

Azionamenti Elettrici

aa 22-23

Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica

prof. Luigi Alberti - prof. Silverio Bolognani

**Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII)
sede G - via Gradenigo 6/A**

049 827 7508

luigi.alberti@unipd.it - silverio.bolognani@unipd.it

Materiale didattico



1222-2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

INL1001819 - AZIONAMENTI ELETTRICI 2022-2023

[Home](#) > [I miei corsi](#) > [2022-IN1979-000ZZ-2021-INL1001819-N0](#)

INL1001819 - AZIONAMENTI ELETTRICI 2022-2023 - PROF. LUIGI ALBERTI

- **Dispense e copia delle slide in Moodle**
- **Prerequisiti: Machine elettriche, Enertronica, Controlli, Conversione statica**

Orario di lezione

lunedì	16:30 - 18:30	Lezione	M5
martedì	12:30 - 14:30	Lezione	M5
mercoledì	14:30 - 16:30	Lezione	Fe
giovedì	14:30 - 16:30	Lezione	M5

La lezione del mercoledì si terrà a partire dal 26 ottobre.
Non ci sarà lezione dal 10 ottobre al 20 ottobre compresi.

Consultare l'orario ufficiale del corso.

Eventuali variazioni urgenti saranno comunicate tramite la sezione annunci del modale del corso.

Modalità di esame:

NON ci saranno compiti in itinere

Esame scritto con domande aperte sugli argomenti trattati nel corso (nessun materiale per consultazione)

Esame orale:

facoltativo per integrare il voto dello scritto.

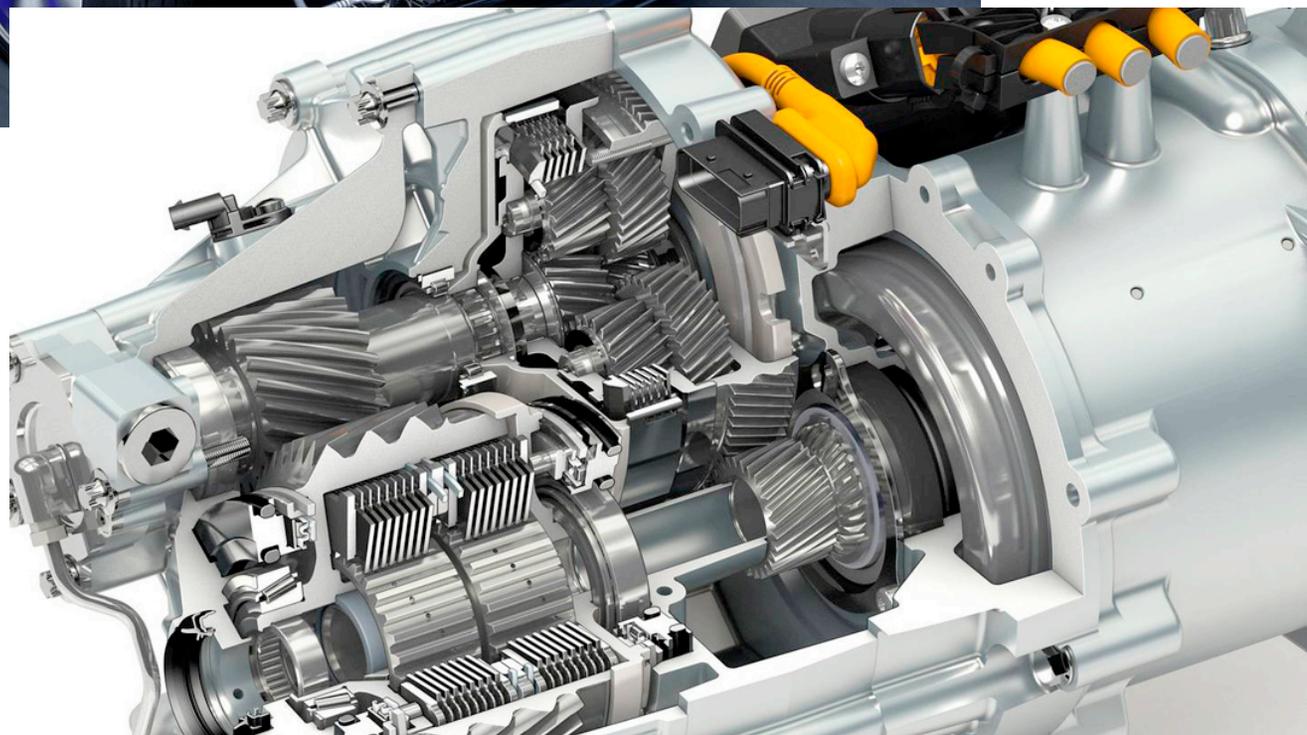
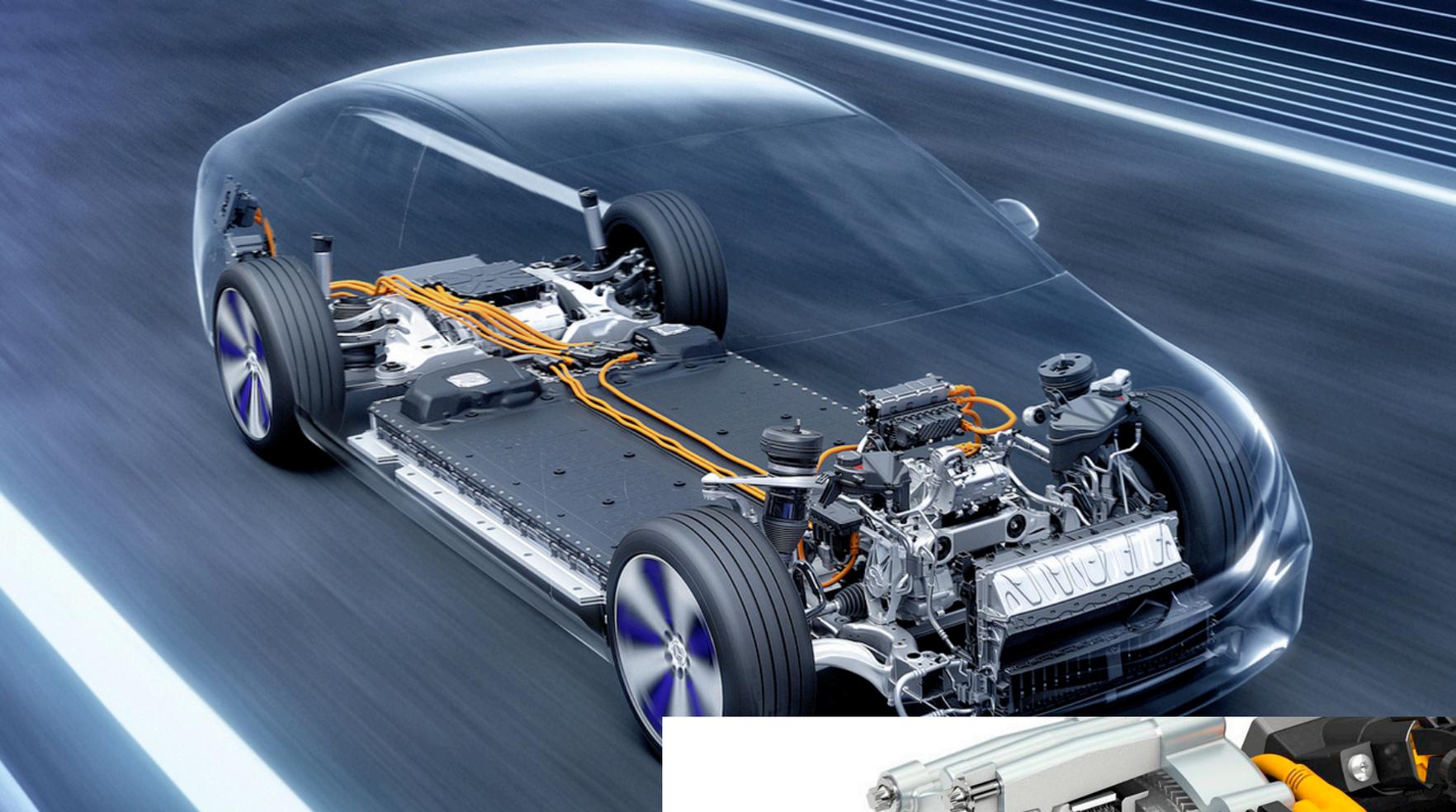
Cos'è un Azionamento Elettrico?

Azionamento: sistema capace di produrre e controllare il moto di un organo meccanico (carico meccanico). Le grandezze controllate possono essere sia statiche (posizione) che cinematiche (velocità) che dinamiche (accelerazione, coppia o forza).

Ogni azionamento comprende un organo di potenza, detto **attuatore**. Tale attuatore può essere idraulico, pneumatico o elettrico.

Azionamento elettrico: azionamento che fa uso di un attuatore elettrico, ossia di una macchina elettrica, nella quale avviene conversione elettromeccanica di energia.





I mulini eolici moderni – a differenza di quelli di un tempo, a quattro pale, come quelli olandesi e spagnoli – hanno un rotore a tre pale connesso meccanicamente con il generatore elettrico. L'altezza della torre può variare da 45 a 65 metri, con punte, per le macchine più grandi, che superano i 100 metri. Il diametro del rotore in media è fra i 40 e i 90 metri, ma si può arrivare a 120. L'energia viene prodotta in base funzione e poi elevata a seconda della necessità della rete.

Pala: la loro inclinazione cambia a seconda del vento

Sensore del vento e direzione del vento

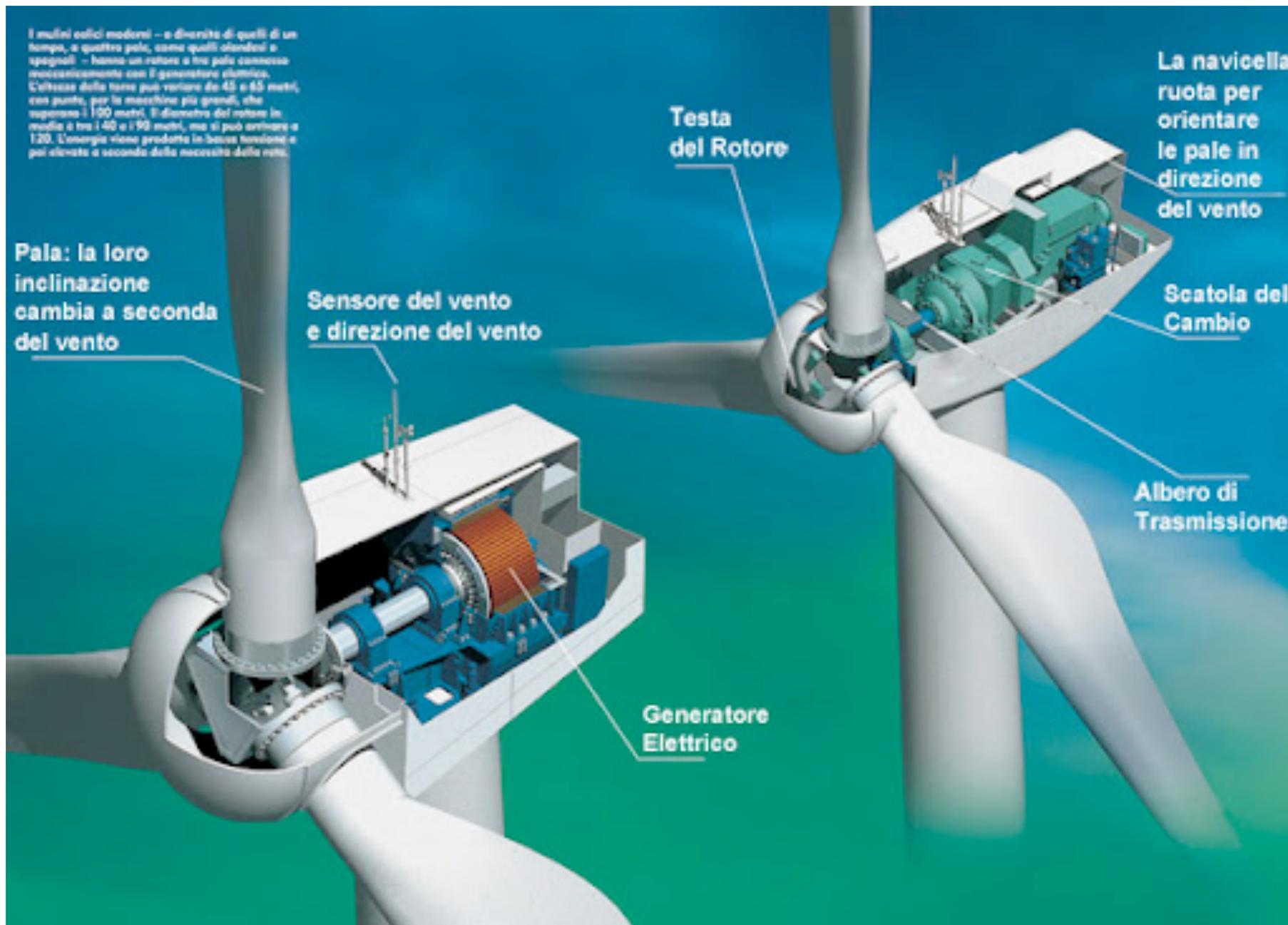
Testa del Rotore

La navicella ruota per orientare le pale in direzione del vento

Scatola del Cambio

Albero di Trasmissione

Generatore Elettrico



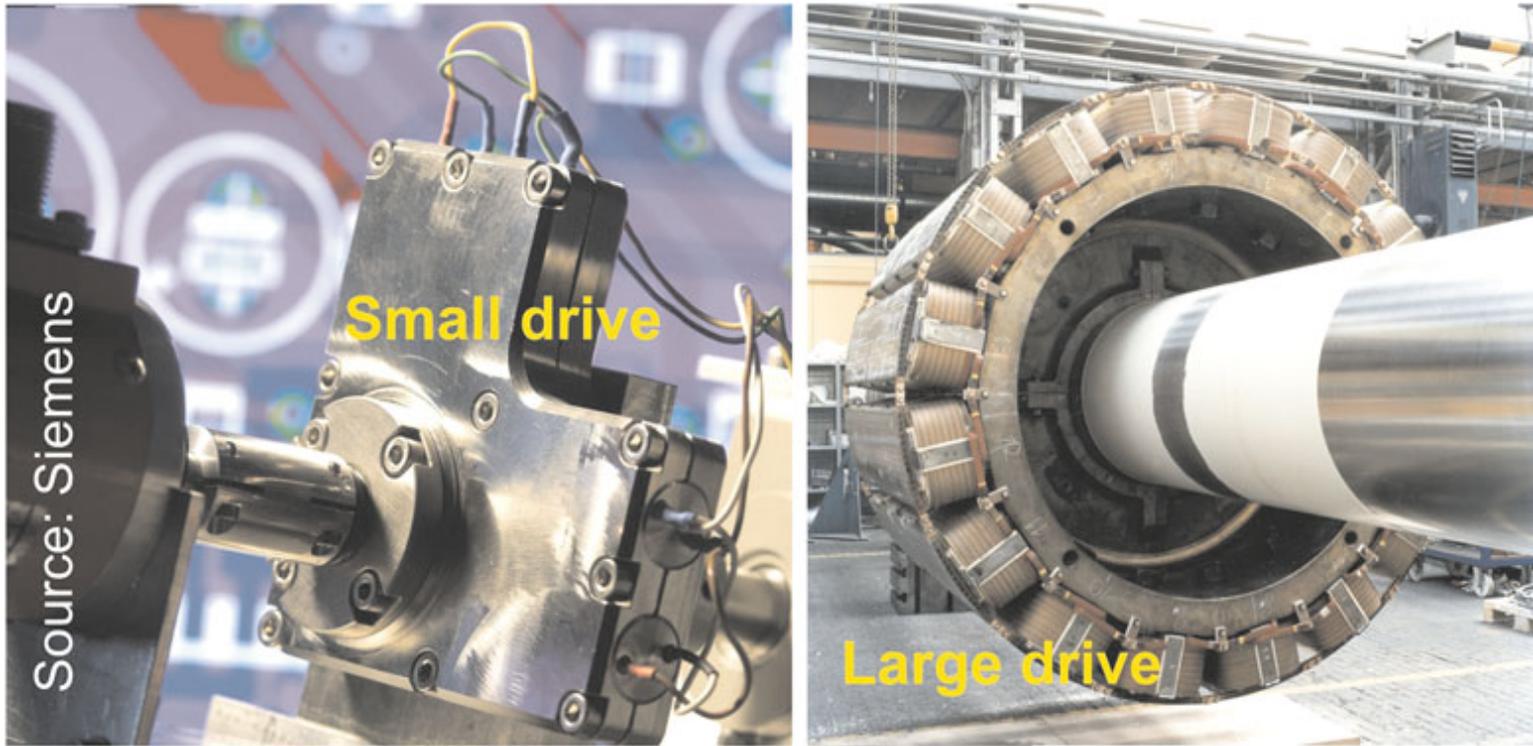
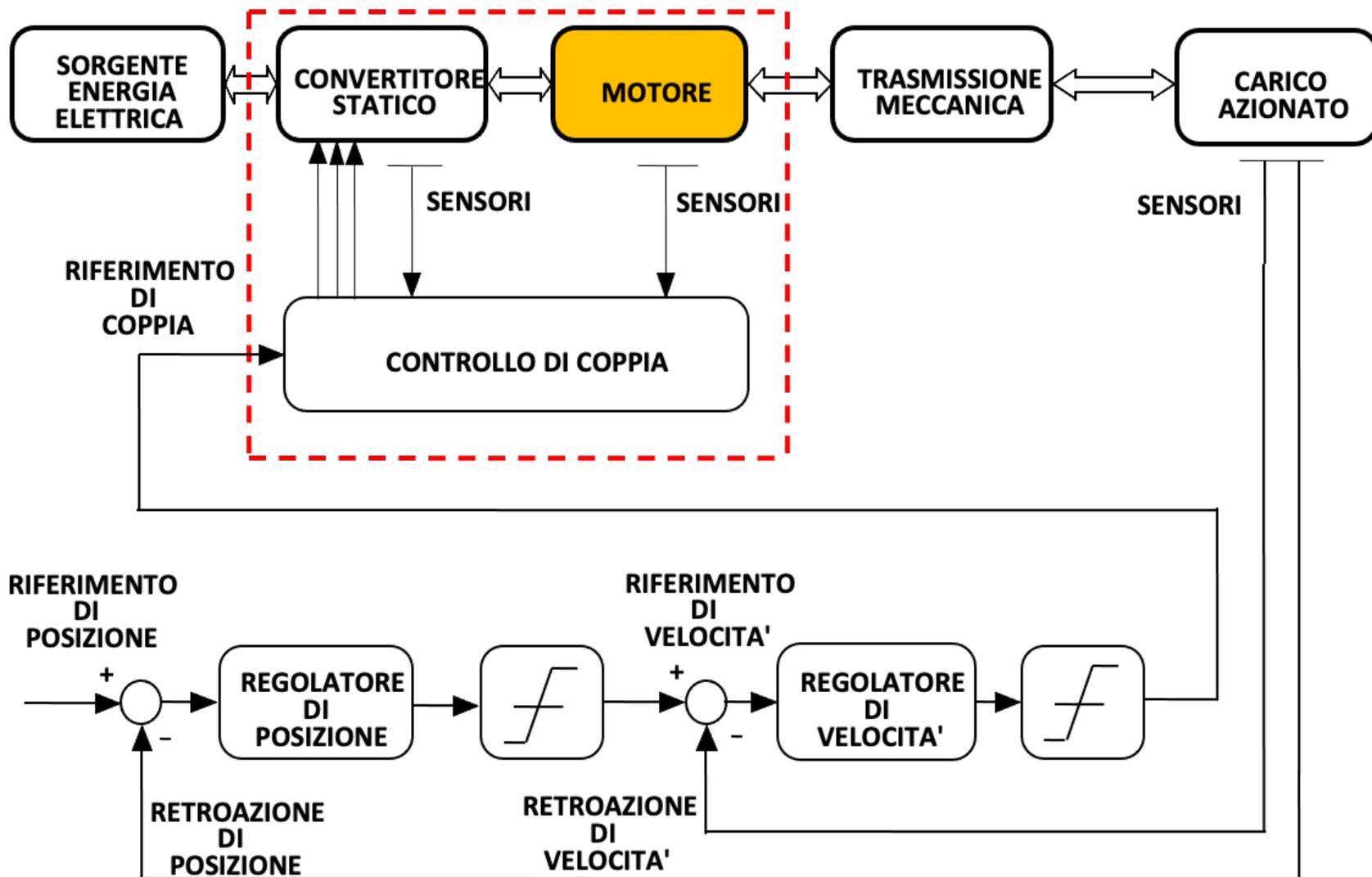
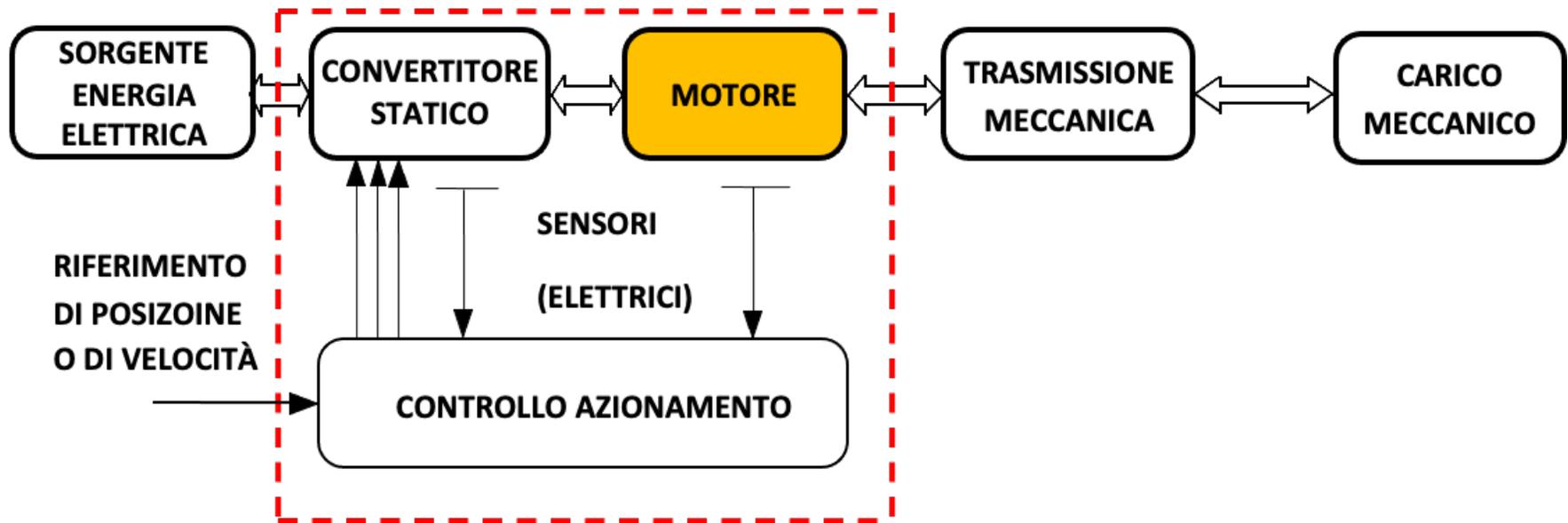
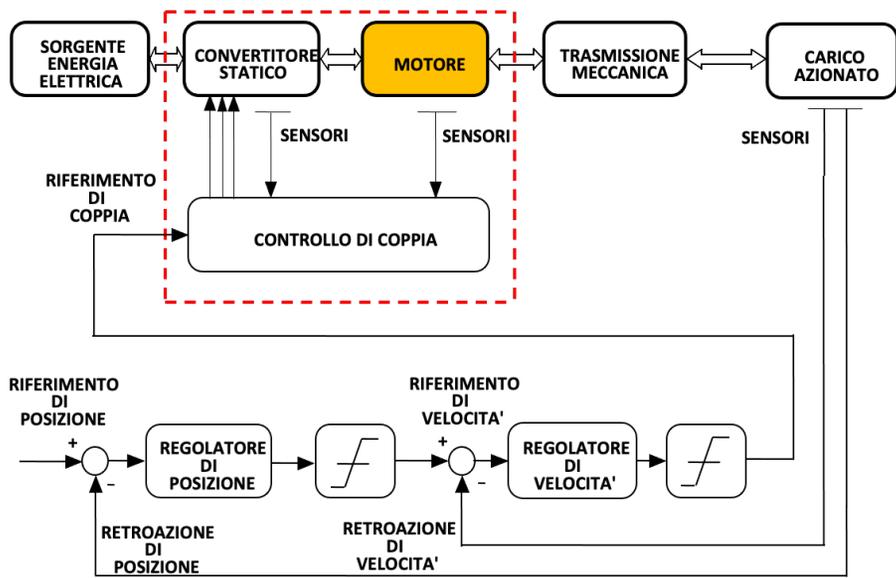


Fig. 1.2 Two examples of drive technology at opposite ends of the power range. Left picture, a very small (less than 1 W) drive, right picture, a high power (in excess of 10 MW) example [59]

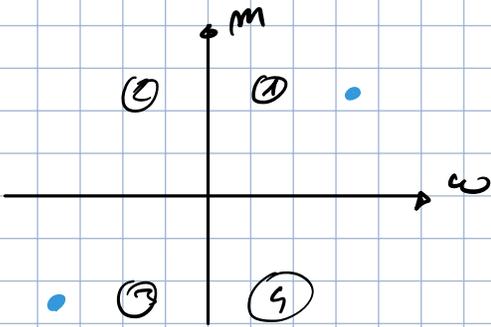


Azionamento elettrico con controllo a catena chiusa di posizione e velocità



Azionamento elettrico a catena aperta (manca la misura delle grandezze meccaniche)

QUADRANTI DI FUNZIONAMENTO



$M \cdot \omega = \text{potenza W}$

① ③

MOTORE

"in avanti"
"indietro"

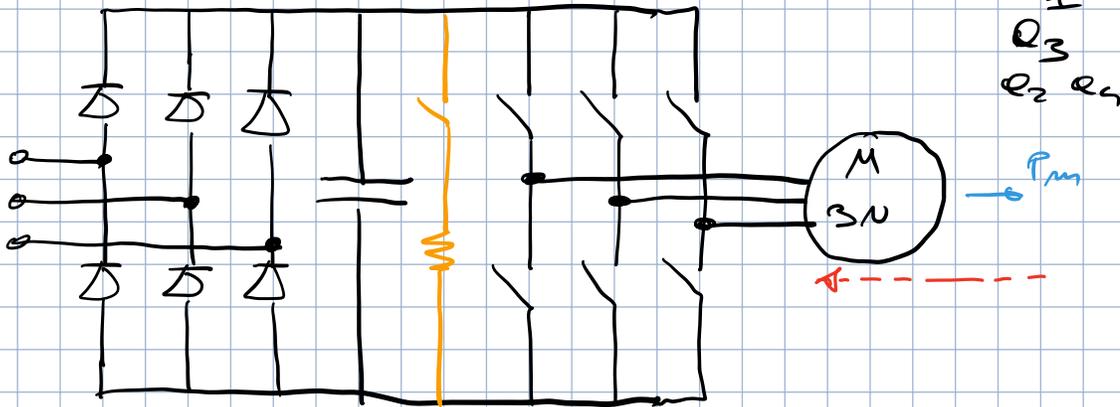
② ④

FRENO/GENERATORE

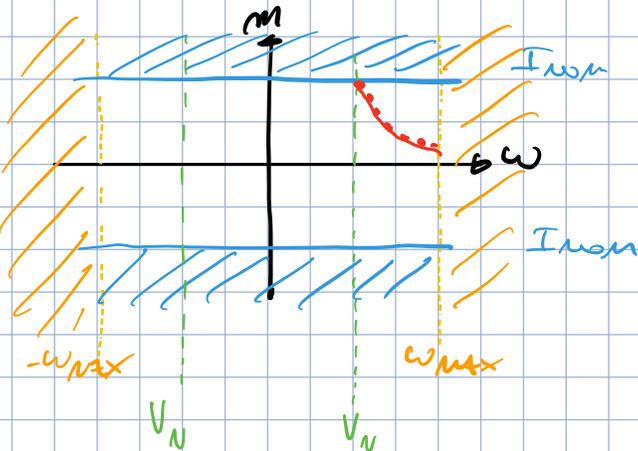


Convenzione da MOTORE!

P_el



LIMITI DI FUNZIONAMENTO



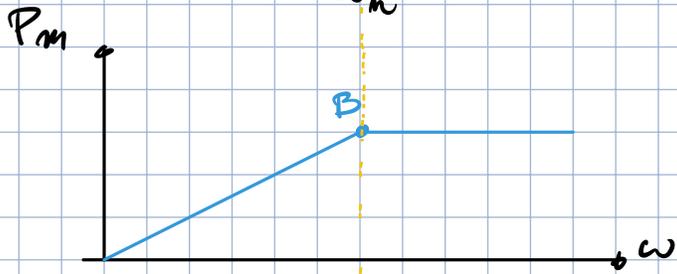
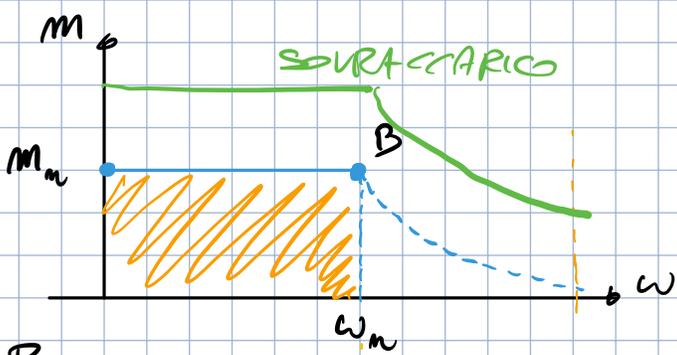
$$P_m = M \omega$$

$$M = f \cdot r \propto B L I$$

$$e = B L v \propto B L \omega$$

$$B = 1,7 \text{ T}$$

$$B \omega = v = \omega r = v_{max} = U_N$$



REGIONE
 LIMITE A
 COPPIA
 DISPONIBILE
 COSTANTE

REGIONE
 LIMITE A
 POTENZA
 DISPONIBILE
 COSTANTE

Appendice D: I diversi tipi di servizio

Con il termine servizio si definisce il ciclo di carico cui la macchina è sottoposta, inclusi se previsti i periodi di avviamento, frenatura elettrica, funzionamento a vuoto e riposo, nonché la loro durata e la loro sequenza nel tempo. Il servizio inteso come termine generico può essere tipizzato ad esempio come servizio continuo, di durata limitata o periodico. Il rapporto percentuale tra la durata di funzionamento a carico e la durata totale di un ciclo è definito rapporto di intermittenza.

È responsabilità dell'acquirente specificare il servizio. Se l'acquirente non lo specifica, il costruttore deve presupporre che sia applicabile il tipo di servizio S1 (servizio continuo). Il tipo di servizio deve essere designato dall'abbreviazione appropriata e l'acquirente può descriverlo basandosi sulle varie classificazioni secondo le indicazioni di seguito descritte.

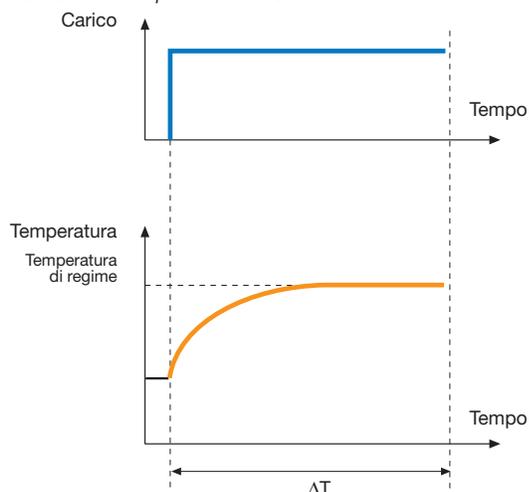
Attribuendo al motore le caratteristiche nominali (valori delle grandezze attribuite, generalmente dal costruttore, per una specifica condizione di funzionamento di una macchina) il costruttore deve scegliere una delle classi di servizio. Se non viene dichiarata alcuna designazione, si applicano le caratteristiche nominali relative al tipo di servizio continuo. Di seguito, sulla base della classificazione fornita nella norma CEI EN 60034-1, diamo alcune indicazioni relative ai tipi di servizi tipicamente presi come riferimento per indicare le caratteristiche nominali del motore.

Tipo di servizio continuo: per un motore idoneo a questa tipologia di servizio, vengono specificate le caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare per un periodo illimitato.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio identificato come S1.

Il Tipo di servizio S1 è definito come quel funzionamento a carico costante di durata sufficiente da consentire alla macchina il raggiungimento dell'equilibrio termico.

Servizio Continuo: Tipo di servizio S1



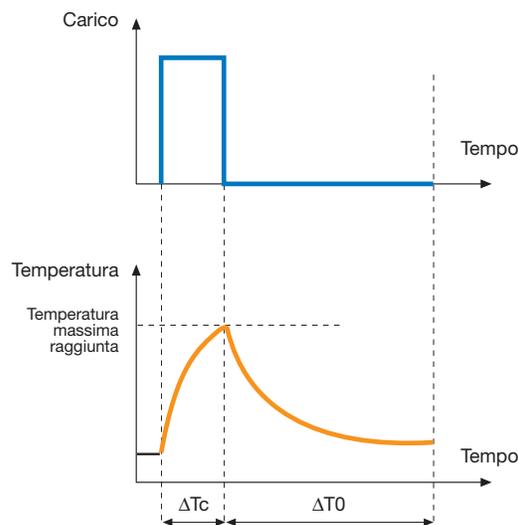
ΔT : Tempo sufficiente per consentire alla macchina il raggiungimento dell'equilibrio termico

Tipo di servizio di durata limitata: per un motore idoneo a questa tipologia di servizio, vengono specificate le caratteristiche nominali alle quali la macchina, avviata alla temperatura ambiente, può funzionare per un periodo di durata limitata.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio identificato come S2.

Il Tipo di servizio S2 è definito come quel funzionamento a carico costante per un periodo di tempo determinato, inferiore a quello richiesto per raggiungere l'equilibrio termico, seguito da un tempo di riposo di durata sufficiente a ristabilire l'equilibrio fra la temperatura della macchina e quella del fluido di raffreddamento. Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione della durata del servizio (S2 40minuti).

Servizio di durata limitata : Tipo di servizio S2

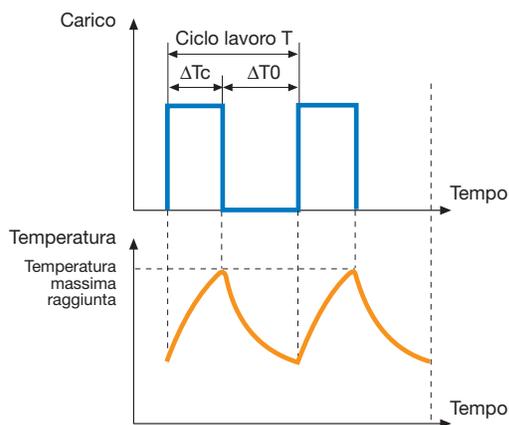


ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_0 : tempo di riposo

Tipo di servizio periodico: per un motore idoneo a questa tipologia di servizio, vengono specificate le caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare con cicli periodici. In questo servizio periodico il ciclo di carico non permette il raggiungimento dell'equilibrio termico. Questo insieme di caratteristiche nominali è abbinato ad una classe di servizio da S3 ad S8 e la dicitura completa permette di identificare il tipo di servizio periodico. Se non diversamente specificato, la durata di un ciclo di servizio deve essere di 10minuti ed il rapporto di intermittenza deve avere uno dei seguenti valori: 15%, 25%, 40%, 60%. Il rapporto di intermittenza è definito come il rapporto percentuale tra la durata di funzionamento a carico, ivi compresi gli avviamenti e le frenature elettriche, e la durata di un ciclo completo di lavoro.

Il Tipo di servizio S3 è definito come quella sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di riposo. Si trascura il contributo al riscaldamento dato dalla fase di avviamento. Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione del rapporto di intermittenza (S3 30%).

Servizio intermittente periodico : Tipo di servizio S3

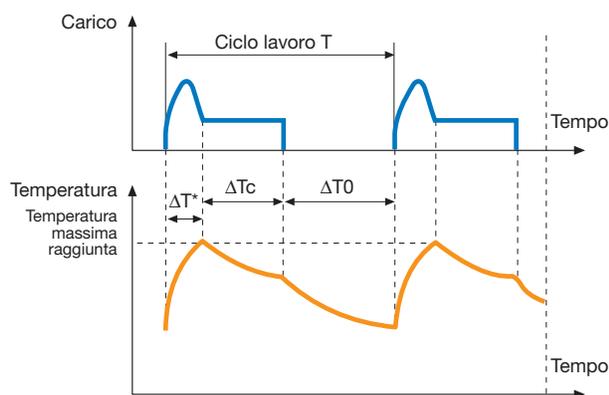


ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_0 : tempo di riposo
 Rapporto di intermittenza = $\Delta T_c / T$

Il Tipo di servizio S4 è definito come quella sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo non trascurabile di avviamento, un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di riposo.

Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione del rapporto di intermittenza dal momento di inerzia del motore J_M e dal momento d'inerzia del carico J_C , questi ultimi due riferiti all'albero del motore (S4 20% $J_M = 0,15 \text{ kg m}^2$ $J_C = 0,7 \text{ kg m}^2$).

Servizio intermittente periodico con avviamento : Tipo di servizio S4

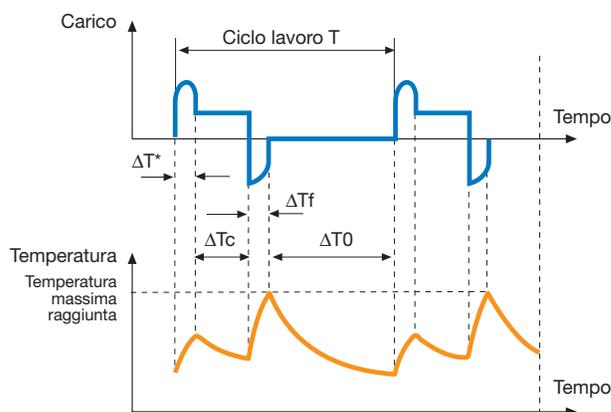


ΔT^* : tempo di avviamento/accelerazione
 ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_0 : tempo di riposo
 Rapporto di intermittenza = $(\Delta T^* + \Delta T_c) / T$

Il Tipo di servizio S5 è definito come quella sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di avviamento, un tempo di funzionamento a carico costante, un tempo di frenatura elettrica rapida ed un tempo di riposo.

La dicitura completa fa riferimento al tipo di servizio e riporta le stesse tipologie di indicazioni del caso precedente.

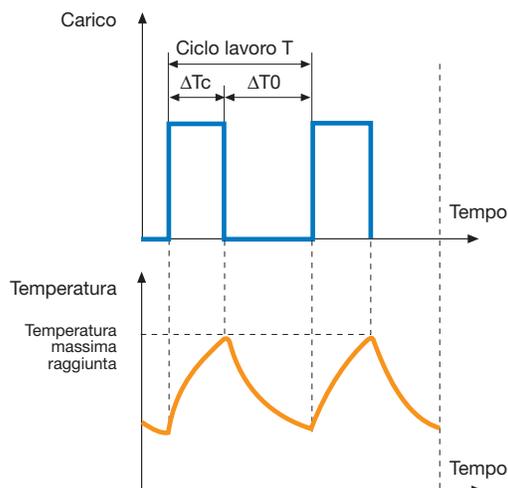
Servizio intermittente periodico con frenatura elettrica : Tipo di servizio S5



ΔT^* : tempo di avviamento/accelerazione
 ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_f : tempo di frenatura elettrica
 ΔT_0 : tempo di riposo
 Rapporto di intermittenza = $(\Delta T^* + \Delta T_c + \Delta T_f) / T$

Il Tipo di servizio S6 è definito come quella sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di funzionamento a vuoto. Non esiste alcun tempo di riposo. Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione del rapporto di intermittenza (S6 30%).

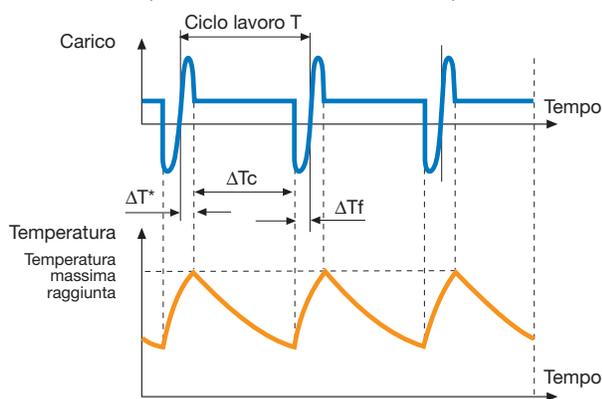
Servizio ininterrotto periodico con carico intermittente : Tipo di servizio S6



ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_0 : tempo di riposo
 Rapporto di intermittenza = $\Delta T_c / \Delta T_0$

Il Tipo di servizio S7 è definito come quella sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di avviamento, un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di frenatura elettrica. Non esiste alcun periodo di riposo. Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione del momento di inerzia del motore J_M e del momento di inerzia del carico J_L (S7 $J_M = 0,4\text{kg m}^2$ $J_L = 7,5\text{kg m}^2$).

Servizio ininterrotto periodico con frenatura elettrica : Tipo di servizio S7

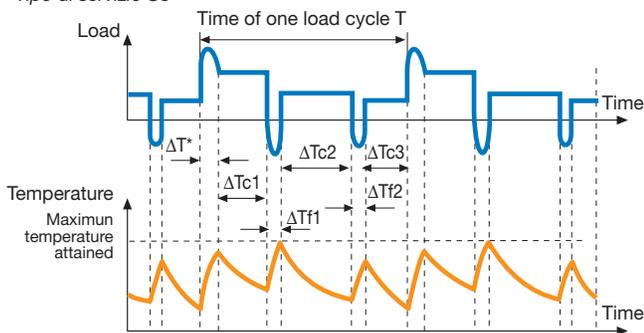


ΔT^* : tempo di avviamento/accelerazione
 ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_f : tempo di frenatura elettrica
 Rapporto di intermittenza = 1

Il Tipo di servizio S8 è definito come quella sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di funzionamento a carico costante con la prestabilita velocità di rotazione, seguito da uno o più tempi di funzionamento con altri carichi costanti corrispondenti a diverse velocità di rotazione.

Non esiste alcun tempo di riposo. Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione del momento di inerzia del motore J_M e del momento di inerzia del carico J_L , dalla potenza del carico con la velocità e il rapporto di intermittenza, per ogni regime di velocità (S8 $J_M = 0,7\text{kg m}^2$ $J_L = 8\text{kg m}^2$ 25kW 800girimini 25% 40kW 1250girimini 20% 25kW 1000girimini 55%).

Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità : Tipo di servizio S8



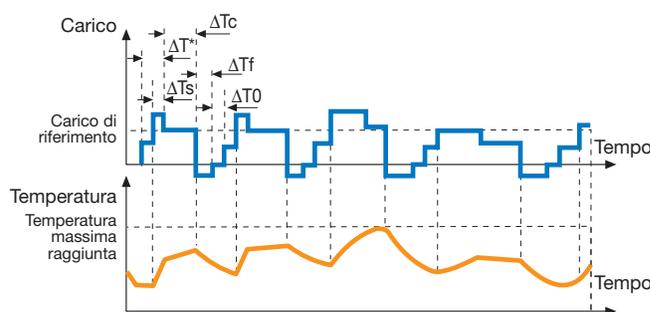
ΔT^* : starting/accelerating time
 ΔT_{c1} ; ΔT_{c2} ; ΔT_{c3} : operation time at constant load
 ΔT_{f1} ; ΔT_{f2} : time of electric braking
 Cyclic duration factor = $(\Delta T^* + \Delta T_{c1})/T$; $(\Delta T_{f1} + \Delta T_{c2})/T$; $(\Delta T_{f2} + \Delta T_{c3})/T$

Tipo di servizio non periodico: per un motore idoneo a questa tipologia di servizio, vengono specificate le caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare in modo non periodico. Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio identificato come S9.

Il Tipo di servizio S9 è definito come quel funzionamento in cui generalmente il carico e la velocità variano in modo non periodico nel campo di funzionamento ammissibile.

Questo servizio comprende sovraccarichi frequentemente applicati che possono essere largamente superiori ai valori di pieno carico.

Servizio con variazioni non periodiche di carico e di velocità : Tipo di servizio S9



ΔT^* : tempo di avviamento/accelerazione
 ΔT_s : tempo di funzionamento in sovraccarico
 ΔT_c : tempo di funzionamento a carico costante
 ΔT_f : tempo di frenatura elettrica
 ΔT_0 : tempo di riposo

Tipo di servizio per carichi distinti costanti: per un motore idoneo a questa tipologia di servizio, vengono specificate le caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare con uno specifico numero di carichi distinti per un periodo di tempo tale da consentire alla macchina di raggiungere l'equilibrio termico.

Il massimo carico ammissibile in un ciclo deve prendere in considerazione tutte le parti della macchina (il sistema di isolamento, i cuscinetti o altre parti in relazione alla dilatazione termica).

Il carico massimo non deve eccedere 1,15 volte il valore del carico basato sul tipo di servizio S1.

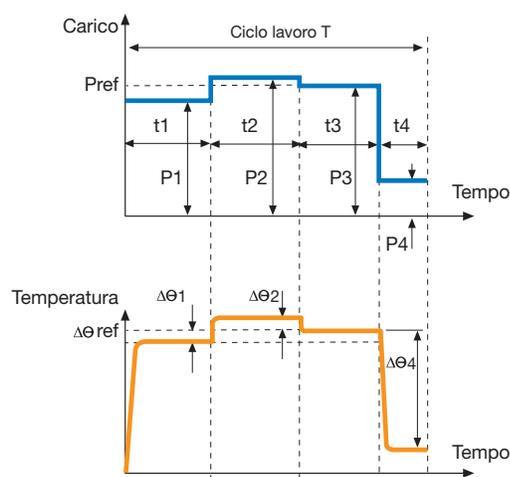
Altre limitazioni per il carico massimo possono essere date in termini di limitazione della temperatura dell'avvolgimento. Il carico minimo può avere valore zero, quando la macchina funziona a vuoto o si trova in stato di riposo.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio identificato come S10.

Il Tipo di servizio S10 è definito come quel funzionamento che consiste in un numero specifico di valori distinti di carico mantenendo ogni valore per un tempo sufficiente

per consentire alla macchina di raggiungere l'equilibrio termico. Il carico minimo durante un ciclo di servizio può essere nullo e relativo ad una condizione di vuoto o di stato di riposo. Una dicitura completa prevede la sigla del tipo di servizio seguita dall'indicazione della quantità $p/\Delta t$ relativa al carico parziale e alla sua durata, della quantità T_L che rappresenta la vita termica prevista per il sistema di isolamento espressa in valore relativo rispetto alla vita termica attesa nel caso di tipo di servizio S1 con potenza nominale, e della quantità r che indica il carico in fase di riposo (S10 $p/\Delta t = 1, 1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $T_L = 0,6$).

Servizio con carichi costanti distinti : Tipo di servizio S10



$\Delta\theta_1; \Delta\theta_2; \Delta\theta_4$: differenza tra la sovratemperatura dell'avvolgimento per ciascuno dei diversi carichi in un ciclo e la sovratemperatura basata sul tipo di servizio S1 con carico di riferimento

$\Delta\theta_{ref}$: temperatura al carico di riferimento basata sul tipo di servizio S1
 $t_1; t_2; t_3; t_4$: durata di un carico costante in un ciclo
 $P_1; P_2; P_3; P_4$: carico costante in un ciclo
 P_{ref} : carico di riferimento, basato sul tipo di servizio S1

Tipo di servizio per carico equivalente: per un motore idoneo a questa tipologia di servizio, vengono specificate le caratteristiche nominali alle quali, al fine delle prove, la macchina può funzionare a carico costante fino a raggiungere l'equilibrio termico e che portano alla stessa sovratemperatura dell'avvolgimento statorico che si avrebbe al termine della prova per il tipo di servizio specificato.

Questa classe di caratteristiche nominali, se applicabile, corrisponde al tipo di servizio identificato come "equ".

Solids

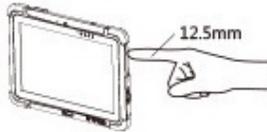
Waters

1



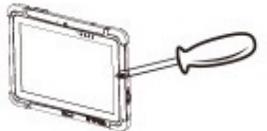
Protected against a solid object greater than 50 mm such as a hand

2



Protected against a solid object greater than 12.5 mm such as a finger

3



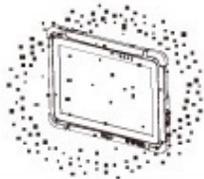
Protected against a solid object greater than 2.5 mm such as a screwdriver

4



Protected against a solid object greater than 1 mm such as a wire

5



Dust Protected, Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. 2-8 hours

6



Dust tight. No ingress of dust. 2-8 hours

1



Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted

2



Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted up to 15 degrees from the vertical. Limited ingress permitted

3



Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Limited ingress permitted for three minutes.

4



Protected against water splashed from all directions. Limited ingress permitted.

5



Protected against jets of water. Limited ingress permitted.

6



Waters from heavy seas of water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities

7



Protection against the effects of immersion in water between 15 cm and 1 m for 30 minutes

8



Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods

Rating Example:

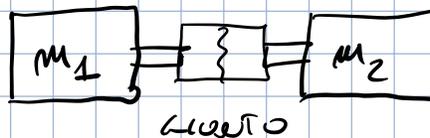
IP65

INGRESS PROTECTION

CARICHI MECCANICI

SISTEMI RIGIDI

ELASTICI



$$m_L = f(t, \vartheta, \omega, \alpha)$$

$$= m_{L,t}(t) + m_{L,\vartheta}(\vartheta) + m_{L,\omega}(\omega) + m_{L,\alpha}(\alpha)$$

COPPIA DI
DISTURBO

COPPIA
STATICA

COPPIA
VISCOSA

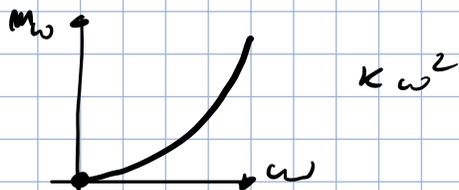
COPPIA
INERZIALE

$m_{L,t}(t)$ è il carico vero e proprio

$m_{L,\vartheta}(\vartheta)$ dipende dalla posizione



$m_{L,\omega}(\omega)$ COPPIA ABBITTI / FCUIDO



APPROSSIMAZIONE LINEARE

$m_{L,\alpha}(\alpha)$ COPPIA INERZIALE