate anche unità diverse da quelle SI sarà necessario poter convertire l'una nell'altra le grandezze fisiche dei differenti sistemi. Per fare questo sono necessari fattori di conversione.

In questa ed in tutte le altre tabelle di conversione che seguono i valori reciproci dei fattori di conversione sono posti di fronte in modo simmetrico alla 1 a diagonale. Le unità SI sono bordate con tratto spesso.

Unità di tempo	<b>Secondi</b>	Minuti	Ore	Giorni	Anni
<b>1 s</b>	1,0	$\frac{1}{60} = 1,6667 \cdot 10^{-7}$	$\frac{1}{3,6 \cdot 10^3} = 2,7778 \cdot 10^{-4}$	$\frac{1}{8,64 \cdot 10^4} = 1,15741 \cdot 10^{-5}$	$\frac{1}{3,1536 \cdot 10^7} = 3,17098 \cdot 10^{-8}$
1 min	$6,0000 \cdot 10^1$	1,0	$\frac{1}{60} = 1,6667 \cdot 10^{-2}$	$\frac{1}{1,44 \cdot 10^3} = 6,94949 \cdot 10^{-4}$	$\frac{1}{5,256 \cdot 10^5} = 1,90259 \cdot 10^{-6}$
1 h	$3,6000 \cdot 10^3$	$6,0000 \cdot 10^1$	1,0	$\frac{1}{24} = 4,16667 \cdot 10^{-2}$	$\frac{1}{8,76 \cdot 10^3} = 1,14155 \cdot 10^{-4}$
1 d	$8,6400 \cdot 10^4$	$1,4400 \cdot 10^3$	$2,4000 \cdot 10^1$	1,0	$\frac{1}{3,65 \cdot 10^2} = 2,73973 \cdot 10^{-3}$
1 a	$3,1536 \cdot 10^7$	$5,2560 \cdot 10^5$	$8,7600 \cdot 10^3$	$3,6500 \cdot 10^2$	1,0

## 2. Conversioni delle unità di forza

Unità per la forza <i>F</i>	<b>Newton = N</b>	Chilogrammo-forza = kgf	dine
<b>1 Newton = 1 N =</b>	1	$\frac{1}{9,80665} = 0,101972 \approx 0,102$	$10^5$
1 chilogrammo-forza = = 1 kgf =	$9,80665 \approx 9,81$	1	$9,80665 \cdot 10^5 \approx 9,81 \cdot 10^5$
1 dina =	$10^{-5}$	$\frac{10^{-5}}{9,80665} = 1,01972 \cdot 10^{-6} \approx 1,02 \cdot 10^{-6}$	1

### 3. Conversioni delle unità di pressione (*p*)

Unità per <i>p</i>	Pascal $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	Bar bar ( $10^6 \text{ dyn/cm}^2$ )	Mikrobar $\mu\text{bar}$ (= $\text{dyn/cm}^2$ )
<b>1 Pascal = 1 Pa</b> = $1 \frac{\text{Newton}}{\text{metro quadrato}}$ = $1 \text{ N/m}^2 =$	1	$10^{-5}$	10
<b>1 Bar =</b> = <b>1 bar = 0,1 MPa</b> (= $10^8 \text{ dyn/cm}^2$ ) =	$10^5$	1	$10^6$
<b>1 Mikrobar</b> = <b>1 <math>\mu\text{bar}</math> =</b> (= $1 \text{ dyn cm}^2$ ) =	$10^{-1}$	$10^{-6}$	1
1 $\frac{\text{chilogrammo-forza}}{\text{metro quadrato}}$ = $1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 1 \text{ mm H}_2\text{O} =$	9,80665 $\approx 9,81$	$9,80665 \cdot 10^{-5}$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-5}$	98,0665 $\approx 98,1$
1 atmosfera tec. = $1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} =$	$9,80665 \cdot 10^4$ $\approx 9,81 \cdot 10^4$	$9,80665 \cdot 10^{-1}$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-1}$	$9,80665 \cdot 10^5$ $\approx 9,81 \cdot 10^5$
1 atmosfera fis. = $1 \text{ atm} =$ (= 760 Torr) =	$1,01325 \cdot 10^5$ $\approx 1,01 \cdot 10^5$	$1,01325 \approx 1,01$	$1,01325 \cdot 10^6$ $\approx 1,01 \cdot 10^6$
1 Torr = (= $1/760 \text{ atm}$ ) (= mm HG) =	$1,333224 \cdot 10^2$ $\approx 1,33 \cdot 10^2$	$1,333224 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,333224 \cdot 10^3$ $\approx 1,33 \cdot 10^3$

$\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = \text{mm H}_2\text{O}$	$\text{at} = \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	atm	Torr
0,101972 $\approx 0,102$	$1,01972 \cdot 10^{-5}$ $\approx 1,02 \cdot 10^{-5}$	$0,98692 \cdot 10^{-5}$ $\approx 0,99 \cdot 10^{-5}$	$0,75006 \cdot 10^{-2}$ $\approx 0,75 \cdot 10^{-2}$
$0,101972 \cdot 10^5$ $\approx 1,02 \cdot 10^4$	1,01972 $\approx 1,02$	0,98692 $\approx 0,99 \approx 1$	$0,75006 \cdot 10^3$ $\approx 750$
$0,101972 \cdot 10^{-1}$ $\approx 1,02 \cdot 10^{-2}$	$0,101972 \cdot 10^{-5}$ $\approx 1,02 \cdot 10^{-6}$	$0,98692 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,99 \cdot 10^{-6}$ $\approx 1 \cdot 10^{-6}$	$0,75006 \cdot 10^{-3}$ $\approx 0,75 \cdot 10^{-3}$
1	$10^{-4}$	$9,67841 \cdot 10^{-5}$ $\approx 9,68 \cdot 10^{-5}$	$7,35558 \cdot 10^{-2}$ $\approx 7,36 \cdot 10^{-2}$
$10^4$	1	$9,67841 \cdot 10^{-1}$ $\approx 0,97$	$7,35558 \cdot 10^2$ $\approx 736$
$1,03323 \cdot 10^4$ $\approx 1,033 \cdot 10^4$	1,03323 $\approx 1,03$	1	$7,59998 \cdot 10^2$ $\approx 760$
$1,35951 \cdot 10^1$ $\approx 13,6$	$1,35951 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,31579 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,32 \cdot 10^{-3}$	1

1 at = 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 735,5 mm Hg (= Torr)

#### 4. Conversioni delle unità di lavoro, energia ( $W$ ), energia termica ( $Q$ )

Unità di lavoro Energia $W$ ( $A, E$ ) Energia termica $Q$	<b>Joule J</b> (= Watt secondo Ws)	Chilowattora kWh	Newtonmetro = Voltampere- secondo Nm = VAs
<b>1 Joule = 1 J</b> (= 1 Wattsecondo = 1 Ws) =	1	$0,277778 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,2778 \cdot 10^{-6}$	1
1 Kilowattora = 1 kWh =	$3,6 \cdot 10^6$	1	$3,6 \cdot 10^6$
Newtonmetro = 1 Nm = 1 Voltampere-secondo = 1 VAs =	1	$0,277778 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,2778 \cdot 10^{-6}$	1
$1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} =$	1	$0,277778 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,2778 \cdot 10^{-6}$	1
1 erg =	$10^{-7}$	$0,277778 \cdot 10^{-13}$ $\approx 0,2778 \cdot 10^{-13}$	$10^{-7}$
1 Chilogrammo-forza-metro = 1 kgfm =	9,80665 $\approx 9,81$	$2,72407 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,724 \cdot 10^{-6}$	9,80665 $\approx 9,81$
1 Chilocaloria = 1 kcal =	4186,8	$1,16300 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,163 \cdot 10^{-3}$	4186,8
1 Cavallo secondo = 1 PSh =	$2,6478 \cdot 10^6$ $\approx 2,65 \cdot 10^6$	0,735499 $\approx 0,7355$	$2,6478 \cdot 10^6$ $\approx 2,65 \cdot 10^6$

**Attenzione:** le unità stampate in grassetto e bordate sono unità **SI**

$\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$	erg	Chilogrammo-forza- metro kgfm	Chilocaloria kcal	Cavallo secondo PSh
1	$10^7$	0,101972 $\approx 0,102$	$0,238846 \cdot 10^{-3}$ $\approx 0,2388 \cdot 10^{-3}$	$0,37767 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,378 \cdot 10^{-6}$
$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$0,367098 \cdot 10^6$ $\approx 0,367 \cdot 10^6$	859,845 $\approx 860$	1,3596 $\approx 1,36$
1	$10^7$	0,101972 $\approx 0,102$	$0,238846 \cdot 10^{-3}$ $\approx 0,2388 \cdot 10^{-3}$	$0,37767 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,378 \cdot 10^{-6}$
1	$10^7$	0,101972 $\approx 0,102$	$0,238846 \cdot 10^{-3}$ $\approx 0,2388 \cdot 10^{-3}$	$0,37767 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,378 \cdot 10^{-6}$
$10^{-7}$	1	$0,101972 \cdot 10^{-7}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-7}$	$0,238846 \cdot 10^{-10}$ $\approx 0,2388 \cdot 10^{-10}$	$0,37767 \cdot 10^{-13}$ $\approx 0,378 \cdot 10^{-13}$
9,80665 $\approx 9,81$	$9,80665 \cdot 10^7$ $\approx 9,81 \cdot 10^7$	1	$2,34228 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,342 \cdot 10^{-3}$	$3,70370 \cdot 10^{-6}$ $\approx 3,704 \cdot 10^{-6}$
4186,8	$4186,8 \cdot 10^7$	426,935 $\approx 427$	1	$1,58124 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,581 \cdot 10^{-3}$
$2,6478 \cdot 10^6$ $\approx 2,65 \cdot 10^6$	$2,6478 \cdot 10^{13}$ $\approx 2,65 \cdot 10^{13}$	75 · 3600 $= 0,270 \cdot 10^6$	632,4149 $\approx 632$	1

## 5. Conversioni delle unità di potenza ( $P$ ), flusso di energia ( $E$ ), flusso termico ( $\Phi$ )

Unità di potenza $P$ Flusso d'energia $E$ Flusso termico $\Phi$	<b>Watt W</b> (= J/s)	Chilowatt kW	<u>Newtonmetro</u> <u>Secondo</u> Nm/s
<b>1 Watt = 1 W =</b> (= Joule/sec = 1 J/s)	1	$10^{-3}$	1
1 Chilowatt = 1 kW =	$10^3$	1	$10^3$
1 $\frac{\text{Newtonmetro}}{\text{secondo}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} =$	1	$10^{-3}$	1
1 $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} =$	1	$10^{-3}$	1
1 $\frac{\text{erg}}{\text{secondo}} = 1 \frac{\text{erg}}{\text{s}} =$	$10^{-7}$	$10^{-10}$	$10^{-7}$
1 $\frac{\text{Chilogrammo forza-metro}}{\text{secondo}} = 1 \frac{\text{kgfm}}{\text{s}} =$	9,80665 $\approx 9,81$	$9,80665 \cdot 10^{-3}$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-3}$	9,80665 $\approx 9,81$
1 $\frac{\text{Chilocaloria}}{\text{secondo}} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} =$	4186,8	4,1868	4186,8
1 Cavallo = 1 PS = HP =	735,5	0,7355	735,5

**Attenzione:** le unità stampate in grassetto e bordate sono unità SI

$\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$	$\frac{\text{erg}}{\text{secondo}}$ erg/s	$\frac{\text{Chilogrammo forza} \cdot \text{metro}}{\text{secondo}}$ kgfm/s	$\frac{\text{Chilocaloria}}{\text{Secondo}}$ kcal/s	Cavallo vapore PS = HP
1	$10^7$	0,101972 $\approx 0,102$	$238846 \cdot 10^{-9}$ $\approx 0,239 \cdot 10^{-3}$	$1,3596 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,36 \cdot 10^{-3}$
$10^3$	$10^{10}$	101,972 $\approx 102$	0,238846 $\approx 0,239$	1,3596 $\approx 1,36$
1	$10^7$	0,101972 $\approx 0,102$	$0,238846 \cdot 10^{-3}$ $\approx 0,239 \cdot 10^{-3}$	$1,3596 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,36 \cdot 10^{-3}$
1	$10^7$	0,101972 $\approx 0,102$	$0,238846 \cdot 10^{-3}$ $\approx 0,239 \cdot 10^{-3}$	$1,3596 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,36 \cdot 10^{-3}$
$10^{-7}$	1	$0,101972 \cdot 10^{-7}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-7}$	$0,238846 \cdot 10^{-10}$ $\approx 0,239 \cdot 10^{-10}$	$1,3596 \cdot 10^{-10}$ $\approx 1,36 \cdot 10^{-10}$
9,80665 $\approx 9,81$	$9,80665 \cdot 10^7$ $\approx 9,81 \cdot 10^7$	1	$2,34228 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,342 \cdot 10^{-3}$	$13,3333 \cdot 10^{-3}$ $\approx 13,33 \cdot 10^{-3}$
4186,8	$4,1868 \cdot 10^{10}$	426,935 $\approx 427$	1	5,69247 $\approx 5,69$
735,5	$735,5 \cdot 10^7$	75	0,17567 $\approx 0,18$	1

## 6. Conversioni delle unità di conduzione termica ( $\lambda$ )

Unità per $\lambda$	$\frac{W}{m K}$	$\frac{W}{cm K}$	$\frac{kcal}{m h \text{ grd}}$
$1 \frac{W}{m K} =$	1	$0,01 = 10^{-2}$	$0,859845 \approx 0,86$
$1 \frac{W}{cm K} =$	$100 = 10^2$	1	$85,9845 \approx 86$
$1 \frac{kcal}{m h \text{ grd}} =$	1,163	$1,163 \cdot 10^{-2}$	1
$1 \frac{kcal}{cm s \text{ grd}} =$	$4186,8 \cdot 100 = 418680$	4186,8	$100 \cdot 3600 = 3,6 \cdot 10^5$
$1 \frac{J}{m h K} =$	$2,77778 \cdot 10^{-4} \approx 2,778 \cdot 10^{-4}$	$2,77778 \cdot 10^{-6} \approx 2,778 \cdot 10^{-6}$	$2,38846 \cdot 10^{-4} \approx 2,39 \cdot 10^{-4}$
$1 \frac{J}{cm s K} =$	100	1	$85,9845 \approx 86$
$1 \frac{kgfm}{m h \text{ grd}} =$	$2,72407 \cdot 10^{-3} \approx 2,724 \cdot 10^{-3}$	$2,72407 \cdot 10^{-5} \approx 2,724 \cdot 10^{-5}$	$2,34228 \cdot 10^{-3} \approx 2,343 \cdot 10^{-3}$
$1 \frac{kgfm}{cm s \text{ grd}} =$	$9,80665 \cdot 10^2 \approx 9,81 \cdot 10^2$	$9,80665 \approx 9,81$	$843,22 \approx 843$

**Attenzione:** le unità stampate in grassetto e bordate sono unità SI.

$\lambda$  = Conduttività termica, conducibilità termica

$$\lambda = \frac{Q \cdot \Delta l}{A \cdot \Delta t}$$

$\frac{\text{kcal}}{\text{cm s grd}}$	$\frac{\text{J}}{\text{m h K}}$	$\frac{\text{J}}{\text{cm s K}}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{m h grd}}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{cm s grd}}$
$2,38846 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-6}$	3600	$10^{-2}$	$3,67092 \cdot 10^2$ $\approx 3,671 \cdot 10^2$	$1,01972 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,02 \cdot 10^{-3}$
$2,38846 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-4}$	$100 \cdot 3600$ $= 3,6 \cdot 10^5$	1	$3,67098 \cdot 10^4$ $\approx 3,671 \cdot 10^4$	0,101972 $\approx 0,102$
$2,77778 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-6}$	4186,8	$1,163 \cdot 10^{-2}$	426,935 $\approx 427$	$1,18593 \cdot 10^{-3}$ $\approx 1,186 \cdot 10^{-3}$
1	$15,07248 \cdot 10^6$ $\approx 15,072 \cdot 10^6$	4186,8	$15,36966 \cdot 10^7$ $\approx 15,37 \cdot 10^7$	426,935 $\approx 427$
$6,63461 \cdot 10^{-10}$ $\approx 6,635 \cdot 10^{-10}$	1	$2,77778 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-6}$	0,101972 $\approx 0,102$	$2,8325 \cdot 10^{-7}$ $\approx 2,833 \cdot 10^{-7}$
$2,38846 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-4}$	$100 \cdot 3600$ $= 3,6 \cdot 10^5$	1	$3,67098 \cdot 10^4$ $\approx 3,67 \cdot 10^4$	0,101972 $\approx 0,102$
$6,506325 \cdot 10^{-9}$ $\approx 6,51 \cdot 10^{-9}$	9,80665 $\approx 9,81$	$2,72407 \cdot 10^{-5}$ $\approx 2,724 \cdot 10^{-5}$	1	$2,77778 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-6}$
$2,34228 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,342 \cdot 10^{-3}$	$3,530392 \cdot 10^6$ $\approx 3,53 \cdot 10^6$	9,80665 $\approx 9,81$	$100 \cdot 3600$ $= 3,6 \cdot 10^5$	1

7. Conversione del coefficiente di irraggiamento termico ( $\alpha_s$ ), del coefficiente di convezione termica naturale e del coefficiente di trasmissione del calore ( $\alpha$  e  $k$ )

Unità per $\alpha_s$		$\frac{W}{m^2 K^4}$	$\frac{W}{cm^2 K^4}$	$\frac{kcal}{m^2 h grad^4}$
Unità per $\alpha$ e $k$		$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{W}{cm^2 K}$	$\frac{kcal}{m^2 h grad}$
$1 \frac{W}{m^2 K^4} =$	$1 \frac{W}{m^2 K} =$	1	$10^{-4}$	$0,859845 \approx 0,86$
$1 \frac{W}{cm^2 K^4} =$	$1 \frac{W}{cm^2 K} =$	$10^4$	1	$8,59845 \cdot 10^3 \approx 8,6 = 10^3$
$1 \frac{kcal}{m^2 h grad^4} =$	$1 \frac{kcal}{m^2 h grad} =$	1,163	$1,163 \cdot 10^{-4}$	1
$1 \frac{kcal}{cm^2 s grad^4} =$	$1 \frac{kcal}{cm^2 s grad} =$	$4186,8 \cdot 10^4 \approx 4,187 \cdot 10^7$	4186,8	$10^4 \cdot 3600 = 3,6 \cdot 10^7$
$1 \frac{J}{m^2 h K^4} =$	$1 \frac{J}{m^2 h K} =$	$2,77778 \cdot 10^{-4} \approx 2,778 \cdot 10^{-4}$	$2,77778 \cdot 10^{-5} \approx 2,778 \cdot 10^{-5}$	$2,38846 \cdot 10^{-4} \approx 2,39 \cdot 10^{-4}$
$1 \frac{J}{cm^2 s K^4} =$	$1 \frac{J}{cm^2 s K} =$	$10^4$	1	$8,59845 \cdot 10^3 \approx 8,6 \cdot 10^3$
	$1 \frac{kgfm}{m^2 h grad} =$	$2,72407 \cdot 10^{-3} \approx 2,724 \cdot 10^{-3}$	$2,72407 \cdot 10^7 \approx 2,724 \cdot 10^{-7}$	$2,34228 \cdot 10^{-3} \approx 2,342 \cdot 10^{-3}$
$1 \frac{kgfm}{cm^2 s grad^4} =$	$1 \frac{kgfm}{cm^2 s grad} =$	$9,80665 \cdot 10^4 \approx 9,81 \cdot 10^4$	$9,80665 \approx 9,81$	$8,4322 \cdot 10^4 \approx 8,43 \cdot 10^4$

**Attenzione:** le unità stampate in grassetto e bordate sono unità SI.

$\frac{\text{kcal}}{\text{cm}^2 \text{ s } \text{grd}^4}$	$\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ h } \text{K}^4}$	$\frac{\text{J}}{\text{cm}^2 \text{ s } \text{K}^4}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{m}^2 \text{ h } \text{grd}^4}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{cm}^2 \text{ s } \text{grd}^4}$
$\frac{\text{kcal}}{\text{cm}^2 \text{ s } \text{grd}}$	$\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ h } \text{K}}$	$\frac{\text{J}}{\text{cm}^2 \text{ s } \text{K}}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{m}^2 \text{ h } \text{grd}}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{cm}^2 \text{ s } \text{grd}}$
$2,38846 \cdot 10^{-8}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-8}$	3600	$10^{-4}$	$3,67098 \cdot 10^2$ $\approx 3,671 \cdot 10^2$	$1,01972 \cdot 10^{-5}$ $\approx 1,02 \cdot 10^{-5}$
$2,38846 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-4}$	$10^4 \cdot 3600$ $= 3,6 \cdot 10^7$	1	$3,67098 \cdot 10^6$ $\approx 3,671 \cdot 10^6$	0,101972 $\approx 0,102$
$2,77778 \cdot 10^{-8}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-8}$	4186,8	$\approx 1,163 \cdot 10^{-4}$	426,935 $\approx 427$	$1,18593 \cdot 10^{-5}$ $\approx 1,186 \cdot 10^{-5}$
1	$15,07248 \cdot 10^{10}$ $\approx 15,072 \cdot 10^{10}$	4186,8	$1,536966 \cdot 10^{10}$ $\approx 1,537 \cdot 10^{10}$	426,935 $\approx 427$
$6,63461 \cdot 10^{-12}$ $\approx 6,63 \cdot 10^{-12}$	1	$2,7778 \cdot 10^{-8}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-8}$	0,101972 $\approx 0,102$	$2,8325 \cdot 10^{-9}$ $\approx 2,83 \cdot 10^{-9}$
$2,38846 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-4}$	$10^4 \cdot 3600$ $= 3,6 \cdot 10^7$	1	$3,67098 \cdot 10^6$ $\approx 3,67 \cdot 10^6$	0,101972 $\approx 0,102$
$6,506325 \cdot 10^{-11}$ $\approx 6,51 \cdot 10^{-11}$	9,80665 $\approx 9,81$	$2,72407 \cdot 10^{-7}$ $\approx 2,72 \cdot 10^{-7}$	1	$2,77778 \cdot 10^{-8}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-8}$
$2,34228 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,34 \cdot 10^{-3}$	$3,530392 \cdot 10^8$ $\approx 3,53 \cdot 10^8$	9,80665 $\approx 9,81$	$10^4 \cdot 3600$ $= 3,6 \cdot 10^7$	1

## 8. Conversioni delle unità di tensione normale e tangenziale ( $\sigma$ e $\tau$ )

Unità di tensione tensione normale $\sigma$ tensione tangenziale $\tau$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
$1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} =$	1	$10^2$	$10^6$
$1 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} =$	$10^{-2}$	1	$10^4$
<b>1 Pascal =</b> <b>1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup> =</b>	$10^{-6}$	$10^{-4}$	1
$1 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} =$	$10^{-7}$	$10^{-5}$	$10^{-1}$
$1 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} =$ (kg/mm <sup>2</sup> )	9,80665 $\approx 9,81$	$9,80665 \cdot 10^2$ $\approx 9,81 \cdot 10^2$	$9,80665 \cdot 10^6$ $\approx 9,81 \cdot 10^6$
$1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} =$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$9,80665 \cdot 10^{-2}$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-2}$	9,80665 $\approx 9,81$	$9,80665 \cdot 10^4$ $\approx 9,81 \cdot 10^4$
$1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} =$ (kg/m <sup>2</sup> )	$9,80665 \cdot 10^{-6}$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-6}$	$9,80665 \cdot 10^{-4}$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-4}$	9,80665 $\approx 9,81$

**Osservazioni:** 1 kgf = unità della forza nel vecchio sistema di unità tecnico (precedentemente anche kg).

**Nota:** le unità stampate in grassetto e bordate sono **unità SI**.

$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
$10^7$	$0,101972$ $\approx 0,102$	$10,1972$ $\approx 10,2$	$101972$ $\approx 10,2 \cdot 10^4$
$10^5$	$0,00101972$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-2}$	$0,101972$ $\approx 0,102$	$1019,72$ $\approx 0,102 \cdot 10^4$
$10^1$	$0,101972 \cdot 10^{-6}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-6}$	$0,101972 \cdot 10^{-4}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-4}$	$0,101972$ $\approx 0,102$
1	$0,101972 \cdot 10^{-7}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-7}$	$0,101972 \cdot 10^{-5}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-5}$	$0,101972 \cdot 10^{-1}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-1}$
$9,80665 \cdot 10^7$ $\approx 9,81 \cdot 10^7$	1	$10^2$	$10^6$
$9,80665 \cdot 10^5$ $\approx 9,81 \cdot 10^5$	$10^{-2}$	1	$10^4$
$9,80665 \cdot 10^1$ $\approx 9,81 \cdot 10^1$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	1

### 9. Conversioni delle unità di energia interna spec. ( $u$ ), entalpia spec. ( $h$ ) e potere calorifico ( $H$ )

Unità per $u, h$ e $H$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ $\frac{\text{Nm}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kgfm}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$
$1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} =$ $= 1 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}}$	1	0,1019 $\approx 0,102$	$2,38846 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,77778 \cdot 10^{-7}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-7}$
$1 \frac{\text{kgfm}}{\text{kg}} =$	9,80665 $\approx 9,81$	1	$2,34228 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,34 \cdot 10^{-3}$	$2,724069 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,72 \cdot 10^{-6}$
$1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} =$	4186,8	426,935 $\approx 427$	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$
$1 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} =$	$3600 \cdot 10^3$	$3,6710 \cdot 10^5$	859,845 $\approx 860$	1

1 kg = Unità di massa - i fattori di conversione sono eguali a quelli dei  $\text{m}^3$

### 10. Conversioni delle unità di viscosità cinematica ( $\nu$ )

Unità per $\nu$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{h}}$	Stokes = St $= \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$	Centistokes $= \text{c St}$
$1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} =$	1	3600 $= 3,6 \cdot 10^3$	$10^4$	$10^6$
$1 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} =$	$2,77778 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-4}$	1	2,77778 $\approx 2,778$	$2,77778 \cdot 10^2$ $\approx 2,778 \cdot 10^2$
1 Stokes = 1 St = $= 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$	$10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-1}$	1	$10^2$
1 Centistokes $= 1 \text{ c St}$	$10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	1

**Attenzione:** le unità stampate in grassetto e bordate sono unità SI.

# 11. Conversioni delle unità di viscosità dinamica ( $\eta$ )

Unità per $\eta$	Pascalsecondo Pa s Decapoise (da P)	Poise P $= \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{kg}^*}{\text{mh}}$	$\frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	$\frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{kgf} \cdot \text{h}}{\text{m}^2}$
<b>1 Pascalsecondo = 1 Pa s</b> (1 Decapoise = 1 da P) $= 1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}^* \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	1	10	3600	0,10197 $\approx 0,102$	$0,10197 \cdot 10^{-4}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-4}$	$2,832545 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,833 \cdot 10^{-5}$
1 Poise $= 1 \text{ P} = \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} =$	$10^{-1}$	1	$10^{-1} \cdot 3600$ $= 360$	0,010197 $\approx 0,0102$	$0,010197 \cdot 10^{-4}$ $\approx 0,102 \cdot 10^{-5}$	$2,832545 \cdot 10^{-6}$ $\approx 2,833 \cdot 10^{-6}$
$1 \frac{\text{kg}^*}{\text{m} \cdot \text{h}} =$	$2,77778 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-4}$	$2,77778 \cdot 10^{-3}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-3}$	1	$2,832545 \cdot 10^{-5}$ $\approx 2,833 \cdot 10^{-5}$	$2,832545 \cdot 10^{-9}$ $\approx 2,833 \cdot 10^{-9}$	$7,86818 \cdot 10^{-9}$ $\approx 7,87 \cdot 10^{-9}$
$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} =$	$9,80665$ $\approx 9,81$	$98,0665$ $\approx 98,1$	$35303,94$ $\approx 3,53 \cdot 10^4$	1	$10^{-4}$	$2,77778 \cdot 10^{-4}$ $\approx 2,778 \cdot 10^{-4}$
$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} =$	$9,80665 \cdot 10^4$ $\approx 9,81 \cdot 10^4$	$9,80665 \cdot 10^5$ $\approx 9,81 \cdot 10^5$	$3,530394 \cdot 10^8$ $\approx 3,53 \cdot 10^8$	$10^4$	1	$2,77778$ $\approx 2,778$
$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{h}}{\text{m}^2} =$	$35303,94$ $\approx 3,53 \cdot 10^4$	$3,530394 \cdot 10^5$ $\approx 3,53 \cdot 10^5$	$1,270942 \cdot 10^8$ $\approx 1,271 \cdot 10^8$	3600	$3,6 \cdot 10^{-1}$ $\approx 0,36$	1

\* 1 kg massa nel sistema di misure internazionale. Viscosità cinematica  $\nu = \eta/\rho$  in  $\text{m}^2/\text{s}$ .  
**Attenzione:** le unità stampate in grassetto e bordate sono unità SI.

## 12. Abachi per unità di viscosità internazionali

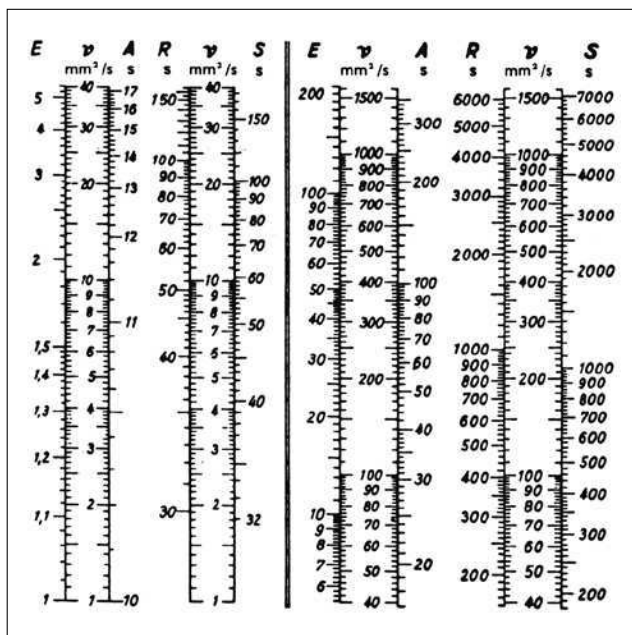
$\nu$  = viscosità cinematica in  $\text{mm}^2/\text{s}$  (= cSt, centistoke)

E = gradi Engler

R = Redwood, Standard (Gran Bretagna), in secondi (s)

S = Saybolt-Universal (USA) in secondi (s)

A = Tempo di spargimento in secondi, dall'apposito bicchiere DIN 53211  
(per vernici, colori e simili)



Per  $\nu > 60 \text{ mm}^2/\text{s}$  si ha  $E = 0,132 \nu$

**Unità SI:** Viscosità cinematica  $\nu$  in  $\text{m}^2/\text{s}$

$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\nu = \eta/\rho$  dove  $\eta$  la viscosità dinamica,  $\rho$  la densità.

## 13. Abachi per unità termiche internazionali

°C = grado Celsius

K = grado Kelvin

°F = grado Fahrenheit

°Ra = grado Rankine

°R = grado Réaumur

Corrispondenze

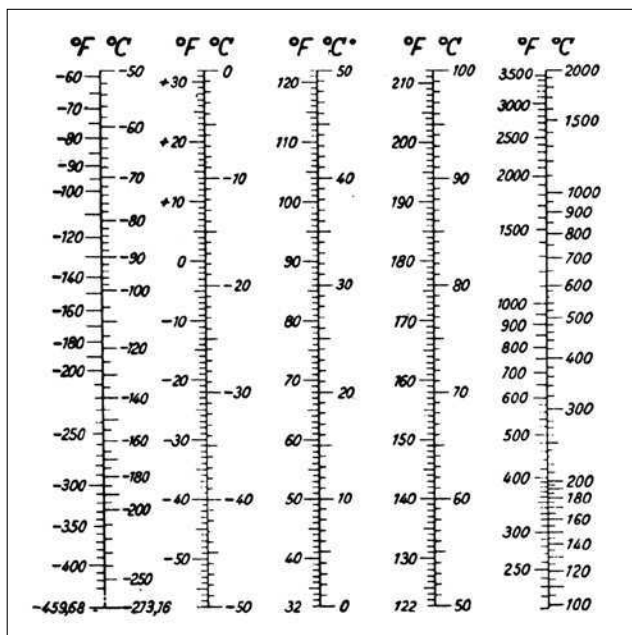
$$t_c = 0,555 (t_f - 32) = 1,25 t_R$$

$$t_f = 1,8 t_c + 32 = 2,25 t_R + 32$$

$$t_R = 0,8 t_c = 0,444 (t_f - 32)$$

Differenze di temperatura

$$5 \text{ } ^\circ\text{C} (\text{K}) = 9 \text{ } ^\circ\text{F} (\text{ } ^\circ\text{Ra}) = 4 \text{ } ^\circ\text{R}$$



Zeri:  $0 \text{ } ^\circ\text{C} = 0 \text{ } ^\circ\text{R} = 32 \text{ } ^\circ\text{F}$

$0 \text{ } ^\circ\text{F} = -17,78 \text{ } ^\circ\text{C} = -14,22 \text{ } ^\circ\text{R}$

**Zero assoluto** della temperatura:  $0 \text{ K} = -273,16 \text{ } ^\circ\text{C} = 0 \text{ } ^\circ\text{Ra} = -459,68 \text{ } ^\circ\text{F}$ .

Praticamente è stato ottenuto  $0,0044 \text{ K} = -273,1556 \text{ } ^\circ\text{C}$  mediante smagnetizzazione adiabatica di materie paramagnetiche, p.e. allume di cromo potassico.

**Scala termometrica pratica:** punto di ebollizione dell'ossigeno:  $-182,97 \text{ } ^\circ\text{C}$ , punto di congelamento dell'acqua:  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , punto di ebollizione dell'acqua:  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ , punto di ebollizione dello zolfo:  $444,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ , punto di fusione dell'argento:  $960,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ , punto di fusione dell'oro:  $1063 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## 14. Conversione delle unità per la durezza dell'acqua

Specialmente il magnesio alcalino-terroso ed il magnesio come cationi, con gli anioni di carbonato di idrogeno e di solfato causano la durezza dell'acqua. I carbonati di idrogeno ed i solfati sciolti rappresentano la **durezza complessiva dell'acqua**. I carbonati di idrogeno sciolti, che mediante l'ebollizione possono essere fatti pre-

cipitare come carbonati, sono responsabili della durezza **"temporanea"**, **"transitoria"** o **durezza-zacarbonato (KH)**. I solfati (ed altri sali come cloruri, nitrati, silicati, idrossidi ecc.) che non possono essere fatti precipitare mediante l'ebollizione, danno la durezza **"durevole"**, **"permanente"** o **"durezza-non-carbonato" (NKH)**.

Si ha cioè durezza-carbonato + durezza-non-carbonato = durezza complessiva.

Qui sotto vengono riportati i gradi di durezza adottati nei diversi paesi con i loro coefficienti di conversione: Coefficienti di conversione per differenti gradi di durezza e millival/l

Coefficienti di conversione per differenti gradi di durezza e millival/l

Gradi di durezza

Simboli	Tedeschi °d	Francesi °f	Inglesì °e	americani ppm	mval/l
	10 mg CaO per 1000 cm <sup>3</sup> di acqua	10 mg CaCO <sub>3</sub> per 1000 cm <sup>3</sup> di acqua	1 grain CaCO <sub>3</sub> per gallon - 14,3 mg CaCO <sub>3</sub> per 1000 cm <sup>3</sup> di acqua	1 part CaCO <sub>3</sub> per milione - 1 mg CaCO <sub>3</sub> per 1000 cm <sup>3</sup> di acqua	cm <sup>3</sup> n/10 Reagente per 1000 cm <sup>3</sup> di acqua
1°d	1,0	1,79	1,25	17,9	0,357
1°f	0,56	1,0	0,7	10,0	0,2
1°e	0,8	1,43	1,0	14,3	0,286
1 ppm	0,056	0,1	0,07	1,0	0,02
1 mval/l	2,8	5,0	3,5	50,0	1,0

Durezza complessiva = durezza permanente più temporanea

0 - 4 molto dolce                      12 - 18 abbastanza dura

4 - 8 dolce                                18 - 30 dura

8 - 12 media                      oltre 30 molto dura

Ogni grammo di calce distrugge 15 grammi di sapone mediante la formazione di sapone di calcio il cui valore detergente è zero e che precipita con l'aspetto di una patina grigia.

## 15. Conversioni delle unità angolari in decimali (radiante, grado centesimale)

	rad	L	°	°	'	"	g	c	cc
1 Radiante (rad)	1	0,637	57,296	57	17	44,8	63,662	$63,662 \cdot 10^2$	$63,662 \cdot 10^4$
1 Angolo retto $= \frac{\pi}{2}$ Radianti	1,571	1	90	90	0	0,0	100	$10^4$	$10^4$
1 Grado (°)	$17,453 \cdot 10^{-3}$	$11,111 \cdot 10^{-3}$	1	1	0	0,0	1,111	$1,111 \cdot 10^2$	$1,111 \cdot 10^4$
$= \frac{\pi}{180}$ Radianti									
1 Minuto (')	$290,888 \cdot 10^{-6}$	$185,185 \cdot 10^{-6}$	$16,667 \cdot 10^{-3}$	0	1	0,0	$18,519 \cdot 10^{-3}$	$18,519 \cdot 10^{-1}$	$18,519 \cdot 10$
$= \frac{1}{60}$ Grado									
1 Secondo (")	$4,848 \cdot 10^{-6}$	$3,086 \cdot 10^{-6}$	$277,778 \cdot 10^{-6}$	0	0	1,0	$308,642 \cdot 10^{-6}$	$308,642 \cdot 10^{-4}$	$308,642 \cdot 10^{-2}$
$= \frac{1}{60}$ Minuto									
1 Grado centesimale (g)									
$= \frac{\pi}{200}$ Radianti	$15,708 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	0,9	0	54	0,0	1	$10^2$	$10^4$
1 minuto centesimale (c)									
$= \frac{1}{100}$ Grado centes.	$15,708 \cdot 10^{-5}$	$10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-2}$	0	0	32,4	$10^{-2}$	1	$10^2$
1 secondo centesimale (cc)									
$= \frac{1}{10000}$ Grado centes.	$15,708 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0	0	0,324	$10^{-4}$	$10^{-2}$	1

Unità non SI ammesse Gon (g) in luogo di grado centesimale; minuto e secondo centesimale (c e cc).

## Parte II - Unità anglosassoni

### 1. Simboli di unità anglosassoni e francesi

I simboli inglesi ed americani vengono scritti in modo non uniforme in parte con lettere maiuscole (p.e. Lb.), in parte minuscole (lb.), generalmente con il punto (lb.), ma anche senza punto (lb). Per contrassegnare il plurale spesso viene aggiunta una s (lbs.).

Nelle pagine che seguono sono riportate altre unità. Le unità inglesi ed americane vengono differenziate spesso anteponendovi Imp. (Imperial) e US (United States).

#### Lunghezza

m.	mil	$\frac{1}{1000}$ di pollice
in. (o")	inch	pollice
ft. (o')	foot	piede
yd.	yard	iarda
fath.	fathom	braccio
stat. mi.	statute mile	miglio terrestre
naut. mi.	nautical mile	miglio marino

#### Superficie

sq. m.	square mil	$\frac{1}{1000}$ di pollice quadrato
sq. in.	square inch	pollice quadrato
sq. ft.	square foot	piede quadrato
sq. yd.	square yard	iarda quadrata
sq. mi.	square mil	miglio quadrato

#### Volume

cu. in.	cubic inch	pollice cubo
cu. ft.	cubic foot	piede cubo
cu. yd.	cubic yard	iarda cubica
gal. o gall.	gallon	gallone
bb. o brl.	barrel	barile
reg. ton.	register ton	tonn. di stazza
*st	stère	stero
fl.oz.	fluid ounce	oncia per liquidi

#### Peso, Forza

oz.	ounce	oncia
lb	pound (libre)	libbra
kip	kilopound	
cwt.	hundredweight	mezzo quintale
ltn	long ton	
shn	short ton	
*q	quintal	quintale
dwt.	pennyweight	(unità di peso)
*sn	sthène	(unità di forza)

#### Lavoro, Energia

hph	horsepower hour	cavallo-ora
ft.lb.	foot-pound	libbra-piede
btu	brit.thermal	unità di quantità
o b	unit	di calore
*th	thermie	tonnellata-caloria
*fg	frigorie	chilocaloria

#### Potenza

hp.	horsepower	cavallo
*cv	cheval vapeur	cavallo
dhp	drawbar horsepower	cavallo al gancio di traino

#### Pressione

psi	} pound per } square inch	libbre al
lb.p.sq.in.		piede quadrato
lb.p.	pound per	libbre alla
sq.yd.	square yard	iarda quadrata

#### Luce

cd	candela,	(unità di intensità
cp.	candlepower	luminosa)
*bd	bougie décimale	
*lu	lumen	lumen

#### Altre unità e simboli

hr	hour	ora
cpm	cycles per minute	oscillazioni per minuto
rpm	revolutions per minute	giri al minuto
fps	feet per second	pie di al secondo
fpm	feet per	pie di al
ft.p.min.	minute	minuto
mph	miles per hour	miglia all'ora

\* = unità francese

## 2. Rapporti tra le unità anglosassoni e quelle metriche

### 1. Generalità

Grandezza fisica	Unità anglosassone	Rapporti con le unità metriche
Lunghezza l	inch (pollice) foot (piede) mile (miglio)	1 in. = 25,40 mm 1 ft. = 30,48 cm 1 mi. = 1,6093 km
Superficie A	square inch square foot	1 sq. in. = 6,4516 cm <sup>2</sup> 1 sq. ft. = 929,03 cm <sup>2</sup>
Volume V	cubic inch cubic foot Imperial gallon (Brit.) US gallon	1 eu. in. = 16,387 cm <sup>3</sup> 1 eu. ft. = 28,317 dm <sup>3</sup> 1 Imp. gal. = 4,546 dm <sup>3</sup> 1 US. gal. = 3,7854 dm <sup>3</sup>
Velocità v	foot/second mile/hour knot (Nodo)	1 ft./sec. = 0,3048 m/s 1 mi./hr. = 1,6093 km/h 1 kn = 1 miglio marino
Accelerazione a	foot/second <sup>2</sup>	1 ft./sec. <sup>2</sup> = 30,48 cm/s <sup>2</sup> 32,17 ft./sec. <sup>2</sup> = 981 cm/s <sup>2</sup>
Forza, Peso F	grain ounce pound	1 gr. = 0,0648 g = 0,645 mN 1 oz. = 28,35 g = 0,283 N 1 lb. = 0,45359 kgf = 4,535 N
Temperatura t Temp. assoluta	degree (Grado) Fahrenheit degree Rankin	°F = 9/5 °C + 32 °Rank = 9/5 K
Pressione p	pound/square foot pound/square inch inch of water inch of mercury (60 °F = 15,56 °C) pound/square inch absolute	1 lb./sq. ft. = 48,82 N/m <sup>2</sup> 1 psi = 0,0689476 bar 1 in. W.G. = 25,40 mm H <sub>2</sub> O 1 in. Hg. = 344,33 mm H <sub>2</sub> O 33,09 mbar 14,696 psia = 760 Torr = 1,01 bar = 1,01 · 10 <sup>5</sup> Pa
Densità q	pound/cubic foot pound/cubic inch pound/gallon (Brit.) pound/gallon (US)	1 lb./cu. ft. = 16,019 kg/m <sup>3</sup> 1 lb./cu. in. = 27,68 g/cm <sup>3</sup> (kg/l) 1 lb./gal. = 99,78 kg/m <sup>3</sup> 1 lb./gal. = 119,83 kg/m <sup>3</sup>
Condizioni normali	NTP 60 °F = 15,56 °C 30 in. Hg. = 762 Torr dry-moist	0 °C (0K = -273,16 °C) 760 Torr = 1,01 bar = 1,01 · 10 <sup>5</sup> Pa secco
Volume normale	standard cubic foot (dry) standard cubic foot (moist)	1 st. eu. ft. = 0,02687 Nm <sup>3</sup> (secco) (0°, 760 secco) 1 st. eu. ft. = 0,02635 Nm <sup>3</sup> (umido)

## Parte II - Unità anglosassoni

### 2. Unità di volume

1 cubic inch = 1 in. <sup>3</sup>	16,387 cm <sup>3</sup>
1 cubic foot = 1 ft. <sup>3</sup> = 1728 in. <sup>3</sup>	0,028 m <sup>3</sup>
1 cubic yard = 1 yd. <sup>3</sup> = 27 ft. <sup>3</sup>	0,765 m <sup>3</sup>
1 register ton = 1 reg.t. = 100 ft. <sup>3</sup>	2,832 m <sup>3</sup>

### 3. Misure di capacità

#### a) Materiali secchi

1 quart US = 1 qt. = 0,03891 ft. <sup>3</sup>	1,1012 l
1 quart imperial = 1 qt. imp. = $\frac{1}{4}$ gallon imp.	1,1359 l
1 gallon US = 1 gal. (US) = 0,15556 ft. <sup>3</sup>	4,4048 l
1 gallon imperial = 1 gal. imp. = 277,274 in. <sup>3</sup>	4,5436 l
1 bushel US. = 1 bu. = 1,2445 ft. <sup>3</sup>	35,2384 l
1 bushel imperial = 1 bu. imp. = 4 pecks imp.	36,3487 l
1 quarter US = 1 qr. = 8 bu.	281,9050 l
1 quarter imperial = 1 qr. imp. = 32 pecks imp.	290,7892 l

#### b) Liquidi

1 pint US = 1 pt. = $\frac{1}{8}$ gal. (US)	0,4732 l
1 pint imperial = 1 pt. imp. = $\frac{1}{8}$ gal. imp.	0,5679 l
1 quart US = 1 qt. = $\frac{1}{4}$ gal. (US)	0,9463 l
1 quart imperial = 1 qt. imp. = $\frac{1}{4}$ gal. imp.	1,1359 l
1 gallon US = 1 gal. (US) = 231 in. <sup>3</sup>	3,7853 l
1 gallon imperial = 1 gal. imp. = 277,274 in. <sup>3</sup>	4,5436 l
1 barrel = 31,5 gal. (US)	119,2375 l

### 4. Pesì commerciali (Masse)

1 ounce = 1 oz.	28,3495 g
1 pound = 1 lb. = 16 oz.	453,5920 g
1 quarter short = 1 qr. = 25 lbs.	11,340 kg (USA)
1 quarter long = 1 qr. = 281bs.	12,700 kg (Brit.)
1 hundredweight short = 1 centweight = 1 cwt. = 100 lbs.	45,359 kg (USA)
1 hundredweight long = 1 cwt. = 112 lbs.	50,802 kg (Brit.)
1 ton short = 1 t. = 1 t short = 2000 lbs.	907,185 kg (USA)
1 ton long = 1 t = 1 t. long = 2240 lbs.	1016,048 kg (Brit.)
1 bag of cement (Brit.) = 1 cwt. of. c. = 112 lbs.	50,802 kg (Brit.)
1 bag of cement (US) = 1 sack of. c. = 94 lbs.	42,638 kg (USA)
1 barrel = 1 bbl. of cement = 4 bags	170,551 kg (USA)
1 drum = Botte = 375 lbs.	170,097 kg (Brit.)
1 drum = Fusto = 400 lbs.	181,437 kg (Brit.)

### 5. Valori dei carichi

#### a) Carichi per unità di lunghezza

1 pound per inch = 1 lb./in.	17,858 kgf/m = 175,187 N/m
1 pound per foot = 1 lb./ft. = $\frac{1}{12}$ lb./in.	1,488 kgf/m = 14,597 N/m
1 pound per yard = 1 lb./yd. = $\frac{1}{3}$ lb./ft.	0,496 kgf/m = 4,865 N/m
1 kilopound per foot = 1 kip./ft. = 1000 lbs./ft.	1,488 Mg/m = 14,597 kN/m
1 kilopound per yard = 1 kip./yd. = $\frac{1}{3}$ kip./ft.	0,496 Mg/m = 4,865 kN/m
1 ton long per foot = 1 t./ft. = 2240 kip./ft.	3,333 Mg/m = 32,696 kN/m
1 ton long per yard = 1 t./yd. = $\frac{1}{3}$ t./ft.	1,111 Mg/m = 10,898 kN/m

*b) Carichi per unità di superficie (pressione)*

1 pound per square inch = 1 psi. = 1 lb./in <sup>2</sup>	0,0703 kgf/cm <sup>2</sup> = 0,6896 N/cm <sup>2</sup>
1 pound per square foot = 1 psf. = 1 lb./ft. <sup>2</sup>	4,8826 kgf/m <sup>2</sup> = 47,8983 N/m <sup>2</sup>
1 pound per square yard = 1 lb./yd. <sup>2</sup>	0,5425 kgf/m <sup>2</sup> = 5,3219 N/m <sup>2</sup>
1 ton per square inch = 1 t./sq. in. = 1 tsi. = 2240 lbs./in. <sup>2</sup>	157,4810 kgf/cm <sup>2</sup> = 1544,889 N/cm <sup>2</sup>
1 ton per square foot = 1 t./sq.ft. = 1 tsf.	1,0937 kgf/cm <sup>2</sup> = 10,7291 N/cm <sup>2</sup>
1 kilopound per square inch = 1 kip./sq. in. = 1 kipsi.	70,3100 kgf/cm <sup>2</sup> = 689,7411 N/cm <sup>2</sup>
1 kilopound per square foot = 1 kip./sq. ft. = 1 kipsf.	4,8826 Mg/m <sup>2</sup> = 47,8983 kN/m <sup>2</sup>
1 at = 14,7 lbs./in. <sup>2</sup>	1,0335 kgf/cm <sup>2</sup> = 10,1386 N/cm <sup>2</sup>

**6. Pesì specifici (massa specif. = densità)**

1 ounce per cubic inch = 1 oz./in <sup>3</sup>	1,730 g/cm <sup>3</sup>
1 pound per cubic inch = 1 pci.	0,0277 kg/cm <sup>3</sup>
1 pound per cubic foot = 1 pcf.	16,018 kg/m <sup>3</sup>
1 pound per cubic yard = 1 lb./yd. <sup>3</sup>	0,593 kg/m <sup>3</sup>
1 pound per gallon US = 1b./gal.	0,1198 kg/l
1 pound per gallon imp. = 1 lb./gal. imp.	0,0998 kg/l
1 barrel per cubic yard = 1 bbl./yd. <sup>3</sup>	223,075 kg/m <sup>3</sup> (cem./m <sup>3</sup> calcestruz.)
1 bag (US) per cubic yard = 1 bag/yd. <sup>3</sup>	55,768 kg/m <sup>3</sup> (cem./m <sup>3</sup> calcestruz.)
1 bag (Brit.) per cubic yard = 1 bag/yd. <sup>3</sup>	66,477 kg/m <sup>3</sup> (cem./m <sup>3</sup> calcestruz.)
1 ton per cubic foot = 1 t./ft. <sup>3</sup>	38,882 t/m <sup>3</sup>
1 ton per cubic yard = 1 t./cu. yd. = 1 t./yd. <sup>3</sup>	1,329 t/m <sup>3</sup>

**7. Momenti**

1 inch <sup>3</sup> = 1 in. <sup>3</sup> = Momento resistente	16,387 cm <sup>3</sup>
1 inch <sup>4</sup> = 1 in. <sup>4</sup> = Momento d'inerzia	41,623 cm <sup>4</sup>
1 pound inch = 1 lb. in.	1,152 kgfcm = 11,301 Ncm
1 pound foot = 1 lb. ft. = 12 lb. in.	13,825 kgfcm = 135,623 Ncm
1 kilopound foot = 1 kip. ft. = 1000 lb. ft.	138,25 kgfm = 1356,232 Nm
1 kilopound yard = 1 kip. yd.	414,764 kgfm = 4068,834 Nm

**8. Varie (unità composte)**

1 micro inch per inch = 1 micro in./in.	0,001 mm/m
1 foot per second = 1 ft./sec.	0,3048 m/s
1 foot per minute = 1 ft./min.	0,00508 m/s
1 yard per minute = 1 yd./min. = 3 ft./min.	0,01526 m/s
1 mile per hour = 1 m./h = 1 mph.	1,609 km/h
1 revolution per second = 1 rps.	1 giro/s
1 vibration per second = 1 cycle/sec = 1 vps.	1 vibrazione/s
1 Horse power = 1 H.P. = = 33000 lbs. x 1 ft./min. = 745,7 Watt	= 1,014 PS = 0,746 kW
1 pouce = 1" (in Francia)	= 2,708 cm
1 pollice prussiano = 1" (in Germania)	= 2,615 cm



Parte III

Richiami di matematica

Richiami di trigonometria

# 1. Segni e simboli matematici

## Uguaglianza ed ineguaglianza

$\sim$	proporzionale	$<$	minore di
$\approx$	circa, approssimativo	$>$	maggiore di
$\cong$	corrispondente	$\equiv$	minore o uguale
$=$	uguale	$\equiv$	maggiore o uguale
$\equiv$	uguale identico	$\ll$	molto piccolo rispetto a
$\neq$	diverso	$\gg$	molto grande rispetto a

## Geometria

$\parallel$	parallelo	$\cong$	congruente
$\nparallel$	non parallelo	$\sim$	simile
$\uparrow\uparrow$	parallelo nello stesso senso	$\sphericalangle$	angolo
$\updownarrow$	parallelo in senso opposto	$\overline{AB}$	segmento $AB$
$\perp$	ad angolo retto, perpendicolare a	$\widehat{AB}$	arco $AB$
$\triangle$	triangolo		

## Algebra ed analisi matematica

$\Sigma$	sommatoria	$\pi$	= 3,14159...
$\Pi$	prodotto	$\begin{pmatrix} \end{pmatrix}$	matrice
$\sqrt{\quad}$	radice quadrata di	$\ $ o $\det$	determinante

$ \mathfrak{z} $	valore assoluto di $\mathfrak{z}$
$\text{arc } \mathfrak{z}$	arco di $\mathfrak{z}$
$\mathfrak{z}^*$	coniugata di $\mathfrak{z}$
$\text{Re } \mathfrak{z}$	parte reale di $\mathfrak{z}$ , $\text{Re } \mathfrak{z} = \frac{1}{2} (\mathfrak{z} + \mathfrak{z}^*)$
$\text{Im } \mathfrak{z}$	parte immaginaria di $\mathfrak{z}$ , $\text{Im } \mathfrak{z} = \frac{1}{2i} (\mathfrak{z} - \mathfrak{z}^*)$
$n!$	fattoriale di $n$
$\binom{n}{p}$	$n$ su $p$ (coefficiente binominale)

$j$ o $i$	Unità immaginaria, $j^2 = i^2 = -1$
$f(x)$	$f$ di $x$ , funzione della variabile $x$
$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$	$f$ di $x_1, x_2, \dots, x_n$ funzione delle $n$ variabili $x_1, x_2, \dots, x_n$

### Valori limite

$\infty$	infinito
$(a, b)$	intervallo aperto $a b$ . $(a, b)$ significa $a < x < b$
$[a, b]$ o $(a, b)$	intervallo chiuso $a b$ o segmento $a b$ , $[a, b]$ significa $a \leq x \leq b$
$\rightarrow$	verso; si avvicina, tende, converge verso
$\lim$	limite
$\sim$	uguale in modo asintotico
$f(x) = o[g(x)]$	$f(x)$ piccolo uguale a zero di $g(x)$ . $f(x) = o[g(x)]$ corrispondente $\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} = 0$
$f(x) = O[g(x)]$	$f(x)$ uguale a zero di $g(x)$ . $f(x) = O[g(x)]$ , quando il quoziente $f(x)/g(x)$ per $x \rightarrow a$ rimane limitato

### Calcolo differenziale

$\Delta f$	delta $f$ , differenza di due valori della funzione
$f'(x), f''(x)$	$f'$ virgoletta $x$ , $f''$ due virgolette $x$ . Derivata di primo, secondo ordine della funzione $f(x)$
$\dot{\varphi}(t), \ddot{\varphi}(t)$	$\varphi$ punto $t$ , $\varphi$ due punti $t$ . Prima, seconda derivata della funzione $\varphi(t)$
$y', y''$	$y$ virgoletta, $y$ due virgolette. Prima, seconda derivata di $y$ .
$d$	Segno differenziale
$df(x)$	Differenziale della funzione $f(x)$ , $df(x) = f'(x) dx$
$\frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}$	$dy$ rispetto $dx$ , $d^2$ seconda $y$ rispetto $dx$ elevato al quadrato Primo, secondo quoziente differenziale di $y$
$f_x, f_y$	$f$ rispetto $x$ , $f$ rispetto a $y$ . Derivazione parziale della funzione $f(x, y)$ rispetto a $x$ e rispettiv. $y$ . Sono anche usati $f'_x, f'_y$
$\frac{\delta f}{\delta x}$	$\delta f$ parziale rispetto $\delta x$
$f_{xx}, f_{xy}$	$f$ rispetto a $xx$ , $f$ rispetto a $xy$ ,
$f_{yx}, f_{yy}$	$f$ rispetto a $yx$ , $f$ rispetto a $yy$ . Derivazione parziale di secondo ordine. Sono pure usati $f''_{xx}, f''_{xy}$

## Parte III - Richiami di matematica

### Calcolo integrale

$\int$	Integrale
$\oint$	Integrale di linea chiusa, integrale d'involuppo
$\iint$	Integrale curvilineo

### Funzione esponenziale e funzione dei logaritmi

$a^x$	$a$ elevato a $x$
$\exp x$	Funzione esponenziale di $x$ . $\exp x = e^x$
$\log$	Logaritmo (in generale)
$\log_a$	Logaritmo alla base $a$
$\lg$	Logaritmo decimale (logaritmo comune o logaritmo di Briggs). $\lg x = \log_{10} x$
$\lg$	Logaritmo binario, $\lg x = \log_2 x$ , ( $b$ binario)
$\ln$	Logaritmo naturale, $\ln x = \log_e x$
$M_a$	Modulo del sistema logaritmico con base $a$ , $M_0 = 1/\ln a$ , $M_{10} = 0,43429 \dots = \lg e = 1/\ln 10$

### Funzioni trigonometriche ed iperboliche

sen	seno	arcsen	arcoseno
cos	coseno	senh	seno iperbolico
tg	tangente	arsenh	areaseno
ctgt	cotangente		

I segni matematici vengono stampati verticali.

## 2. Alfabeto greco

<b>A</b> $\alpha$ Alfa (a)	<b>B</b> $\beta$ Beta (b)	<b>Γ</b> $\gamma$ Gamma (g)	<b>Δ</b> $\delta$ Delta (d)	<b>E</b> $\epsilon$ Epsilon (e)	<b>Z</b> $\zeta$ Zeta (z)
<b>H</b> $\eta$ Eta (e)	<b>Θ</b> $\theta$ Theta (th)	<b>I</b> $\iota$ Iota (i)	<b>K</b> $\kappa$ Delta (k)	<b>Λ</b> $\lambda$ Lambda (l)	<b>M</b> $\mu$ Mu (m)
<b>N</b> $\nu$ Nu (n)	<b>Ξ</b> $\xi$ Csi (x)	<b>O</b> $\omicron$ Omicron (o)	<b>Π</b> $\pi$ Pi (p)	<b>P</b> $\rho$ Ro (r)	<b>Σ</b> $\sigma$ Sigma (s)
<b>T</b> $\tau$ Tau (t)	<b>Υ</b> $\upsilon$ Upsilon (ü)	<b>Φ</b> $\varphi$ Fi (f)	<b>X</b> $\chi$ Chi (ch)	<b>Ψ</b> $\psi$ Psi (ps)	<b>Ω</b> $\omega$ Omega (o)

### 3. Numeri romani

Se un numero con valore più piccolo si trova davanti ad un numero con valore numerico più grande occorre detrarre quello avente valore minore da quello avente valore maggiore.

Tutti i valori numerici più piccoli che sono posti dietro ad un numero con valore numerico più grande devono essere addizionati.

Romano	Arabo	Romano	Arabo	Romano	Arabo	Romano	Arabo
I	1	XI	11	XXX	30	CC	200
II	2	XII	12	XL	40	CCC	300
III	3	XIII	13	L	50	CD	400
IV	4	XIV	14	LX	60	D	500
V	5	XV	15	LXX	70	DC	600
VI	6	XVI	16	LXXX	80	DCCC	800
VII	7	XVII	17	XC	90	CM	900
VIII	8	XVIII	18	XCI	91	XM	990
IX	9	XIX	19	IC	99	IM	999
X	10	XX	20	C	100	M	1000

Esempio: 1984 - MCMLXXXIV

### 4. Costanti di uso frequente

$$\pi = 3,141592653589793...$$

$$e = 2,718281828459...$$

$$g = 9,80665...$$

$$1'' \text{ (pollice)} = 25,399978...$$

$$\sqrt{2} = 1,4142135624...$$

$$\sqrt{3} = 1,7320508076...$$

$$\pi \approx 3,14$$

$$e \approx 2,72$$

$$g \approx 9,81$$

$$1'' \approx 25,4$$

$$\sqrt{2} \approx 1,41$$

$$\sqrt{3} \approx 1,73$$

$\pi$  è un numero irrazionale e trascendente. Il suo valore numerico corrisponde a quello della circonferenza di un cerchio con il diametro  $d = 1$ .

Già Archimede (287-212 a.C.) stabilì che il valore numerico della circonferenza del cerchio si trova tra quello del poligono iscritto e quello del

poligono circoscritto. Esso è tanto più preciso quanto più angoli presenta il poligono, cioè quando il numero degli angoli va verso l'infinito;  $n \rightarrow \infty$  ( $n$  tende verso l'infinito).

Mediante un poligono a 96 punte Archimede trovò il limite inferiore e superiore per  $\pi$ .

$$3 + \frac{10}{71} < \pi < 3 + \frac{10}{70} \text{ rispet. } 3,140845... < 3,142857...$$

In generale è sufficiente effettuare il calcolo con  $\frac{22}{7}$  o con 3,14.

Praticamente tutte le esigenze vengono soddisfatte con 3,1416 come valore numerico. Soltanto al matematico puro interessano i numeri giganti provenienti dal Computer, come per esempio quelli iniziali di  $\pi = 3,141\ 592\ 653\ 589\ 793\ 238\ 462\ 643\ 383\ 279\ 502\ 884\ 197\ 169\ 399\ 375\ 105\ 820\ 97\ 4\ ...$

## 5. Prefissi letterali dei multipli e sottomultipli

E	Exa-	=	$10^{18}$	=	1 con 18 zeri	Trilione
P	Peta-	=	$10^{15}$	=	1 con 15 zeri	Biliardo
T	Tera-	=	$10^{12}$	=	1 000 000 000 000	Bilione
G	Giga-	=	$10^9$	=	1 000 000 000	Miliardo
M	Mega-	=	$10^6$	=	1 000 000	Milione
k	Kilo-	=	$10^3$	=	1 000	Mille
h	Etto-	=	$10^2$	=	100	Cento
da	Deca-	=	$10^1$	=	10	Dieci
			$10^0$	=	1	Uno
d	Deci-	=	$10^{-1}$	=	0,1	Decimo
c	Centi-	=	$10^{-2}$	=	0,01	Centesimo
m	Milli-	=	$10^{-3}$	=	0,001	Millesimo
$\mu$	Micro-	=	$10^{-6}$	=	0,000 001	Milionesimo
n	Nano-	=	$10^{-9}$	=	0,000 000 001	Miliardesimo
p	Pico-	=	$10^{-12}$	=	0,000 000 000 001	Bilionesimo
f	Femto-	=	$10^{-15}$	=	14 zeri dopo la virgola	Biliardesimo
a	Atto-	=	$10^{-18}$	=	17 zeri dopo la virgola	Trilionesimo

Negli USA, in Francia, Spagna, anche  $10^9 = 1$  bilione,  $10^{12} = 1$  trilione, nei paesi dell'America di lingua spagnola (non Brasile) si dice per miliardo "1000 milioni" e per biliardo "1000 bilioni".

## 6. Numerali

Per poter descrivere i numeri in modo comprensibile internazionalmente sia a parole che per iscritto, vengono impiegate le espressioni elencate nel seguito. Fa eccezione l'uso nella chimica organica, negli idrocarburi lineari o nei loro radicali, per i primi 4 numeri atomici del carbonio, dove si impiega invece

1 = Met-, 2 = Et-, 3 = Prop- e 4 = But.

**Esempio:** metil- in luogo di monil-, etano in luogo di diano o bianco, propanolo in luogo di trianolo e butanolo in luogo di tetranon.'

Non vi sono spiegazioni logiche per questo uso.

1 Mono-	11 Undeca-	21 Eneicosa-	31 Entriaconta-	41 Entetraconta-
2 Di- o Bi-	12 Dodeca-	22 Docosa-	32 Dotriaconta-	42 Dotetraconta-
3 Tri-	13 Trideca-	23 Tricosa-	33 Tritriaconta-	43 Tritetraconta-
4 Tetra-	14 Tetradeca-	24 Tetraoosa-	34 T etratriaconta-	44 Tetratetraconta-
5 Penta-	15 Pentadeca-	25 Pentacosa-	35 Pentatriaconta-	45 Pentatetraconta-
6 Esa-	16 Esadeca-	26 Esacosa-	36 Esatriaconta-	46 Esatetraconta-
7 Epta-	17 Eptadeca-	27 Eptacosa-	37 Eptatriaconta-	47 Eptatetraconta-
8 Octa-	18 Octadeca-	28 Octacosa-	38 Octatriaconta-	48 Octatetracontao-
9 Nona-	19 Nonadeca-	29 Nonacosa-	39 Nonatriaconta-	49 Nonatetraconta-
10 Deca-	20 Eicosa-	30 Triaconta-	40 Tetraconta-	50 Pentaconta-

## 7. Le operazioni fondamentali

Se un numero con valore più piccolo si trova davanti ad un numero con valore numerico più grande occorre detrarre quello avente valore minore da quello avente valore maggiore.

Tutti i valori numerici più piccoli che sono posti dietro ad un numero con valore numerico più grande devono essere addizionati.

Tipo di operaz.	Termine	Numero a	Numero b	Risultato	Esempio
1. Addizione o sommare	$a + b = s$	Addendi Termini		Somma	$16 + 2 = 18$
2. Sottrazione o detrarre	$a - b = d$	Minuendo	Sottraendo	Differenza	$16 - 2 = 14$
3. Moltiplicazione o moltiplicare	$a \cdot b = p$	Fattori Moltiplicando    Moltiplicatore		Prodotto	$16 \cdot 2 = 32$
4. Divisione o dividere	$a : b = q$	Dividendo (Numeratore)	Divisore (Denominatore)	Quoziente (Frazione)	$16 : 2 = 8$
5. Elevazione a potenza	$a^b$	Base	Esponente	Potenza	$16^2 = 256$
6. Estrazione di radice	$\sqrt[q]{a}$	Radicando	Esponente d. radice	Radice	$\sqrt[3]{16} = 4$
7. Calcolo logaritmico	$\log_b a$	Numero	Base	Logaritmo	$\log_2 16 = 4$

## 8. La divisibilità di numeri con più cifre

Un numero è divisibile

per 2 quando l'ultima cifra è un numero pari,

per 3 quando la somma delle cifre del numero è divisibile per 3,

per 4 quando le ultime due cifre sono divisibili per 4,

per 5 quando l'ultima cifra è un 5 od un 0,

per 6 quando esso è divisibile per 2 e 3,

per 8 quando le ultime 3 cifre sono divisibili per 8,

per 9 quando la somma delle cifre del numero è divisibile per 9.

## 9. Aritmetica: formule e regole

### a) Leggi fondamentali

Proprietà commutativa	$a + b = b + a$	$ab = ba$
Proprietà associativa	$a + (b + c) = (a + b) + c$	$a(bc) = (ab)c$
Proprietà distributiva	$ab + ac = a(b + c)$	

### b) Regole dei segni

#### Moltiplicazione

$$\begin{aligned} (+a)(+b) &= +ab \\ (+a)(-b) &= \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} -ab \\ (-a)(+b) &= \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} -ab \\ (-a)(-b) &= +ab \end{aligned}$$

#### Divisione

$$\begin{aligned} +a &= + \frac{a}{1} \\ +b &= + \frac{a}{b} \\ -a &= + \frac{a}{-1} \\ -b &= + \frac{a}{-b} \\ +a &= \frac{-a}{-1} = - \frac{a}{-1} \\ -b &= \frac{-a}{+b} = - \frac{a}{b} \end{aligned}$$

#### Parentesi

$$\begin{aligned} \pm ax \pm bx &= \pm x(a + b) \\ \pm ax \mp bx &= \pm x(a - b) \end{aligned}$$

#### Sviluppi

$$\begin{aligned} a + (b - c + d) &= a + b - c + d \\ a - (b - c + d) &= a - b + c - d \\ a \cdot (b - c + d) &= ab - ac + ad \\ (a + b - c) : d &= \frac{a}{d} + \frac{b}{d} - \frac{c}{d} \\ (a + b)(c - d) &= ac - ad + bc - bd \\ (2a^2 - ab - 6b^2) : (a - 2b) &= 2a + 3b \\ - (2a^2 - 4ab) & \\ \hline &+ 3ab - 6b^2 \\ - (3ab - 6b^2) & \\ \hline &0 \end{aligned}$$

#### Calcoli con lo zero

$$0 \cdot a = 0 \quad 0 : a = 0$$

Non si può dividere per zero, cioè la divisione  $a : 0$  non è eseguibile.

c) *Frazioni*

Accrescimento

$$\frac{a}{b} = \frac{ac}{bc}$$

Riduzione

$$\frac{a}{b} = \frac{a : c}{b : c}$$

Somma e sottrazione

$$\frac{a}{c} \pm \frac{b}{c} = \frac{a \pm b}{c}$$
$$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$$

Moltiplicazione

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$$
$$\frac{a}{b} : c = \frac{ac}{b}$$

Divisione

$$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c} = \frac{ad}{bc}$$
$$\frac{a}{b} : c = \frac{a}{b} \cdot \frac{1}{c} = \frac{a}{bc}$$

d) *Proporzioni*

Permutando i termini si ha

$$a : b = c : d \text{ od } \frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d} \quad \frac{d}{c} = \frac{b}{a}$$
$$\frac{d}{b} = \frac{c}{a} \quad ad = bc$$

Componendo i termini risulta

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}, \quad \frac{a}{a+b} = \frac{c}{c+d} \quad \text{od} \quad \frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$$

Scomponendo risulta

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}, \quad \frac{a}{a-b} = \frac{c}{c-d}, \quad \frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$$

Componendo e scomponendo risulta

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}, \quad \frac{a+b}{a-b} = \frac{c+d}{c-d}$$

Dai termini medi  $a - x = x - b$  risulta la media aritmetica

$$x = \frac{a + b}{2}$$

$a : x = x : b$  risulta la media geometrica  $x = \sqrt{ab}$

$(a - x) : (x - b) = a : b$  risulta la media armonica

$$x = \frac{2ab}{a + b}$$

e) *Binomi, polinomi (prodotti notevoli)*

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + 2ab + 2ac + b^2 + 2bc + c^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

$$(a + b)^n = a^n + \binom{n}{1} a^{n-1}b + \binom{n}{2} a^{n-2}b^2 + \binom{n}{3} a^{n-3}b^3 + \dots + b^n$$

$$(a - b)^n = (a - b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

f) *Potenze*

Definizione

$$a^n = \underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ fattori}}$$

Segni

$$(\pm a)^{2n} = + a^{2n} \quad (\pm a)^{2n-1} = \pm a^{2n-1}$$

Casi speciali

$$a^1 = a \quad 1^n = 1 \quad 0^n = 0$$

Ampliamento della definizione  $a^0 = 1 \quad a^{-n} = \frac{1}{a^n}$  (per  $a \neq 0$ )

Regole per gli esponenti

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n} \quad \text{p.e. } a^4 \cdot a^3 = a^7$$

$$a^m : a^n = a^{m-n} \quad a^4 : a^3 = a$$

$$a^n \cdot b^n = (ab)^n \quad a^3 \cdot b^3 = (ab)^3$$

$$a^n : b^n = \left(\frac{a}{b}\right)^n \quad a^3 : b^3 = \left(\frac{a}{b}\right)^3$$

$$(a^m)^n = (a^n)^m = a^{mn} \quad (a^2)^3 = (a^3)^2 = a^6$$

### g) Radici

Definizione  $(\sqrt[n]{a})^n = a$

Il moltiplicare, il dividere, l'elevare a potenza e l'estrarre la radice di radici possono essere ridotti a calcoli con potenze frazionarie:

$$\sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}}$$

Regole per le radici

$$\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = a^{\frac{1}{n}} \cdot b^{\frac{1}{n}} = (ab)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{ab}$$

$$\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = a^{\frac{1}{n}} : b^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$$

$$(\sqrt[n]{a})^m = \left(a^{\frac{1}{n}}\right)^m = a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \left(a^{\frac{1}{n}}\right)^{\frac{1}{m}} = a^{\frac{1}{mn}} = \sqrt[mn]{a}$$

$$\sqrt[n]{a^{mp}} = a^{\frac{mp}{n}} = a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}$$

### h) Logaritmi

Definizione  $n = \log_a b$ , quando  $a^n = b$

Sistemi

Logaritmi decimali o di Brigg

Base  $a = 10$ :

$\log_{10} b = \lg b = n$ , quando  $10^n = b$ ;

logaritmi naturali, base  $a = e$ :

$\log_e b = \ln b = n$ , quando  $e^n = b$ .

Leggi logaritmiche

$$\log(b \cdot c) = \log b + \log c$$

$$\log \frac{b}{c} = \log b - \log c$$

$$\log c^n = n \cdot \log c$$

$$\log \sqrt[n]{c} = \frac{1}{n} \cdot \log c$$

Casi speciali

$$a^{\log_a b} = b; \quad 10^{\lg b} = b; \quad e^{\ln b} = b;$$

$$\log_a (a^n) = n; \quad \lg 10^n = n; \quad \ln e^n = n;$$

$$\log_a a = 1; \quad \lg 10 = 1; \quad \ln e = 1;$$

$$\log_a 1 = 0; \quad \lg 1 = 0; \quad \ln 1 = 0.$$

Conversione

di logaritmi decimali in logaritmi naturali

$$\ln a = \ln 10 \cdot \lg a; \ln 10 = \frac{1}{M} \approx 2,3026.$$

di logaritmi naturali in logaritmi decimali

$$\lg a = \lg e \cdot \ln a \quad \lg e = M \approx 0,4343.$$

Logaritmi particolari

$$\lg 1 = 0; \quad \lg 0,1 = 0,00 - 1 = 9,00 - 10$$

$$\lg 10 = 1; \quad \lg 0,01 = 0,00 - 2 = 8,00 - 10$$

$$\lg 100 = 2; \quad \lg 0,001 = 0,00 - 3 = 7,00 - 10$$

$$\lg 1000 = 3;$$

## 10. Progressioni aritmetiche, geometriche, infinite

a) *Progressione aritmetica*

$$s_n = a + (a + d) + (a + 2d) + \dots + a_n$$

$$\text{Termine finale} = a_n = a + (n - 1) d$$

$$\text{Ragione} = d = a_{k+1} - a_k$$

$$\text{Somma} = s_n = \frac{n}{2} (a + a_n)$$

Somma:

$$\text{Numeri naturali:} \quad 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n}{2} (n + 1)$$

$$\text{Numeri pari:} \quad 2 + 4 + 6 + \dots + 2n = n (n + 1)$$

$$\text{Numeri dispari:} \quad 1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) = n^2$$

$$\text{Numeri al quadrato:} \quad 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{1}{6} n (n + 1) (2n + 1)$$

$$\text{Numeri al cubo:} \quad 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = \frac{1}{4} n^2 (n + 1)^2$$

b) *Progressione geometrica finita*

$$s_n = a + a \cdot q + a \cdot q^2 + \dots + a_n$$

$$\text{Termine finale} = a_n = a q^{n-1}$$

$$\text{Ragione} = q = \frac{a_k + 1}{a_k}$$

$$\text{Somma} = s_n = \frac{a (q^n - 1)}{q - 1}$$

c) *Progressione geometrica infinita*

$$n \rightarrow \infty$$

$$\text{Somma} = s_{\infty} = \frac{a}{1 - q} \text{ per } |q| < 1$$

d) *Progressioni infinite*

Progressione binomiale

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm \binom{n}{1} x + \binom{n}{2} x^2 \pm \dots + (-1)^k \binom{n}{k} x^k \pm \dots \text{ inf.}$$

Progressione esponenziale

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots = 2,718281828$$

Progressione sinusoidale

$$\sin x = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots \text{ inf.}$$

Progressione cosinusoidale

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \text{ inf.}$$

Progressione logaritmica p.es.

$$\ln(1 + x) = \frac{x}{1} - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots \text{ inf.}$$

Progressione per  $\pi$

$$\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} + \dots \text{ inf.}$$

## 11. Algebra: risoluzione di equazioni

a) *Identità (leggi di calcolo, formule)*

$$(a + b)(c + d) = ac + ad + bc + bd$$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$V = F \cdot h$$

b) *Equazioni (formulazione matematica di problemi di calcolo)*

**I. Equazioni lineari** (equazioni di primo grado) (Verifica)  
**con una** incognita

$$x - b = a \quad \text{risulta} \quad x = a + b \quad \begin{array}{l} (a + b) - b = a \\ a = a \end{array}$$

$$x + b = a \quad \text{risulta} \quad x = a - b \quad \begin{array}{l} (a - b) + b = a \\ a = a \end{array}$$

$$x \cdot b = a \quad \text{risulta} \quad x = \frac{a}{b} \quad \begin{array}{l} \frac{a}{b} \cdot b = a \\ a = a \end{array}$$

$$\frac{x}{b} = a \quad \text{risulta} \quad x = a \cdot b \quad \begin{array}{l} \frac{ab}{b} = a \\ a = a \end{array}$$

$$\frac{b}{x} = a \quad \text{risulta} \quad x = \frac{b}{a} \quad \begin{array}{l} \frac{b}{\frac{b}{a}} = a \\ a = a \end{array}$$

$$\frac{a}{x} = \frac{c}{b} \quad \text{risulta} \quad x = \frac{ab}{c} \quad \begin{array}{l} \frac{a}{\frac{ab}{c}} = \frac{c}{b} \\ \frac{c}{b} = \frac{c}{b} \end{array}$$

**II. Sistemi lineari** (equazioni di primo grado) **con due** o più incognite (il numero delle equazioni indipendenti l'una dall'altra e non in contrasto deve corrispondere al numero delle incognite)

Equazioni I:  $3x + 4y = 36$

Equazioni II:  $6x - y = 45$

## 1. Procedimento di sostituzione (metodo di sostituzione)

dall'equazione II  $y = 6x - 45$

sostituito nell'equazione I

$$\begin{aligned}3x + 4(6x - 45) &= 36 \\3x + 24x - 180 &= 36 \\27x &= 216 \\x &= 8\end{aligned}$$

questo valore nell'equazione I

$$\begin{aligned}3 \cdot 8 + 4y &= 36 \\4y &= 12 \\y &= 3\end{aligned}$$

Verifica:

$$\begin{aligned}\text{equazione I } 3 \cdot 8 + 4 \cdot 3 &= 36 \\36 &= 36 \\ \text{equazione II } 6 \cdot 8 - 3 &= 45 \\45 &= 45\end{aligned}$$

## 2. Procedimento di confronto

Risolta l'equazione I rispetto ad  $y$

$$\frac{3x + 4y}{4} = \frac{36}{4}$$

$$y = 9 - \frac{3}{4}x$$

Risolta l'equazione II rispetto ad  $y$

$$y = 6x - 45$$

Confronto

$$9 - \frac{3}{4}x = 6x - 45$$

$$x \left( 6 + \frac{3}{4} \right) = 54$$

$$x = 8$$

sostituito questo valore nell'equazione I

$$y = 9 - \frac{3}{4} \cdot 8$$

$$y = 3$$

Verifica v. procedimento di sostituzione

### 3. Procedimento di addizione

Equazione I moltiplicata per 2  
 Equazione II moltiplicata per (-1)  
 Somma

$$\begin{array}{r} 6x + 8y = 72 \\ -6x + y = -45 \\ \hline 9y = 27 \\ y = 3 \end{array}$$

sostituendo questo valore nell'equazione I

$$\begin{array}{r} 3x + 4 \cdot 3 = 36 \\ 3x = 24 \\ x = 8 \end{array}$$

Verifica v. procedimento di sostituzione

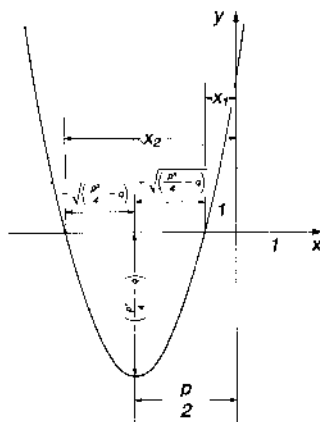
### III. Equazioni di secondo grado o quadratiche

Esempio:  $x^2 = a$  Soluzione:  $x_1 = + \sqrt{a}$   
 $x_2 = - \sqrt{a}$

Forma normale dell'equazione di secondo grado completa

$$x^2 + px + q = 0$$

Soluzione grafica:



$$x_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

$$x_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

$$\text{Discriminante } D = \left( \frac{p^2}{4} - q \right)$$

L'equazione quadratica ha

2 diverse radici reali

$$\text{quando } D = \left( \frac{p^2}{4} - q \right) > 0$$

1 radice reale

$$\text{quando } D = 0$$

nessuna radice reale

$$\text{quando } D < 0$$

Soluzione per via di calcolo:

ordinare  $x^2 + px = -q$

elevare al quadrato  $+ \left(\frac{p}{2}\right)^2 = + \frac{p^2}{4}$  e aggiungere ai due termini

$$x^2 + px + \left(\frac{p}{2}\right)^2 = \frac{p^2}{4} - q$$

$$\left(x + \frac{p}{2}\right)^2 = \frac{p^2}{4} - q$$

Estrarre la radice  $x + \frac{p}{2} = \pm \sqrt{\left(\frac{p^2}{4} - q\right)}$

$$x_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\left(\frac{p^2}{4} - q\right)}$$

$$x_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\left(\frac{p^2}{4} - q\right)}$$

Nota

Tra le radici  $x_1$  e  $x_2$  ed i coefficienti  $p$  e  $q$  di un'equazione quadratica:

$$x^2 + px + q = 0$$

esistono i rapporti:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= -p \\ x_1 x_2 &= q \end{aligned}$$

#### IV. Equazioni di terzo grado o cubiche

$$Ax^3 + Bx^2 + Cx + D = 0$$

Forma normale  $x^3 + ax^2 + bx + c = 0$

Sostituendo  $x = y - \frac{a}{3}$

Equazione ridotta  $y^3 - py + q = 0$

Discriminante  $D = \left(\frac{q}{2}\right)^2 - \left(\frac{p}{3}\right)^3$

$D > 0$ : Formule di Cardano

$$u = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}} \quad v = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}}$$

Soluzioni:  $y_1 = u + v$

$$y_{2,3} = -\frac{u+v}{2} \pm \frac{u-v}{2} i \sqrt{3}$$

$D = 0$ : 2 radici uguali

$$u = v = \sqrt[3]{-\frac{q}{2}}$$

Soluzioni:  $y_1 = 2u$        $y_{2,3} = -u$

$D < 0$ : Casus irreducibilis

$$\text{si pone } \cos \varphi = \frac{-\frac{q}{2}}{\sqrt{\left(\frac{p}{3}\right)^3}}$$

Soluzioni:

$$y_1 = 2 \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \frac{\varphi}{3}$$

$$y_2 = 2 \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \left( \frac{\varphi}{3} + 120^\circ \right) = -2 \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \left( 60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right)$$

$$y_3 = 2 \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \left( \frac{\varphi}{3} + 240^\circ \right) = -2 \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \left( 60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right)$$

Serie

$$a = -(x_1 + x_2 + x_3)$$

$$b = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3$$

$$c = -x_1x_2x_3$$

Fattori lineari

$$x^3 + ax^2 + bx + c = (x - x_1)$$

$$\cdot (x - x_2) (x - x_3) = 0$$

## 12. Numeri immaginari

Potenze dell'unità immaginaria

$$j^1 = \sqrt{-1} = j \quad j^{4n+1} = j$$

$$j^2 = -1 \quad j^{4n+2} = -1$$

$$j^3 = -j \quad j^{4n+3} = -j$$

$$j^4 = +1 \quad j^{4n} = +1$$

Numeri immaginari

$$\sqrt{-a} = j \sqrt{a}$$

$$(\sqrt{-a})^2 = -a$$

$$\sqrt{-a} \sqrt{-b} = -\sqrt{ab}$$

$$\frac{\sqrt{-a}}{\sqrt{-b}} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

Numero complesso  $a + bi$  ( $a$  parte reale,  $b$  parte immaginaria)

Due numeri complessi  $a + bi$  ed  $a - bi$ , che si distinguono soltanto nel segno della parte immaginaria, vengono chiamati numeri complessi coniugati.

$$(a + bi)(a - bi) = a^2 + b^2$$

Formula di Eulero

$$(a \pm bi) = r(\cos \varphi \pm i \sin \varphi) = r e^{\pm i\varphi}$$

Rapporti

$$\begin{aligned} a &= r \cos \varphi & r &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ b &= r \sin \varphi & \operatorname{tg} \varphi &= \frac{b}{a} \end{aligned}$$

### 13. Risoluzione di sistemi lineari con 3 incognite

**Forma generale** (per 3 incognite)

$$\left. \begin{aligned} a_1 \cdot x + b_1 \cdot y + c_1 \cdot z &= C_1 \\ a_2 \cdot x + b_2 \cdot y + c_2 \cdot z &= C_2 \\ a_3 \cdot x + b_3 \cdot y + c_3 \cdot z &= C_3 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Ci devono essere sempre tante equa-} \\ \text{zioni quante sono le incognite.} \end{array}$$

Per la risoluzione vengono presi in considerazione nella tecnica praticamente 3 modi:

#### 1. Il procedimento di sostituzione

Esempio:

$$\left. \begin{aligned} 20 \cdot x + 4 \cdot y + 1 \cdot z &= 444 \quad (1) \\ 4 \cdot x + 40 \cdot y + 2 \cdot z &= 488 \quad (2) \\ 1 \cdot x + 2 \cdot y + 10 \cdot z &= 80 \quad (3) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Come è facilmente controllabile,} \\ \text{le soluzioni esatte sono:} \\ x = 20, y = 10, z = 4. \end{array}$$

Da (1):

$$x = -0,2 \cdot y - 0,05 \cdot z + 22,2 \quad (4)$$

(4) sostituito in (2) dà:  $-0,8 \cdot y + 40 \cdot y - 0,2 \cdot z + 2 \cdot z + 88,8 = 488$

$$39,2 \cdot y + 1,8 \cdot z = 399,2 \quad (5)$$

(4) sostituito in (3) dà:  $-0,2 \cdot y + 2 \cdot y - 0,05 \cdot z + 10 \cdot z + 22,2 = 80$

$$1,8 \cdot y + 9,95 \cdot z = 57,8 \quad (6)$$

Con ciò il problema è ridotto alla risoluzione di 2 equazioni con 2 incognite.

Da (5):

$$y = \frac{399,2 - 1,8 \cdot z}{39,2} = 10,18 - 0,0459 \cdot z \quad (7)$$

(7) sostituito in (6) dà:  $18,32 - 0,0826 \cdot z + 9,95 \cdot z = 57,8$

$$9,8674 \cdot z = 57,8 - 18,32 = 39,48$$

$$z = 4$$

z sostituito in (5) dà:

$$39,2 \cdot y = 399,2 - 1,8 \cdot 4 = 392$$

$$y = 10$$

y e z sostituiti in (4) danno:

$$x = -0,2 \cdot 10 - 0,05 \cdot 4 + 22,2 = 20$$

Questo tipo di risoluzione è il più semplice e il più chiaro. Con un numero maggiore di equazioni si fa uso della calcolatrice allo scopo di ottenere una maggiore precisione del calcolo.

## 2. Il procedimento d'iterazione o procedimento di approssimazione graduale

Questo procedimento conduce alla soluzione soltanto quando in ogni equazione il coefficiente di un'incognita è molto più grande dei coefficienti delle altre. Nel precedente esempio nella 1<sup>a</sup> equazione prevale il coefficiente di x, nella 2<sup>a</sup> quello di y e nella 3<sup>a</sup> quello di z.

Ciò si verifica in modo particolare nelle cosiddette equazioni di elasticità della statica che sono composte in modo simmetrico rispetto ad una diagonale del sistema di equazioni, come viene mostrato dal precedente esempio sul quale il procedimento d'iterazione viene sviluppato per confronto.

Si trasformano le equazioni da (1) fino a (3) in:

$$x = 22,2 - 0,2 \cdot y - 0,05 \cdot z \quad (8)$$

$$y = 12,2 - 0,1 \cdot x - 0,05 \cdot z \quad (9)$$

$$z = 8 - 0,1 \cdot x - 0,2 \cdot y \quad (10)$$

In prima approssimazione vengono posti:

$$\text{in (8) } y \text{ e } z = 0, \text{ in (9) } x \text{ e } z = 0, \text{ in (10) } x \text{ e } y = 0.$$

Con ciò risulta:

$$\text{da (8): } x_0 = 22,2; \text{ da (9): } y_0 = 12,2; \text{ da (10): } z_0 = 8.$$

Con questi valori si entra ora nelle equazioni (8) fino (10) e si ottengono le soluzioni di prima approssimazione:

$$x_1 = 22,2 - 0,2 \cdot 12,2 - 0,05 \cdot 8 = 19,36$$

$$y_1 = 12,2 - 0,1 \cdot 22,2 - 0,05 \cdot 8 = 9,58$$

$$z_1 = 8 - 0,1 \cdot 22,2 - 0,2 \cdot 12,2 = 3,34$$

Questi valori vengono nuovamente sostituiti in (8) fino (10), con cui risultano le soluzioni in seconda approssimazione:

$$x_2 = 22,2 - 0,2 \cdot 9,58 - 0,05 \cdot 3,34 = 20,11$$

$$y_2 = 12,2 - 0,1 \cdot 19,36 - 0,05 \cdot 3,34 = 10,09$$

$$z_2 = 8 - 0,1 \cdot 19,36 - 0,2 \cdot 9,58 = 4,08$$

Questi valori sono già vicini alle soluzioni precise 20, 10 e 4. Si ripete il procedimento fino a che si raggiunge la precisione desiderata. Nel nostro caso il prossimo calcolo sarebbe praticamente già sufficiente.

### 3. Il procedimento dei determinanti

Ipotesi: 2 equazioni con 2 incognite

$$a_1 \cdot x + b_1 \cdot y = C_1$$

$$a_2 \cdot x + b_2 \cdot y = C_2$$

$x$  e  $y$  possono essere rappresentate nella forma:

$$x = \frac{Dx}{Dn}; \quad y = \frac{Dy}{Dn}$$

le riduzioni

$$Dx = \begin{vmatrix} C_1 & b_1 \\ C_2 & b_2 \end{vmatrix} \quad Dy = \begin{vmatrix} a_1 & C_1 \\ a_2 & C_2 \end{vmatrix} \quad Dn = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}$$

vengono indicate come "determinanti", che vengono calcolati e rispettivamente "risolti" secondo uno schema del tutto particolare.

Nel presente caso risultano:

$$Dx = C_1 \cdot b_2 - C_2 \cdot b_1; \quad Dy = -C_1 \cdot a_2 + C_2 \cdot a_1 \\ Dn = a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1$$

Ipotesi: 3 equazioni con 3 incognite

$$\left. \begin{aligned} a_1 \cdot x + b_1 \cdot y + c_1 \cdot z &= C_1 \\ a_2 \cdot x + b_2 \cdot y + c_2 \cdot z &= C_2 \\ a_3 \cdot x + b_3 \cdot y + c_3 \cdot z &= C_3 \end{aligned} \right\}$$

Soluzione:

$$x = \frac{Dx}{Dn}; \quad y = \frac{Dy}{Dn}; \quad z = \frac{Dz}{Dn}$$

rispettivamente:

$$x = \frac{\begin{vmatrix} C_1 & b_1 & c_1 \\ C_2 & b_2 & c_2 \\ C_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{Dn}; \quad y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & C_1 & c_1 \\ a_2 & C_2 & c_2 \\ a_3 & C_3 & c_3 \end{vmatrix}}{Dn}; \quad z = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & C_1 \\ a_2 & b_2 & C_2 \\ a_3 & b_3 & C_3 \end{vmatrix}}{Dn}$$

dove:

$$Dn = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

Risultano i 3 determinanti

$$\left. \begin{aligned} Dx &= C_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) + C_2 \cdot (b_3 \cdot c_1 - b_1 \cdot c_3) + C_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1) \\ Dy &= C_1 \cdot (c_2 \cdot a_3 - c_3 \cdot a_2) + C_2 \cdot (c_3 \cdot a_1 - c_1 \cdot a_3) + C_3 \cdot (c_1 \cdot a_2 - c_2 \cdot a_1) \\ Dz &= C_1 \cdot (a_2 \cdot b_3 - a_3 \cdot b_2) + C_2 \cdot (a_3 \cdot b_1 - a_1 \cdot b_3) + C_3 \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) \\ Dn &= a_1 \cdot b_2 \cdot c_3 - a_1 \cdot b_3 \cdot c_2 + a_2 \cdot b_3 \cdot c_1 - a_2 \cdot b_1 \cdot c_3 + a_3 \cdot b_1 \cdot c_2 - a_3 \cdot b_2 \cdot c_1 \end{aligned} \right\} (12)$$

### Parte III - Richiami di matematica

Ipotesi: più di 3 incognite, con più di 3 equazioni

Un calcolo diretto dei determinanti in forma chiusa conforme alle equazioni (11c) e (12) risulterebbe troppo complicato. Perciò si trasformano i determinanti con più di 3 termini gradatamente in determinanti a 2 termini, come viene mostrato nell'esempio che segue.

Noti i determinanti a 4 termini:

$$\text{Colonna:} \quad D = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 220,4 & 88,78 & 38,68 & 11,61 \\ 88,78 & 105,77 & 38,84 & 11,26 \\ 38,68 & 38,84 & 55,09 & 10,91 \\ 11,61 & 11,26 & 10,91 & 26,39 \end{vmatrix}$$

occorre moltiplicare:

$$\text{colonna 1 con } -\frac{88,78}{220,4} = -0,403 \text{ e aggiungere a colonna 2}$$

$$\text{colonna 1 con } -\frac{38,68}{220,4} = -0,1755 \text{ e aggiungere a colonna 3}$$

$$\text{colonna 1 con } -\frac{11,61}{220,4} = -0,05275 \text{ e aggiungere a colonna 4}$$

Questo procedimento si basa sulla seguente proprietà:

Un determinante non cambia il suo valore quando agli elementi di una colonna vengono aggiunti gli elementi di una colonna parallela moltiplicati per un numero qualunque.

$$\text{Es.} \quad \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 + p \cdot b_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 + p \cdot b_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 + p \cdot b_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

Si ottiene:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 220,4 & 88,78 & 38,68 & 11,61 \\ & -88,78 & -38,68 & -11,61 \\ & 0 & 0 & 0 \\ 88,78 & 105,77 & 38,84 & 11,26 \\ & -35,80 & -15,60 & -4,685 \\ & 69,97 & 23,24 & 6,575 \\ 38,68 & 38,84 & 55,09 & 10,91 \\ & -15,60 & -6,79 & -2,04 \\ & 23,24 & 48,30 & 8,870 \\ 11,61 & 11,26 & 10,91 & 26,39 \\ & -4,685 & -2,04 & -0,613 \\ & 6,575 & 8,87 & 25,78 \end{vmatrix}$$

quindi il determinante:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ \boxed{220,4} & 0 & 0 & 0 \\ 88,78 & 69,97 & 23,24 & 6,575 \\ 38,68 & 23,24 & 48,30 & 8,870 \\ 11,61 & 6,575 & 8,87 & 25,78 \end{vmatrix}$$

Questo determinante può essere rappresentato mediante il prodotto del termine di base 220,4 con un nuovo determinante a solo 3 termini; quindi

$$D = 220,4 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 69,97 & 23,24 & 6,575 \\ 23,24 & 48,30 & 8,870 \\ 6,575 & 8,87 & 25,78 \end{vmatrix}$$

Ora occorre moltiplicare come sopra

$$\text{colonna 1 con } - \frac{23,24}{69,97} = -0,332 \text{ e aggiungere a colonna 2}$$

$$\text{colonna 1 con } - \frac{6,575}{69,97} = -0,094 \text{ e aggiungere a colonna 3.}$$

Si ottiene quindi

$$D = 220,4 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ \boxed{69,97} & 0 & 0 \\ 23,24 & 40,585 & 6,685 \\ 6,575 & 6,685 & 25,162 \end{vmatrix}$$

Per questo si può scrivere:

$$D = 220,4 \cdot 69,97 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 40,585 & 6,685 \\ 6,685 & 25,162 \end{vmatrix}$$

Così il determinante a 4 termini dato è trasformato in un determinante di soli due termini. Risolvendo questo, si ottiene il determinante cercato.

## 14. Calcolo combinatorio

Il calcolo combinatorio è la teoria delle diverse possibilità di disporre ed unire in gruppi gli elementi. Ne fanno parte le permutazioni, le combinazioni e le variazioni.

### a) Permutazioni

Con permutazione s'intende lo scambio di tutti gli elementi. Il numero di tutte le permutazioni di  $n$  elementi diversi è

$$P(n) = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n = n!$$

Se in  $n$  elementi compaiono  $a, b, \dots$  uguali, per esempio  $\alpha_1$  volte  $a, \alpha_2$  volte  $b$ , si ha una permutazione con ripetizione. Allora si ha

$$P(n; \alpha_1, \dots, \alpha_k) = \frac{n!}{\alpha_1! \alpha_2! \dots \alpha_k!}$$

### b) Combinazioni

Una scelta di  $k$  elementi da  $n$  elementi dove  $k \leq n$ , viene chiamata combinazione alla  $k$ -esima classe. Il numero delle combinazioni di  $n$  elementi alla  $k$ -esima classe è (senza ripetizione)

$$K(n; k) = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

Con ripetizione il numero delle combinazioni di  $n$  elementi alla  $k$ -esima classe è:

$$\begin{aligned} \bar{K}(n; k) &= \binom{n+k-1}{k} = \frac{(n+k-1)!}{k! (n-1)!} \\ &= \frac{(n+k-1)(n+k-2) \dots n}{k!} \end{aligned}$$

### c) Variazioni

Le variazioni sono combinazioni permutate. Il numero delle variazioni di  $n$  elementi alla  $k$ -esima classe è (senza ripetizione):

$$V(n; k) = \binom{n}{k} k! = \frac{n!}{(n-k)!} \dots = n(n-1) \dots (n-k+1)$$

Con ripetizione il numero delle variazioni di  $n$  elementi alla  $k$ -esima classe è:

$$\bar{V}(n; k) = n^k.$$

## Numerazione binaria

Il modo usuale per scrivere i numeri è basato sull'impiego di 10 simboli, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; con questi 10 simboli siamo in grado di rappresentare qualsiasi quantità, per quanto grande o per quanto piccola e siamo in grado di eseguire tutte le operazioni; questo sistema è detto decimale.

Il sistema di numerazione binaria consente di rappresentare qualsiasi quantità, di eseguire tutte le operazioni mediante l'uso di due soli simboli 0 e 1.

### Conversione in forma binaria di un numero decimale e viceversa

Se si vuole sapere preventivamente di quante cifre sarà composto il numero binario corrispondente a un numero decimale dato, si determina la massima potenza  $2^n$  in esso contenuta. Il numero binario avrà  $n + 1$  cifre. Ad esempio nel numero 459 la massima potenza è  $2^8$ , quindi il corrispondente binario avrà  $8 + 1 = 9$  cifre.

Per convertire in modo semplice un numero decimale in forma binaria, si effettuano divisioni successive per 2 fino a quando il quoziente non viene zero, secondo il procedimento che segue.

Sia ad esempio ancora 459 il numero decimale da convertire.

$459 : 2 = 229$ con resto 1; la prima cifra da destra sarà	1
$229 : 2 = 114$ con resto 1; la seconda cifra sarà	1
$114 : 2 = 57$ con resto 0; la terza cifra sarà	0
$57 : 2 = 28$ con resto 1; la quarta cifra sarà	1
$28 : 2 = 14$ con resto 0; la quinta cifra sarà	0
$14 : 2 = 7$ con resto 0; la sesta cifra sarà	0
$7 : 2 = 3$ con resto 1; la settima cifra sarà	1
$3 : 2 = 1$ con resto 1; l'ottava cifra sarà	1
$1 : 2 = 0$ con resto 1; la nona cifra sarà	1

L'equivalente binario di 459 è  $[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1]_2$

### Parte III - Numerazione binaria

Per trasformare un numero scritto in codice binario in numero decimale si procede nel seguente modo:

si moltiplica la prima cifra di destra per  $2^0$

" seconda "  $2^1$

" terza "  $2^2$

.....

.....

" n-esima "  $2^{n-1}$

e si sommano i valori trovati.

Sia dato il numero binario  $[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1]_2$ , da trasformare nel sistema decimale.

$$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^8 =$$

$$1 + 2 + 0 + 8 + 0 + 0 + 64 + 128 + 256 = 459$$

Osservazioni: nella numerazione binaria i numeri pari terminano sempre con zero, quelli dispari terminano tutti con 1, i numeri multipli di  $2^n$  terminano con n zero.

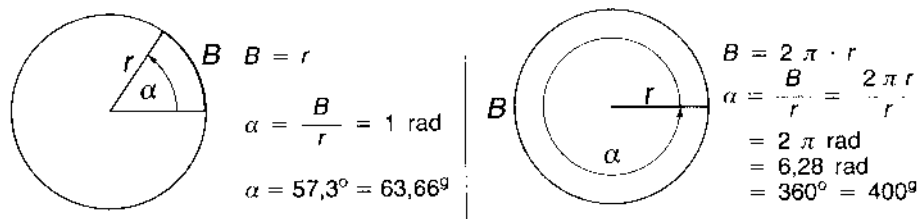
## 1. Unità angolari: grado, grado centesimale (Gon), radiante

Le unità di angoli piani sono il grado (grado sessagesimale), il grado centesimale (Gon) e il radiante.

Un grado ( $1^\circ$ ) è la 90-esima parte dell'angolo retto. Esso viene suddiviso in modo decimale o in 60 minuti ( $60'$ ) di 60 secondi ( $60''$ ).

Un grado centesimale Gon ( $1^g$ ) è la 100-esima parte di un angolo retto. Esso viene suddiviso in modo decimale. In alcuni campi tecnici, ad esempio geodesia,  $1^g$  viene anche suddiviso in 100 minuti centesimali ( $100^c$ ) di 100 secondi centesimali ( $100^{cc}$ ).

Un radiante (1 rad) è l'unità dell'angolo nel quale il rapporto di lunghezza "arco di circonferenza/raggio relativo" = 1. Ciò si verifica per  $(180/\pi)^g = 57,3^g$  o  $(200/\pi)^g = 63,66^g$ . In conformità di questo risulta:  $360^\circ = 400^g = 2 \pi \text{ rad}$ .



Modo di scrivere precedente e non corretto:  $\alpha$  nella misura in radianti = 1,52 oppure  $\bar{\alpha} = 1,52$ . La forma corretta è  $\alpha = 1,52 \text{ rad}$ .

## 2. Conversione delle unità angolari

$$1^\circ = (10/9)^g = 1,1111^g = (\pi/180) \text{ rad} = 0,017453 \text{ rad}$$

$$1' = 0,0185^g = 0,0002909 \text{ rad}$$

$$1'' = 0,0003^g = 0,00000484 \text{ rad}$$

$$1^g = (9/10)^\circ = 0,9^\circ = 54' = (\pi/200) \text{ rad} = 0,015708 \text{ rad}$$

$$1^c = 0,54' = 32,4'' = 0,000157 \text{ rad}$$

$$1^{cc} = 0,324 = 0,00000157 \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = (180/\pi)^\circ = 57,2958^\circ = 3437,75' = 206265'' = (200/\pi)^g = 63,662^g$$

$$1 \text{ angolo retto } (1^-) = 90^\circ = 100^g = (\pi/2) \text{ rad} = 1,5708 \text{ rad}$$

$$\alpha/\text{Gradi} = 0,9 \cdot \alpha/\text{Gon} = (180/\pi) \cdot \alpha/\text{rad} = 57,3 \cdot \alpha/\text{rad}$$

$$\alpha/\text{Gon} = 1,1111 \cdot \alpha/\text{Grad} = (200/\pi) \cdot \alpha/\text{rad} = 63,66 \cdot \alpha/\text{rad}$$

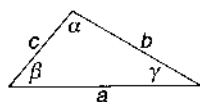
$$\alpha/\text{rad} = 0,0157 \cdot \alpha/\text{Gon} = (\pi/180) \cdot \alpha/\text{Gradi} = 0,01745 \cdot \alpha/\text{Gradi}$$

### 3. Conversione di una superficie circolare conosciuta in un quadrato di uguale superficie

Se  $d$  indica il diametro e  $A$  la superficie di un cerchio, allora si ha  $A = d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$ . Se  $a$  è il lato del quadrato di uguale superficie in modo di avere  $a^2 = d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$ , allora si ha

$$a = \sqrt{d^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\pi} = \frac{d}{2} \cdot 1,7724539 = 0,886 \cdot d$$

### 4. Formule per il triangolo piano



$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ = 2 \text{ angoli retti}$$

La formula dei seni:

$$a : b : c = \text{sen } \alpha : \text{sen } \beta : \text{sen } \gamma$$

La formula dei coseni:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha$$

Formula di Pitagora per il triangolo rettangolo:  $c^2 = a^2 + b^2$

### 5. Funzioni trigonometriche per il triangolo rettangolo

Rapporti tra i lati			Scrittura abbreviata:
$b : c$	Cateto opposto: ipotenusa	riferito a $\sphericalangle \beta$	sen $\beta$
$a : c$	Cateto adiacente: ipotenusa	riferito a $\sphericalangle \beta$	cos $\beta$
$b : a$	Cateto opposto: cateto adiacente	riferito a $\sphericalangle \beta$	tg $\beta$
$a : b$	Cateto adiacente: cateto opposto	riferito a $\sphericalangle \beta$	ctg $\beta$

## 6. Funzioni nel cerchio di raggio uno

Seno per angolo nel II quadrante

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } (180^\circ - \alpha)$$

Seno per angolo nel III quadrante

$$\text{sen } (180^\circ + \beta) = -\text{sen } \beta$$

Seno per angolo nel IV quadrante

$$\text{sen } (360^\circ - \beta) = -\text{sen } \beta$$

Coseno per angolo nel II quadrante

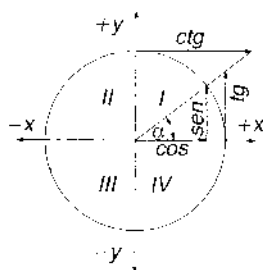
$$\cos \alpha = -\cos (180^\circ - \alpha)$$

Coseno per angolo nel III quadrante

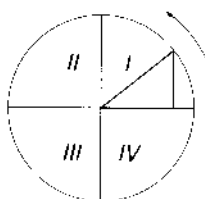
$$\cos (180^\circ + \beta) = -\cos \beta$$

Coseno per angolo nel IV quadrante

$$\cos (360^\circ - \beta) = \cos \beta$$



## 7. Segni delle funzioni trigonometriche nei quadranti



Angolo	Quadrante	sen	cos	tg	ctg	
$0^\circ \dots 90^\circ$	I	+	+	+	+	$\alpha$
$90^\circ \dots 180^\circ$	II	+	-	-	-	$180^\circ - \alpha$
$180^\circ \dots 270^\circ$	III	-	-	+	+	$180^\circ + \alpha$
$270^\circ \dots 360^\circ$	IV	-	+	-	-	$360^\circ - \alpha$

## 8. Valori delle funzioni di angoli particolari

Grado	sen		cos		tg		ctg	
	sen	cos	sen	cos	tg	ctg	sen	cos
0	0	1	1	0	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$
30	0,500	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	0,866	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	1,732	$\sqrt{3}$
45	0,707	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	0,707	1	1	1	1
60	0,866	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}$	0,500	$\sqrt{3}$	0,577	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
90	1	0	0	0	$\infty$	$\infty$	0	0
120	0,866	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	-0,500	-1,732	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	-0,577	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$
150	0,500	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	-0,866	-0,577	$-\sqrt{3}$	-1,732	$-\sqrt{3}$
180	0	-1	-1	0	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$
210	-0,500	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	-0,866	0,577	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1,732	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
240	-0,866	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{3}$	-0,500	1,732	$\sqrt{3}$	0,577	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
270	-1	0	0	0	$\infty$	$\infty$	0	0
300	-0,866	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	0,500	-1,732	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	-0,577	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$
330	-0,500	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	0,866	-0,577	$-\sqrt{3}$	-1,732	$-\sqrt{3}$
360	0	1	1	0	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$

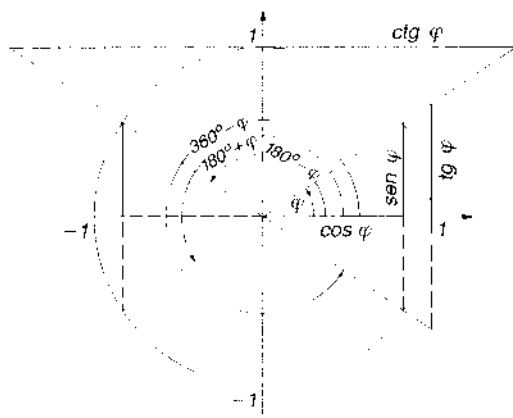
## 9. Riduzione delle funzioni al I quadrante

$$\text{sen } (180^\circ - \varphi) = + \text{sen } \varphi$$

$$\text{cos } (180^\circ - \varphi) = - \text{cos } \varphi$$

$$\text{tg } (180^\circ - \varphi) = - \text{tg } \varphi$$

$$\text{ctg } (180^\circ - \varphi) = - \text{ctg } \varphi$$



### III Quadrante

$$\text{sen } (180^\circ + \varphi) = - \text{sen } \varphi$$

$$\text{cos } (180^\circ + \varphi) = - \text{cos } \varphi$$

$$\text{tg } (180^\circ + \varphi) = + \text{tg } \varphi$$

$$\text{ctg } (180^\circ + \varphi) = + \text{ctg } \varphi$$

### IV Quadrante

$$\text{sen } (360^\circ - \varphi) = \text{sen } (-\varphi) = - \text{sen } \varphi$$

$$\text{cos } (360^\circ - \varphi) = \text{cos } (-\varphi) = + \text{cos } \varphi$$

$$\text{tg } (360^\circ - \varphi) = \text{tg } (-\varphi) = - \text{tg } \varphi$$

$$\text{ctg } (360^\circ - \varphi) = \text{ctg } (-\varphi) = - \text{ctg } \varphi$$

## 10. Rapporti tra le funzioni dello stesso angolo

$$\operatorname{sen}^2 \alpha + \operatorname{cos}^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{cos} \alpha} = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\operatorname{cos} \alpha}{\operatorname{sen} \alpha} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

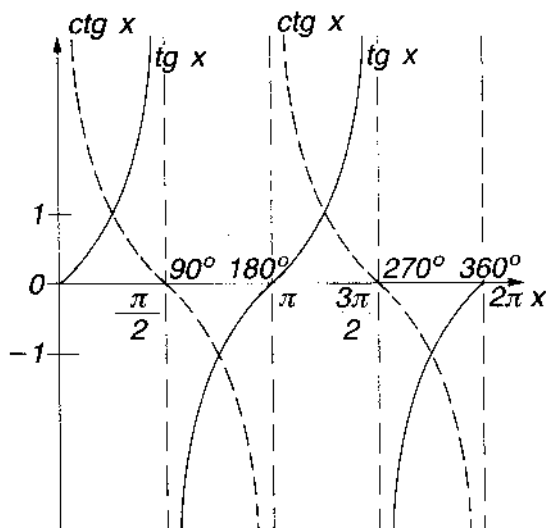
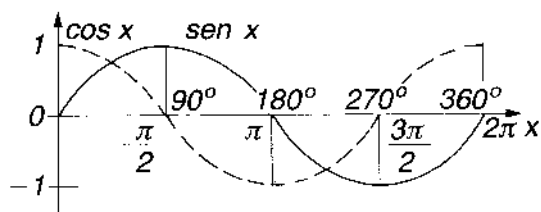
$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\operatorname{cos}^2 \alpha}$$

$$1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha = \frac{1}{\operatorname{sen}^2 \alpha}$$

## 11. Archi complementari

$$\begin{aligned} \operatorname{sen} (90^\circ - \alpha) &= \operatorname{cos} \alpha \\ \operatorname{tg} (90^\circ - \alpha) &= \operatorname{ctg} \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{cos} (90^\circ - \alpha) &= \operatorname{sen} \alpha \\ \operatorname{ctg} (90^\circ - \alpha) &= \operatorname{tg} \alpha \end{aligned}$$



## 12. Rapporti delle funzioni trigonometriche fra di loro

$\text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$	$\text{sen } \alpha = \text{cos } (90 - \alpha)$
$\text{tg } \alpha \cdot \text{ctg } \alpha = 1$	$\text{cos } \alpha = \text{sen } (90 - \alpha)$
$\text{tg } \alpha = \frac{1}{\text{ctg } \alpha}$	$\text{tg } \alpha = \text{ctg } (90 - \alpha)$
$\text{ctg } \alpha = \frac{1}{\text{tg } \alpha}$	$\text{ctg } \alpha = \text{tg } (90 - \alpha)$
$\text{tg } \alpha = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha}$	$\text{sen } \alpha = \text{sen } (180 - \alpha)$
$\text{ctg } \alpha = \frac{\text{cos } \alpha}{\text{sen } \alpha}$	$\text{cos } \alpha = -\text{cos } (180 - \alpha)$
	$\text{tg } \alpha = -\text{tg } (180 - \alpha)$
	$\text{ctg } \alpha = -\text{ctg } (180 - \alpha)$

## 13. Formule per il triangolo rettangolo

Cateto	$a =$	$\sqrt{c^2 - b^2}$	$b \cdot \text{tg } \alpha$	$b \cdot \text{ctg } \beta$	$c \cdot \text{sen } \alpha$	$c \cdot \text{cos } \beta$
Cateto	$b =$	$\sqrt{c^2 - a^2}$	$a \cdot \text{tg } \beta$	$a \cdot \text{ctg } \alpha$	$c \cdot \text{sen } \beta$	$c \cdot \text{cos } \alpha$
Ipotenusa	$c =$	$\sqrt{a^2 + b^2}$	$\frac{a}{\text{sen } \alpha}$	$\frac{a}{\text{cos } \beta}$	$\frac{b}{\text{sen } \beta}$	$\frac{b}{\text{cos } \alpha}$
Angolo	$\alpha =$	$90^\circ - \beta$	$\text{sen } \alpha = \frac{a}{c}$	$\text{tg } \alpha = \frac{a}{b}$	$\text{cos } \alpha = \frac{b}{c}$	$\text{ctg } \alpha = \frac{b}{a}$
Angolo	$\beta =$	$90^\circ - \alpha$	$\text{sen } \beta = \frac{b}{c}$	$\text{tg } \beta = \frac{b}{a}$	$\text{cos } \beta = \frac{a}{c}$	$\text{ctg } \beta = \frac{a}{b}$
Area	$A =$	$\frac{a \cdot b}{2}$	$\frac{a \cdot c \cdot \text{sen } \beta}{2}$	$\frac{a^2 \cdot \text{tg } \beta}{2}$	$\frac{b \cdot c \cdot \text{cos } \beta}{2}$	$\frac{b^2 \cdot \text{ctg } \beta}{2}$
		$\frac{c^2 \cdot \text{sen } \alpha \cdot \text{cos } \alpha}{2}$	$\frac{b \cdot c \cdot \text{sen } \alpha}{2}$	$\frac{b^2 \cdot \text{tg } \alpha}{2}$	$\frac{a \cdot c \cdot \text{cos } \alpha}{2}$	$\frac{a^2 \cdot \text{ctg } \alpha}{2}$

## 14. Altri teoremi trigonometrici

Funzioni di somme e differenze di angoli:

$$\operatorname{sen}(\alpha \pm \beta) = \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \operatorname{sen} \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{sen} \beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \mp 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha}$$

Rapporti fra angoli doppi e semplici e rispettivamente tra angoli semplici e semiangoli:

$$\operatorname{sen} 2\alpha = 2 \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\operatorname{sen} \alpha = 2 \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \operatorname{sen}^2 \alpha$$

$$\cos \alpha = \cos^2 \frac{\alpha}{2} - \operatorname{sen}^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$= 2 \cos^2 \alpha - 1$$

$$= 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} - 1$$

$$= 1 - 2 \operatorname{sen}^2 \alpha$$

$$= 1 - 2 \operatorname{sen}^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} - 1}{2 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}$$

Somma e differenza di due funzioni

$$\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{sen} \beta = 2 \operatorname{sen} \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\operatorname{sen} \alpha - \operatorname{sen} \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \operatorname{sen} \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \operatorname{sen} \frac{\alpha + \beta}{2} \operatorname{sen} \frac{\alpha - \beta}{2}$$

## 15. Formule per il triangolo obliquangolo

Formula dei seni

$$a : b : c = \text{sen } \alpha : \text{sen } \beta : \text{sen } \gamma$$

Lato $a$	$a = \frac{b}{\text{sen } \beta} \cdot \text{sen } \alpha$	$a = \frac{c}{\text{sen } \gamma} \cdot \text{sen } \alpha$	
Lato $b$	$b = \frac{a}{\text{sen } \alpha} \cdot \text{sen } \beta$	$b = \frac{c}{\text{sen } \gamma} \cdot \text{sen } \beta$	
Lato $c$	$c = \frac{a}{\text{sen } \alpha} \cdot \text{sen } \gamma$	$c = \frac{b}{\text{sen } \beta} \cdot \text{sen } \gamma$	
Angolo $\alpha$	$\text{sen } \alpha = \frac{\text{sen } \beta}{b} \cdot a$	$\text{sen } \alpha = \frac{\text{sen } \gamma}{c} \cdot a$	
Angolo $\beta$	$\text{sen } \beta = \frac{\text{sen } \alpha}{a} \cdot b$	$\text{sen } \beta = \frac{\text{sen } \gamma}{c} \cdot b$	
Angolo $\gamma$	$\text{sen } \gamma = \frac{\text{sen } \alpha}{a} \cdot c$	$\text{sen } \gamma = \frac{\text{sen } \beta}{b} \cdot c$	
Superficie $A$	$A = \frac{a \cdot b \cdot \text{sen } \gamma}{2}$	$A = \frac{a \cdot c \cdot \text{sen } \beta}{2}$	$A = \frac{b \cdot c \cdot \text{sen } \alpha}{2}$

## 16. Funzioni trigonometriche nel triangolo obliquangolo

$$\frac{a}{\text{sen } \alpha} = \frac{b}{\text{sen } \beta} = \frac{c}{\text{sen } \gamma} = 2r$$

Raggio del cerchio circoscritto =  $r$

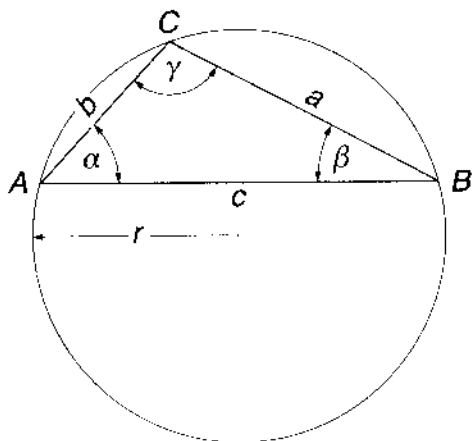
Formula dei coseni (Pitagora generale)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha \quad \cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos \beta \quad \cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma \quad \cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

(Con angolo ottuso il coseno diventa negativo!)



Formula delle tangenti

$$\frac{a-b}{a+b} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha-\beta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha+\beta}{2}} \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{a-b}{a+b} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha+\beta}{2}$$

$$\frac{a-c}{a+c} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha-\gamma}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha+\gamma}{2}} \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha-\gamma}{2} = \frac{a-c}{a+c} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha+\gamma}{2}$$

$$\frac{b-c}{b+c} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\beta-\gamma}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta+\gamma}{2}} \quad \operatorname{tg} \frac{\beta-\gamma}{2} = \frac{b-c}{b+c} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta+\gamma}{2}$$

Formula dei semiangoli

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(s-c)(s-a)}{s(s-b)}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)}{s(s-c)}}$$

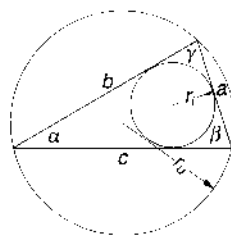
## Parte III - Richiami di trigonometria

Semiperimetro del triangolo

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

Raggio cerchio inscritto

$$\begin{aligned} r_i &= \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}} = \\ &= s \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \\ &= 4r_u \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \operatorname{sen} \frac{\beta}{2} \operatorname{sen} \frac{\gamma}{2} \end{aligned}$$



Raggio cerchio circoscritto

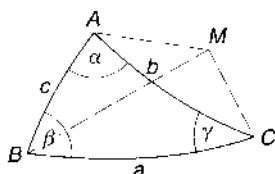
$$r_u = \frac{a}{2 \operatorname{sen} \alpha} = \frac{b}{2 \operatorname{sen} \beta} = \frac{c}{2 \operatorname{sen} \gamma}$$

Superficie

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} ab \operatorname{sen} \gamma = \frac{a^2 \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma}{2 \operatorname{sen} \alpha} = \\ &= r_i s = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} = \\ &= \frac{abc}{4r_u} = 2r_u^2 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma \end{aligned}$$

## 17. Formule per il triangolo sferico

Triangolo sferico



Formula dei seni

$$\operatorname{sen} a : \operatorname{sen} b : \operatorname{sen} c = \operatorname{sen} \alpha : \operatorname{sen} \beta : \operatorname{sen} \gamma$$

Formula dei coseni per i lati

$$\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha$$

Formula dei coseni per gli angoli

$$\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma \cos a$$



[skf.com](http://skf.com) | [skf.it](http://skf.it)

© SKF è un marchio registrato del Gruppo SKF.

© Gruppo SKF 2018

La riproduzione, anche parziale, del contenuto di questa pubblicazione è consentita soltanto previa autorizzazione scritta della SKF. Nella stesura è stata dedicata la massima attenzione al fine di assicurare l'accuratezza dei dati, tuttavia non si possono accettare responsabilità per eventuali errori od omissioni, nonché per danni o perdite diretti o indiretti derivanti dall'uso delle informazioni qui contenute.

**PUB 1093 IT** · Novembre 2018

Alcune immagini utilizzate sono protette da copyright e concesse su licenza Shutterstock.com