

GUIDA AL PROGETTO DI APPLICAZIONI MECCANICHE DEI MOTORI

Premessa: onde evitare spiacevoli e frequenti errori di calcolo, dovuti all'utilizzo di grandezze espresse in unità di misura dimensionali appartenenti a **diversi** sistemi di misura, si consiglia l'utilizzo del sistema internazionale (S.I.).

Se alcuni dati di cui si dispone non sono espressi in tale sistema, si consiglia di effettuare, a priori, le conversioni di detti dati nel S.I. in modo di operare con grandezze omogenee.

In appendice sono fornite le tabelle ed i fattori di conversione.

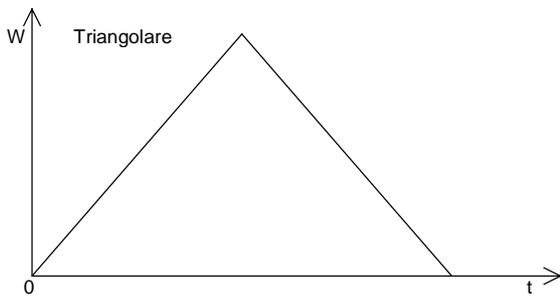
Per il progetto di sistemi che utilizzano i motori si può in generale pensare al carico meccanico con momento d'inerzia J_L che deve essere accelerato, mantenuto ad una certa velocità, decelerato, in un certo tempo.

Il profilo di velocità (velocità angolare del motore e carico in funzione del tempo) può essere ottimizzato secondo diversi criteri in base all'applicazione.

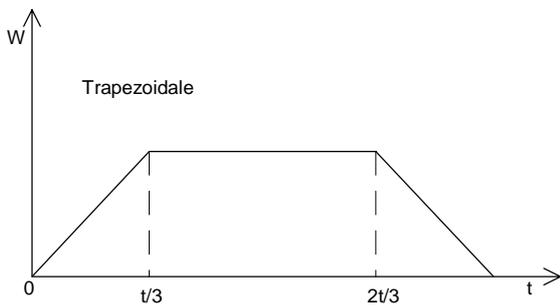
Nella figura seguente vi è un riepilogo di diversi profili di velocità, che considera l'energia dissipata dal motore (calore nel circuito d'armatura), e trascura la coppia frenante.

Da questo punto di vista il miglior profilo è quello parabolico (coefficiente 12) ed il peggiore il sinusoidale (24) che però corrisponde ad un moto più dolce.

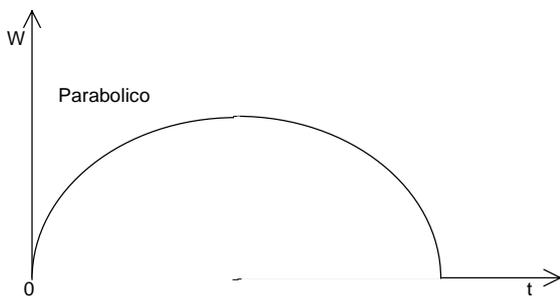
'P' è la distanza espressa come angolo di rotazione del motore in radianti, in 't' secondi.



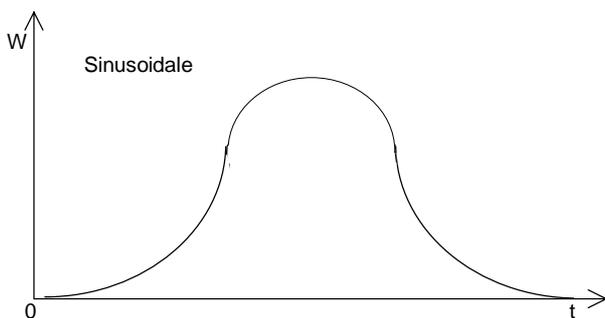
$$E = \frac{16rJ^2 p^2}{K_t^2 t^3}$$



$$E = \frac{13.5rJ^2 p^2}{K_t^2 t^3}$$



$$E = \frac{12rJ^2 p^2}{K_t^2 t^3}$$



$$E = \frac{24rJ^2 p^2}{K_t^2 t^3}$$

r = res. armatura motore

K_t = cost. di coppia

$J = J_m + J_l$

J_m = inerzia motore

J_l = inerzia carico + riduttore

Dissipazione 'E' nel motore quando il motore è ruotato P radianti in t secondi lungo il profilo di velocità.

Figura 1 - Confronti tra profili di velocità

In tutti i casi pratici che si esaminano il carico meccanico viene alla fine visto dal motore come una 'inerzia'.

Ricordiamo che l'inerzia è il corrispondente della massa nella meccanica rotazionale, mentre la coppia corrisponde alla forza.

La relazione fondamentale del moto ($F = m \cdot a$ nel lineare) diviene: $T = J \cdot \alpha$, da cui

$T =$ coppia in Nm

$$(1) \quad T = \frac{J \cdot \omega}{t}$$

$\omega =$ vel. angolare in rad/sec

$J =$ momento d'inerzia in $\text{Kg} \cdot \text{m}^2$

$\alpha =$ accelerazione angolare in rad/sec^2

$t =$ tempo in secondi

Questa relazione permette, una volta noto il momento d'inerzia, di calcolare la coppia necessaria ad accelerare un carico in un determinato tempo, o alternativamente, disponendo di una coppia, in quanto tempo questa coppia può accelerare detto carico.

Se il carico non è puramente inerziale ma possiede una coppia frenante (es. attrito) questa, considerata costante, va poi sommata a quella espressa dalla (1) per ottenere la coppia motrice necessaria.

L'inerzia che appare è la somma di tutte le inerzie (motore + carico; $J = J_L + J_m$)

La prima cosa necessaria è quindi quella di determinare il:

Momento d'inerzia del carico J_L

Questo dipende sia dalle masse accoppiate che dalla forma geometrica delle stesse.

Poiché normalmente si conosce il peso delle masse impiegate, un sistema largamente diffuso è quello del calcolo del GD^2 , che rappresenta il momento d'inerzia associato a dette masse.

Per un cilindro pieno vale:

$$GD^2 = \frac{PESO(Kg) \cdot DIAMETRO^2(m^2)}{2} = 0.39 \cdot D^4 \cdot l \cdot Y$$

$D =$ diametro (m)

$l =$ lunghezza (m)

$Y =$ peso specifico (Kg/m^3)

Si noti bene che sebbene nel calcolo pratico del GD^2 compaia il peso, l'unità di misura adottata è quella della massa (Kg), perché sono queste che contano nel calcolo dell'inerzia, ed anche se numericamente il peso e la massa coincidono, fisicamente rappresentano due grandezze diverse.

Ricavato il GD^2 della massa in questione, il momento d'inerzia vale (sempre per il cilindro pieno):

$$J = \frac{GD^2}{4} \quad (\text{Kg} \cdot \text{m}^2)$$

Negli altri casi in cui la forma geometrica è diversa (cilindro cavo, parallelepipedo in rotazione ecc.) si ricorre a delle formule diverse per il calcolo del momento d'inerzia (riferimento all'appendice A1).

Effetti dell'accoppiamento meccanico

Quanto detto finora presuppone un accoppiamento diretto del carico al motore, per un funzionamento accettabile è necessario che sia verificato:

$$J_m \cong J_l$$

Altrimenti è necessario interporre un riduttore.

In generale quindi, anche per passare da un moto rotatorio a lineare, saremo in presenza di cinematismi interposti tra il carico ed il motore, ed in tutti questi casi ci si riporta a quello che il motore 'vede' sul suo albero.

Consideriamo i casi più frequenti:

Riduttore meccanico

Il rapporto di riduzione z è definito come:

$$z = \frac{\text{velocità}_{ang. motore}}{\text{velocità}_{ang. carico}}$$

L'inerzia e la coppia frenante del carico appaiono al motore come:

$$J' = \frac{JL}{z^2} \qquad T' = \frac{TL}{z}$$

Cio' significa che l'inerzia è ridotta del quadrato del rapporto di trasmissione, mentre la coppia è ridotta del rapporto puro.

Si può dimostrare che il miglior rapporto di riduzione è quello per cui l'inerzia riportata all'asse del motore vale:

$$J' m = \frac{JL}{z^2} \qquad \text{essendo } J' m = J_m$$

L'inerzia totale è data come al solito dalla somma delle inerzie e quindi con il miglior rapporto di riduzione diviene:

$$J = 2 J_m$$

Volendo così minimizzare la dissipazione nel motore i parametri che interessano sono:

$$TM = \frac{R * J_m}{K_t^2} \gg \gg \text{-----} \gg \gg \text{ minimo } R = \text{Resistenza avvolgimento in } \Omega$$

che è poi la costante di tempo meccanica del motore (TM) e permette di scegliere, tra motori diversi, quello che a parità di Jm ha la più bassa costante di tempo meccanica TM .

Vi è un altro criterio per la selezione dei motori che possono svolgere un determinato compito ed è quello denominato del 'power rate', lo accenniamo brevemente.

Il power rate di un motore è definito come il seguente rapporto:

$$\text{power rate (rapporto di potenza)} = \frac{Tp \text{ (coppia di picco)}}{Jm \text{ (inerzia del motore)}}$$

Con questo metodo si tende a massimizzare il p.r. non valutando il rapporto di riduzione o considerandolo fisso ed ottimale.

Il motore selezionato con questo criterio è quello più piccolo, e quindi il meno costoso, in grado di svolgere il lavoro a scapito della dissipazione e quindi del rendimento.

Trasmissione a puleggia o pignone e cremagliera

Si trascura per semplicità l'inerzia della puleggia, l'inerzia che vede il motore dovuta al puro carico meccanico vale:

$$JL = M * R^2$$

(Se si confronta questa formula con quella dei riduttori si può considerare di avere un riduttore equivalente con $Z = 1/R$). Analogamente al caso del riduttore il raggio che permette l'accoppiamento ottimale è quello per cui:

$$Jm = M * R^2$$

L'inerzia totale che deve vincere il motore sarà così: $J = 2 Jm$.

Vite senza fine o vite a ricircolo di sfere

Si trascura l'inerzia della vite e si definisce il passo della vite S come rapporto tra spostamento lineare ed unità giro.

Il caso si riconduce a quello di una puleggia con raggio:

$$R = \frac{S}{2\Pi} \quad \Pi = 3,1416$$

Analogamente il momento d'inerzia della massa M varrà: $JL = M(S / 2\Pi)^2$

Esempio:

$$M = 5 \text{ Kg} \quad S = 2.54 \text{ mm} \quad (25.4\text{mm ogni } 10 \text{ giri})$$

$$\text{Raggio equivalente } R = 4 * 10^{-4} \text{ metri}$$

$$JL = 8 * 10^{-7} \text{ Kg} * m^2$$

dove si vede che l'inerzia della tavola di 5Kg è insignificante rispetto a quella di un motore tipico.

IL DIMENSIONAMENTO IN POTENZA

La potenza che il motore deve fornire per accelerare una massa a coppia costante è data dalla seguente relazione:

$$P = \frac{J * \omega^2}{t}$$

Una volta raggiunta la velocità voluta la potenza richiesta al motore è solo quella necessaria per vincere la coppia frenante e vale:

$$P = \omega * TL$$

$P = \text{Watt} \quad TL = \text{Newton} * \text{metro}$
 $\omega = \text{radianti al secondo}$

Normalmente con dei profili di velocità trapezoidale le rampe di accelerazione e decelerazione sono una piccola parte del tempo di lavoro a velocità costante, per cui si considera che la potenza lavoro del motore sia solo quest'ultima relativa all'attrito.

Nelle applicazioni invece in cui le rampe di acc/decelerazione costituiscono una parte non trascurabile del ciclo di lavoro (ad esempio continue inversioni con profili trapezoidali) la potenza per cui il motore va dimensionato è maggiore e diviene:

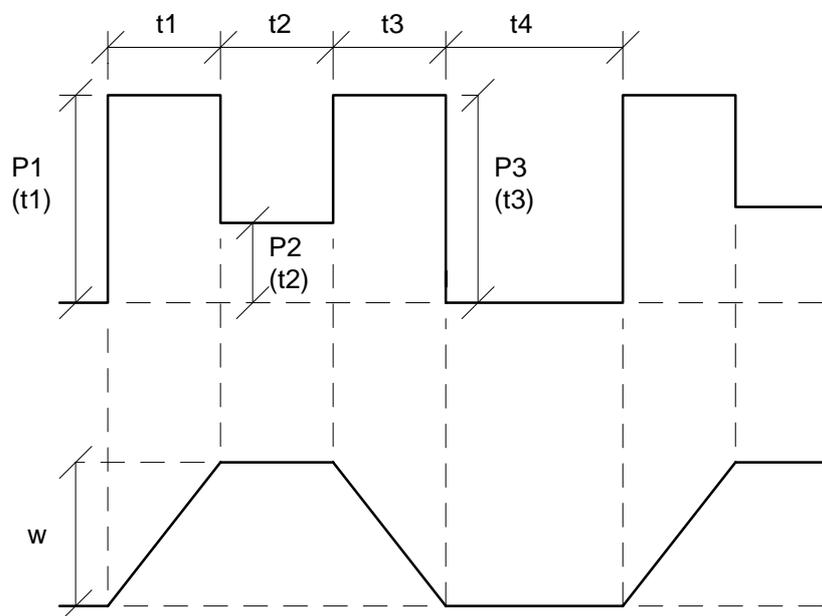


Figura 2 - Ciclo di lavoro.

$$P_{media} = \frac{P_1 * t_1 + P_2 * t_2 + P_3 * t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}$$

Lo stesso criterio si può usare per il dimensionamento della coppia di un motore. Infatti, come si ricava una 'Potenza corrispondente ad un servizio continuo', così si dovrà determinare una 'coppia equivalente efficace'

$$T_{eff} = \sqrt{\frac{T_1^2 * t_1 + T_2^2 * t_2 + T_3^2 * t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

N.B. La potenza 'P', è quella necessaria per effettuare il lavoro ad una certa velocità, o per accelerare una massa a una velocità voluta. In luogo delle formule della potenza, andrebbe, più correttamente calcolata la corrente efficace per il dimensionamento dei componenti. In tal caso la formula diventa:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I_1^2 * t_1 + I_2^2 * t_2 + I_3^2 * t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

MOTI LINEARI

Spesso nel funzionamento a coppia costante, si conosce la forza resistente in Kg, e la velocità lineare del carico in metri al minuto. Per evitare confusioni, conviene convertire la forza da Kg in Newton, (1Kg = 9,8N) e la velocità da metri /minuto a metri al secondo.

La potenza necessaria sarà:

$$W = F * V_l$$

W = potenza in Watt

F = forza in Newton

V_l = velocità lineare in metri al secondo

Nel caso che i dati della coppia non siano conosciuti, ma si conosca già la potenza e la velocità, si può ricavare la coppia corrispondente:

$$T = \frac{W}{w}$$

T = coppia in Newton / metro

W = potenza in Watt

w = velocità angolare in rad/sec

Per convertire i giri al minuto in radianti al secondo, basta dividere i giri al minuto per 9,55 cioè (60/2π).

CALCOLI SECONDO I SISTEMI TECNICI

Nonostante le legislazioni ed i buoni propositi ed intenti unificatori del sistema internazionale, sono ancora in voga alcuni usi comuni, come le misure di velocità in metri al minuto o giri al secondo, le misure di coppia in Kg peso * metro, le potenze in cavalli, ecc. Vengono qui di seguito elencate alcune formule di natura pratica, con opportuni coefficienti di adattamento per giustificare le unità di misura. In caso di dubbio sulle unità di misura, si consiglia di riferirsi al sistema internazionale che si basa sulle leggi fisiche. In appendice vengono elencate alcune tabelle di conversione delle unità di misura più usate; non trovando quella richiesta riferirsi ai manuali tecnici (es. manuale del perito, manuale dell'ingegnere, ecc.)

*COPPIA DI LAVORO IN Kg*m (Kg peso)*

$$C = \frac{974 * KW}{n}$$

C coppia in Kg*metro

KW potenza in KW

n velocità in giri al minuto (RPM)

N.B. 1 CV = 0,736 KW 1 KW = 1,36 CV (CV = cavalli metrici)

1Kg*m = 9,8066N*m 1N*m = 0,10197Kg*m

*COPPIA DI LAVORO IN N*m*

$$T = \frac{9549 * KW}{n}$$

T coppia in N*metro

KW potenza in Kwatt

n velocità in giri al minuto (RPM)

$$T = \frac{7028 * CV}{n}$$

T coppia in N*metro

CV potenza in HP (calli metrici)

n velocità in giri al minuto (RPM)

$$T = \frac{9,549 * W}{n}$$

T coppia in N*metro

W potenza in watt

n velocità in giri al minuto (RPM)

POTENZA DI UN MOTO LINEARE

$$P = \frac{F * V}{75}$$

F forza in Kg peso

P potenza in CV

V velocità in metri al secondo

$$P = \frac{F * Vel}{4500}$$

F forza in Kg peso

P potenza in CV

Vel velocità in metri al minuto

$$KW = \frac{F * V}{102}$$

F forza in Kg peso

KW potenza in KWatt

V velocità in metri al secondo

COPPIA DI ACCELERAZIONE

$$T = \frac{J * n}{t * 9,459}$$

T coppia in Newton*metro
n velocità in giri al minuto (RPM)

J momento d'inerzia Kg*m²

t tempo in secondi

$$C = \frac{GD^2 * n}{375 * t}$$

C coppia in Kg*metro

n velocità in giri al minuto

GD² inerzia in Kg*m²

t tempo in secondi

N.B. " GD²" inerzia nel sistema tecnico detto 'PD²'

POTENZA DI ACCELERAZIONE A COPPIA COSTANTE

$$KW = \frac{GD^2 * n^2}{365000 * t}$$

KW potenza in Kwatt

GD² inerzia in Kg*m² (tec.)

n velocità in giri al minuto

t tempo in secondi

$$KW = \frac{J * n^2}{t * 91,189}$$

W potenza in Watt

J momento di inerzia in Kg*m²

n velocità in giri al minuto

t tempo in secondi

TEMPO DI ACCELERAZIONE A COPPIA/POTENZA COSTANTE (Sistema SI)

$$t = \frac{J * \omega_1}{T} + \frac{1}{2} \frac{J}{P_o} (\omega_2^2 - \omega_1^2)$$

T Coppia alla velocità ω_1 (Nm)

Po potenza in W alla vel. nominale ω_1

J momento d'inerzia in Kgm

ω_2 velocità massima in rad/s

ω_1 velocità base in rad/s

TEMPO DI ACCELERAZIONE A COPPIA/POTENZA COSTANTE CON VELOCITA' IN RPM

$$t = \frac{J * n_1}{9.459 * T} + \frac{J}{182.378 * P_o} (n_2^2 - n_1^2)$$

n_2 velocità max in RPM

n_1 velocità base in RPM

J momento d'inerzia in Kgm

T coppia in Nm alla vel. base n_1

VELOCITA' ANGOLARE E VELOCITA' PERIFERICA DI UN CILINDRO (Sistema SI)

$$V_p = w * r$$

Vp velocità lineare in m/sec

w velocità angolare in rad/sec

r raggio cilindro in metri

VELOCITA' ANGOLARE E VELOCITA' PERIFERICA DI UN CILINDRO (Sistema tecnico)

$$V_l = n * 2\pi * r$$

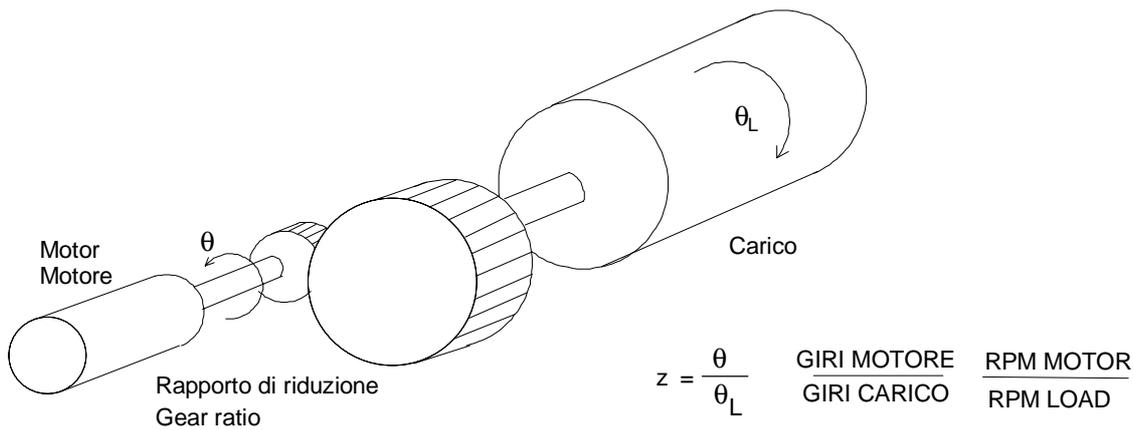
$$V_l = n * \pi * D$$

Vl velocità lineare in m/minuto

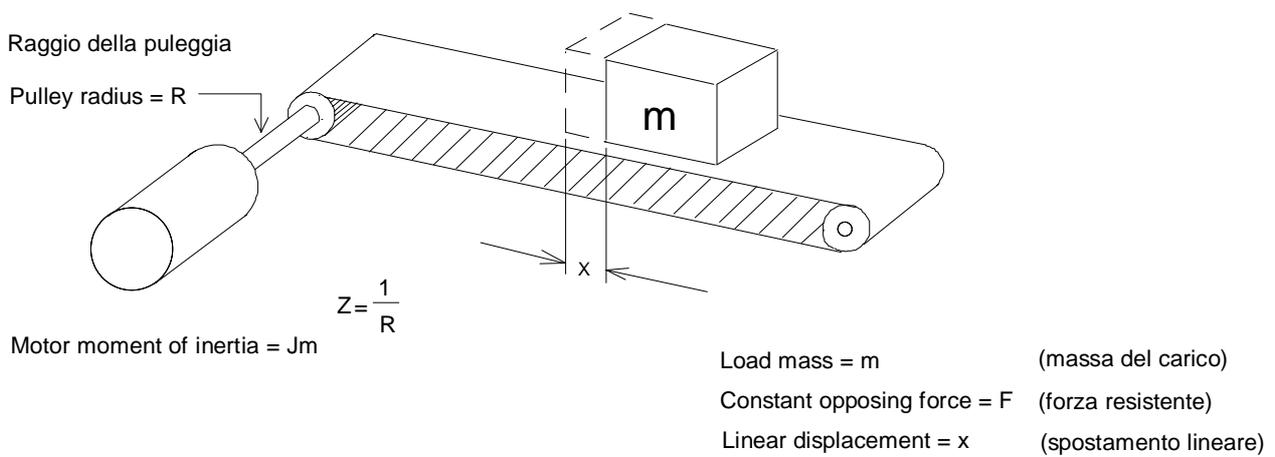
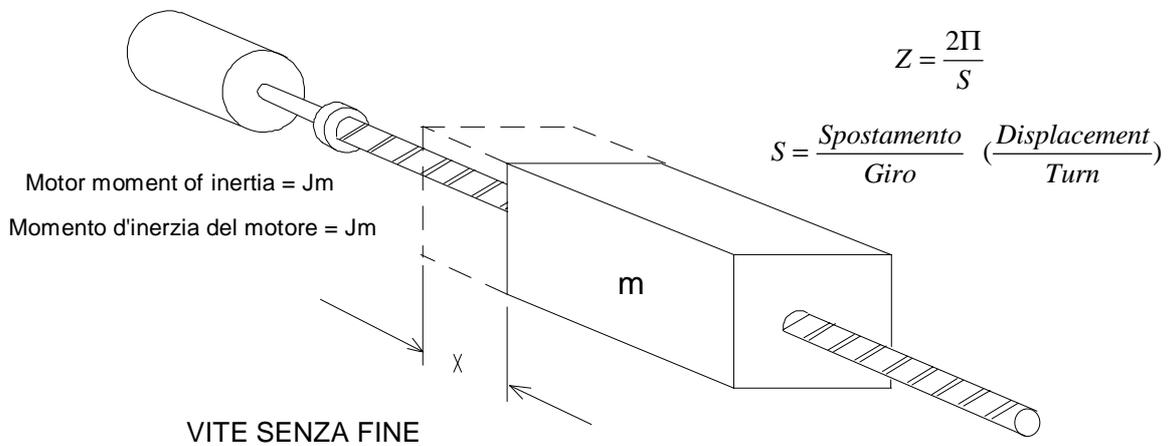
n velocità angolare in giri/minuto (RPM)

r raggio cilindro in metri

D diametro cilindro in metri



RIDUTTORE



PULEGGIA O PIGNONE E CREMAGLIERA

Figura 3 - Tipi di trasmissione -

A1. MOMENTI D'INERZIA

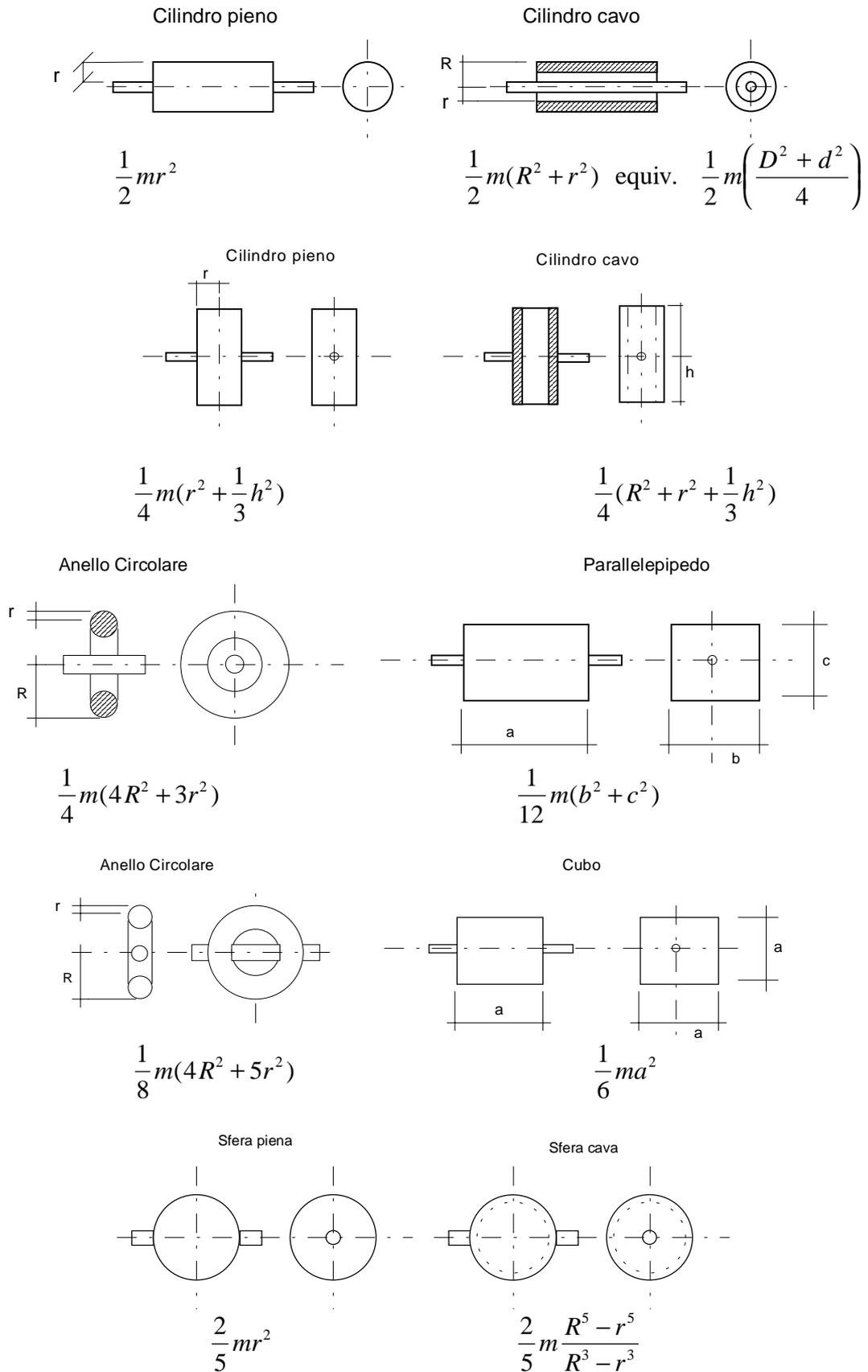


Figura 4 - Momenti d'inerzia di massa di alcuni solidi rispetto all'asse segnato in figura.

TABELLA A1.1 - FATTORI DI CONVERSIONE MOMENTI D'INERZIA -

A \ B	Kg-m ²	g-cm ²	oz-in-s ²	lb-in-s ²	oz*-in ²	lb*-in ²	lb*-ft ²
Kg-m ²	1	10 ⁷	141.612	8.85075	5.46745 x10 ⁴	3.41716 x10 ³	23.7303
g-cm ²	10 ⁻⁷	1	1.41612 x10 ⁻⁵	8.85075 x10 ⁻⁷	5.46745 x10 ⁻³	3.41716 x10 ⁻⁴	2.37303 x10 ⁻⁶
oz-in-s ²	7.06155 x10 ⁻³	7.06155 x10 ⁴	1	6.25 x10 ⁻²	386.088	24.1305	0.167573
lb-in-s ²	0.112985	1.12985 x10 ⁶	16	1	6.17741 x10 ³	386.088	2.68117
oz*-in ²	1.82901 x10 ⁻⁵	182.901	2.59008 x10 ⁻³	1.61880 x10 ⁻⁴	1	6.25 x10 ⁻²	4.34028 x10 ⁻⁴
lb*-in ²	2.92641 x10 ⁻⁴	2.92641 x10 ³	4.14413 x10 ⁻²	2.59008 x10 ⁻³	16	1	6.94444 x10 ⁻³
lb*-ft ²	4.21403 x10 ⁻²	4.21403 x10 ⁵	5.96755	0.372972	2304	144	1

* Units of mass Unità di massa

TABELLA A1.2 - FATTORI DI CONVERSIONE COPPIE -

A \ B	Nm	Kpm (Kg*-m)	g*-cm	oz-in	lb-n	lb-t
Nm	1	0.101972	1.01972 x10 ⁴	141.612	8.85075	0.737562
Kpm (Kg*-m)	9.80665	1	10 ⁵	1.38874 x10 ³	86.7962	7.23301
g*-cm	9.80665 x10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	1	1.38874 x10 ⁻²	8.67962 x10 ⁻⁴	7.23301 x10 ⁻⁵
oz*in	7.06155 x10 ⁻³	7.20077 x10 ⁻⁴	72.0077	1	6.25 x10 ⁻²	5.20833 x10 ⁻³
lb*in	0.112985	1.15212 x10 ⁻²	1.15212 x10 ³	16	1	8.33333 x10 ⁻²
lb*ft	1.35582	0.138255	1.38255 x10 ⁴	192	12	1

* Units of force Unità di forza

N.B. Per convertire da A a B, moltiplicare A per il coefficiente in tabella.

TAB. A2 : TABELLE E FATTORI DI CONVERSIONE

TAB. A2 : UNITS CONVERSION AND TABLES

TAB. A2.1 - Fattori di conversione - Lunghezza, area, volumi, velocità lineare

Nelle seguenti tabelle se non esistono diverse indicazioni le unità *once* 'oz' e *libbra* 'lb' sono unità di forza.

LENGTH	SI units		1m = 10 ⁻³ Km	1m = 39.370 in
	m	meter	10 ² cm	3.2808 ft
	km	kilometer	10 ³ mm	1.0936 yd
	cm	centimeter	10 ⁶ um	
	mm	millimeter	10 ⁹ nm	
	um	micrometer	1 in = 25.4 mm (exactly)	
	nm	nanometer	1 ft = 12 in = 0.3048 m	
	Å	angstrom	1 yd = 3 ft = 0.9144m	
			1 mi (statute mile) = 1609.344 m	
			1 mil = 10 ⁻³ = 0.0254mm	

AREA	SI units		1m ² = 10 ⁴ cm ²	1m ² = 1550.0 in ²
	m ²	sqare meter	10 ⁶ mm ²	10.764 ft ²
	cm ²	sq. centimeter	1 in ² = 645.16 mm ² = 6.4516 cm ²	
	mm ²	sq. millimeter	1 in ² = 6.9444 x 10 ⁻³ ft ²	
			1 ft ² = 144 in ²	

VOLUME	SI units		1 m ³ = 10 ³ dm ³	1 m ³ = 6.1024 x10 ⁴ in ³
	m ³	cubic meter	10 ³ l	35.315 ft ³
	dm ³	cubic decimeter	10 ⁶ cm ³	1cm ³ = 6.1024 x10 ⁻² in ³
	l	liter (= dm ³)	10 ⁹ mm ³	
	cm ³	cubic centimeter	1in ³ = 16.387 cm ³	
mm ³	cubic millimeter	1ft ³ = 1728 in ³ = 2.8317 x10 ⁻² m ³		

LINEAR VELOCITY	SI units		1m/s = 10 ³ mm/s	1m/s = 39.370 in/s
	m/s	meter per second	3.6 km/h	3.2808 ft/s
	mm/s	millimeter per sec.	1 in/s = 2.54 x10 ⁻² m/s = 25.4 mm/s	
	km/h	kilometer per hour	1 mph = 1.6093 km/h	

TAB: A2.2 - accelerazioni lineari e angolari, angoli, velocità angolare, massa -

LINEAR ACCELERATION	SI units		1 m/s ² = 39.370 in/s ² 3.2808 ft/s ²
	m/s ²	meter per square second	1 in/s ² = 2.54 x10 ⁻² m/s ²

PLANE ANGLE	SI units		1 rad = 57.296° = (360/2Π)°
	rad	radian	1° = 60' 3600''
	°	angular degree	1.7453 x10 ⁻² rad
	r	revolution	2.7778 x10 ⁻³ r
	'	angular minute	1 r = 360°
	''	angular second	6.2832 rad = (2Π) rad

ANGULAR VELOCITY	SI units		1 rad/s = 0.15915 rps 9.5493 rpm
	rad/s	radian per second	
	r/s	(rps) revolution per second	1 rpm = 10 ⁻³ krpm 1.6667 x10 ⁻² rps
	r/min	(rpm) revolution per minute	6°/s 0.10472 rad/s
	°/s	angular degree per second	1 rps = 60 rpm 360 °/s 6.2832 rad/s

ANGULAR ACCELERATION	SI units		1 rad/sec ² = 0.15915 rps ² 9.5493 rpm/s
	rad/s ²	radian per second per second	
	r/s ²	revolution per second per second	1 rpm/s = 10 ⁻³ krpm/s 1.6667 x10 ⁻² rps ²
	r/min/s	revolution per minute per second	6°/s ² 0.10422 rad/s ²
	°/s ²	angular degree per second per second	1 rps ² = 60 rpm/s 360°/s ² 6.2832 rad/s ²

MASS	SI units		1 kg = 10 ³ g 35.274 oz (mass) 2.2046 lb (mass) 6.8522 x10 ⁻² slug
	kg	kilogram	
	g	gram	1 oz (mass) 28.3495 g
			1 lb (mass) 16 oz (mass) 0.45359 Kg
			1 slug = 14.5939 Kg

TAB: A2.3 - forza pressione coppia -

FORCE	SI units	1N = 0.10197 kp 0.22481 lb 3.5969 oz 7.2330 poundals
	N newton	1 kp = 9.80665 N 2.2046 lb 35.274 oz
	kgf (=kp) kilogram-force	1 oz = 0.27801 N 2.83495 x10 ⁻² kp 28.3495 P
	kp kilopond	1 lb = 16 oz 4.4482 N 0.45359 kp
	P pond	1 poundal = 0.138255 N
PRESSURE	SI units	1 N/m ² = 1.0197 x10 ⁻⁵ kp/cm ² (1 Pa) 1.45034 x10 ⁻⁶ 16/in ²
	N/m ² newton per square meter (Pascal)	1 at = 1 kp/cm ² 9.80665 x10 ⁴ N/m ² 14.223 lb/in ²
	Pa	1 atm = 1.01325 x10 ⁵ N/m ² 14.696 lb/in ²
	kp/cm ² kilopond per square centimeter	1 lb/in ² = 0.07031 at
	at (=kp/cm ²) technical atmosphere	
atm normal (physical) atmosphere		
TORQUE	SI units	1Nm = 0.10197 kpm 0.73756 lb*ft 8.85075 lb*in 141.612 oz*in
	Nm newtonmeter	1 kpm = 9.80665 Nm 1.3887 x10 ³ oz*in
	kpm kilopondmeter	1 oz*in = 7.0615 x10 ⁻³ Nm 7.2008 x10 ⁻⁴ kpm
		1 lb*ft = 192 oz*in 1.3558 Nm 0.13825 kpm

TAB: A2.4 - momenti d'inerzia, energia, lavoro potenza -

MOMENT OF INERTIA	SI units	1 Kg*cm ² = 0.01416 oz*in*s ² 1 Kg*m ² = 10 ⁷ gcm ²
	Kg cm ² kilogram-square centimeter	8.85075 lb*in*s ² 141.612 oz*in*s ²
	Kg m ² kilogram-square meter g cm ² gram-square centimeter	1 oz*in*s ² = 6.25 x10 ⁻² lb*in*s ² 7.06155 x10 ⁻³ Kg*m ² 70.6155 Kg*cm ²

ENERGY (WORK)	SI units	1 J = 1 Nm 1 Ws 0.10197 kpm 2.7778 x10 ⁻⁷ kWh 2.38846 x10 ⁻⁴ Kcal 9.4781 x10 ⁻⁴ Btu
	J Joule	
	Nm Newtonmeter	
	Ws wattsecond	1 kcal = 10 ³ cal 4186.8 J
	kpm Kilopondmeter	1.1630 x10 ⁻³ kWh 3.9683 Btu
	kWh Kilowatthour	1 kWh = 3.6 x10 ⁶ J 859.845 kcal 3.4121 x10 ³ Btu
	kcal kilocalorie cal calorie	1 Btu = 1055.06 J 2.9307 x10 ⁻⁴ kWh 0.251997 kcal

POWER	SI units	1W = 10 ⁻³ kW 1 J/s 0.10197 kpm/s 0.73759 lb*ft/s 1.3596 x10 ⁻³ hp (metric) 1.3410 x10 ⁻³ hp (british)
	W watt kW kilowatt J/s joule per second kpm/s kilopondmeter per second	
	hp horse power (CV) (metric)	1 hp = 550 lb*ft/s (British) 745.7 W 1.0139 hp (metric)
		1 hp = 75 kpm/s (metric) 735.5 W (CV) 0.98632 hp (british)

TAB: A2.5 - potenza di una rotazione, temperature, flusso, densità di flusso, campi magnetici -

<p>OUTPUT POWER OF MOTOR</p>	<p>expressed as product of torque and angular velocity (speed of rotation)</p>	<p>$P = T\omega$ [W; Nm, rad/s] $P = 0.10472 T n$ [W; Nm, rpm) $P = 7.3948 \times 10^{-4} T n$ [W; oz*in, rpm] $P = 10^{-6} T n$ [hp; oz*in, rpm]</p>
<p>TEMPERATURE</p>	<p>SI units</p> <p>deg temperature degree $^{\circ}C$ degree Celsius (Centigrade) K Kelvin</p>	<p>magnitude of degrees $1 \text{ deg} = 1^{\circ}C = 1 \text{ K} = 9/5 \text{ }^{\circ}F$ $0^{\circ}C = 273.15 \text{ K} = 32^{\circ}F$ $\theta [^{\circ}C] = (\Theta [^{\circ}F] - 32) * \frac{5}{9}$ $\theta [^{\circ}F] = \frac{9\Theta [^{\circ}C]}{5} + 32$ $\theta [^{\circ}K] = \Theta [^{\circ}C] + 273.15$</p>
<p>MAGNETIC FLUX</p>	<p>SI units</p> <p>Wb weber Vs voltsecond Mx maxwell (CGS unit)</p>	<p>$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$ 10^8 Mx 10^5 kilolines 10^8 lines $1 \text{ line} = 1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$</p>
<p>MAGNETIC FLUX DENSITY</p>	<p>SI units</p> <p>T tesla G gauss (CGS unit)</p>	<p>$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$ 10^4 G 10^4 lines/cm^2 $6.4516 \times 10^4 \text{ lines/in}^2$ $1 \text{ line/in}^2 = 0.1550 \text{ G}$ $1.550 \times 10^{-5} \text{ T}$</p>
<p>MAGNETIC FIELD INTENSITY</p>	<p>SI units</p> <p>A/m amper per meter Oe oersted (CGS unit)</p>	<p>$1 \text{ A/m} = 10^{-2} \text{ A/cm}$ $1.2566 \times 10^{-2} \text{ Oe}$ $2.54 \times 10^{-2} \text{ A-turn/in}$ $1 \text{ Oe} = 79.577 \text{ A/m}$ 2.0213 A-turn/in $1 \text{ A-turn/in} = 39.370 \text{ A/m}$ 0.49474 Oe</p>