

## WEB Modi operativi dei motori elettrici

I motori asincroni sono normalmente costruiti per funzionare in servizio continuo, a una temperatura ambiente di 40 °C e a un'altitudine di 1000 m sul livello del mare.

La maggior parte dei motori, tuttavia, è fatta funzionare in modo continuo ed è classificata dalle norme CEI 2-3. Alcuni motori rimangono accesi solo per breve tempo, mentre altri funzionano tutto il giorno, ma sono caricati solo brevemente; numerosi altri motori devono accelerare un volano di grandi dimensioni oppure funzionano a commutazione e con frenatura elettrica. In questi casi, il motore si riscalda in maniera diversa rispetto al modo operativo continuo.

Per evitare danni all'avvolgimento in particolare agli isolanti e al rotore del motore, dovuti a surriscaldamento, occorre considerare i seguenti processi speciali di riscaldamento.

Nella scelta del motore, in funzione dell'applicazione, è necessario conoscere il modo operativo, in quanto il rendimento del motore può variare molto rispetto al rendimento in servizio continuo.

Pur essendo moltissimi i modi operativi possibili, le norme CEI EN 60034-1 indicano dieci principali modi operativi, da S1 a S10, ai quali può essere ricondotta, in pratica, quasi ogni situazione che si può verificare.

Le situazioni che si potrebbero verificare si riconducono a una delle categorie indicate in tab. 1.

Modo operativo	Descrizione
S1	Servizio continuo
S2	Servizio di durata limitata
S3	Servizio intermittente periodico senza avviamento
S4	Servizio intermittente periodico con avviamento
S5	Servizio intermittente periodico con avviamento e frenatura elettrica
S6	Servizio ininterrotto periodico con carico intermittente
S7	Servizio ininterrotto periodico con avviamento e frenatura elettrica
S8	Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità
S9	Servizio ininterrotto con variazione non periodica di carico e velocità
S10	Servizio con carichi costanti distinti

Tab. 1 - Principali modi operativi secondo le norme CEI EN 60034-1.

I costruttori di motori devono definire la capacità di carico del motore secondo una di queste categorie e, dove è necessario, fornire i valori del tempo di funzionamento, del periodo di carico o del relativo rapporto di inserzione.

Nelle righe che seguono sono riportate le caratteristiche dei modi operativi.

**Servizio continuo (S1)** (v. fig. 1a). Il motore funziona a carico costante per un tempo sufficiente a raggiungere almeno l'equilibrio termico. Il tempo di funzionamento a carico  $\Delta T$  (tempo sufficiente per consentire alla macchina il raggiungimento dell'equilibrio termico) è maggiore della costante termica del motore. Esempio di indicazione sintetica del servizio: S1, 1 kW.

**Servizio di durata limitata (S2)** (v. fig. 1b). Il motore funziona a carico costante per un tempo limitato non sufficiente a raggiungere l'equilibrio termico.

Segue un tempo di riposo  $\Delta T_0$  sufficiente a far ritornare il motore a temperatura ambiente, ovvero la temperatura della macchina non deve differire più di 2 K da quella del refrigerante.

Si parla di servizio di durata limitata quando il tempo  $\Delta T_c$  di funzionamento a carico è uguale o inferiore a tre volte la costante termica del motore.

Rispetto al servizio continuo, il motore è in grado di sviluppare una potenza maggiore durante il tempo in cui è sotto carico.

Esempio di indicazione sintetica del servizio: S2, 10 min, 11 kW. Per il tempo di funzionamento  $\Delta T_c$  sono consigliati periodi di 10, 30, 60 e 90 min.

**Servizio intermittente periodico senza avviamento (S3)** (v. fig. 1c). Il motore funziona secondo un ciclo comprendente un tempo di funzionamento a carico costante  $\Delta T_c$ , generalmente tanto breve da non consentire il raggiungimento dell'equilibrio termico e tale che la corrente di avviamento non incida in modo evidente sul riscaldamento, e un tempo di riposo  $\Delta T_0$ .

Anche in questo caso, il tempo  $\Delta T_c$  di funzionamento a carico deve essere uguale o inferiore a tre volte la costante termica del motore. Durante questo periodo, la potenza può essere maggiore rispetto alla potenza continua del motore.

L'indicazione sintetica del servizio è data dal rapporto percentuale di intermittenza rispetto al periodo di tempo preso a riferimento (ciclo di lavoro  $T = \Delta T_c + \Delta T_0$ ) che è, normalmente, di 60 min (per esempio, 15% - 60 min, 11 kW). Rapporto di intermittenza =  $\Delta T_c / (T) \cdot 100$  (%).

Se la durata del ciclo  $T$  non è specificata, essa vale 10 min. I valori consigliati per il rapporto di intermittenza sono: 15%, 25%, 40% e 60%.

Si noti che, nel caso di servizi di durata limitata e intermittente, si ha un aumento della potenza disponibile all'albero a causa del maggiore sfruttamento termico dei materiali, che è consentito perché a un periodo di lavoro segue un periodo di raffreddamento, come indicato nella tab. 4.7.

Tipo	Poli	Servizio S2		Servizio S3			
		30 min.	60 min.	15%	25%	40%	60%
63-100	2	105	100	115	110	110	105
	4	110	100	140	130	120	110
	6, 8	110	100	140	135	125	115
112-250	2, 4	120	110	145	130	110	107
	6, 8	120	110	140	125	108	10

Tab. 2 - Aumento percentuale della potenza nominale per servizi S2 e S3.

**Servizio intermittente periodico con avviamento (S4)** (v. fig. 1d). Il motore funziona secondo un ciclo comprendente un tempo di avviamento/accelerazione notevole ( $\Delta T^*$ ), un tempo di funzionamento a carico costante ( $\Delta T_c$ ) e un tempo di riposo ( $\Delta T_0$ ), quindi il ciclo di lavoro completo  $T = \Delta T^* + \Delta T_c + \Delta T_0$ .

Il servizio periodico fa sì che l'equilibrio termico non sia raggiunto durante il periodo di carico. Rapporto di intermittenza =  $(\Delta T^* + \Delta T_c) / (T) \cdot 100$  (%).

In questo caso, l'indicazione sintetica del servizio deve essere accompagnata dal numero di inserzioni all'ora (per esempio S4, 25%, 500 avviamenti per ora, 11 kW).

Per questo tipo di servizio, occorre fare attenzione se il motore si arresta sotto l'effetto del carico al termine del ciclo oppure se è arrestato mediante frenatura meccanica. Occorre considerare, inoltre, il caso in cui il motore continui a funzionare dopo che è stato tolto il carico.

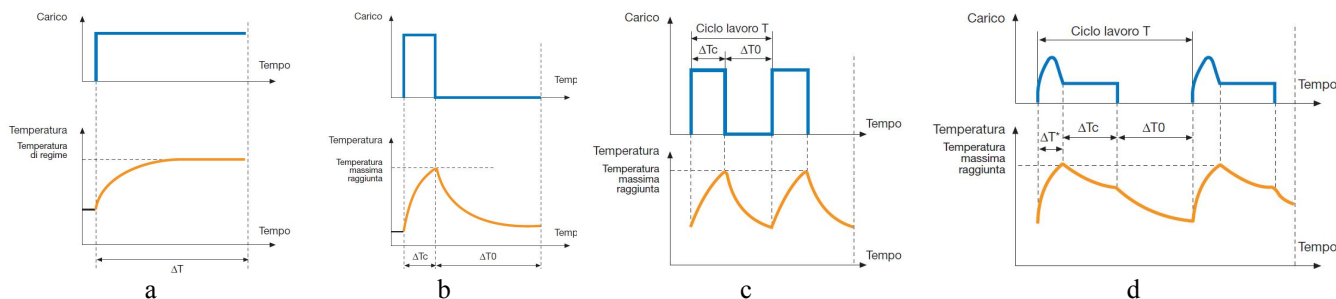


Fig. 1 - Modi operativi dei motori elettrici secondo le norme CEI EN 60034-1: a) Servizio continuo (S1) - b) Servizio di durata limitata (S2) - c) Servizio intermittente periodico senza avviamento (S3) - d) Servizio intermittente periodico con avviamento (S4) (ABB).

In questo caso, infatti, gli avvolgimenti si raffreddano più velocemente, mentre, nel caso contrario, occorre presumere che il motore si fermi entro un tempo molto breve.

In questo tipo di servizio, il numero massimo di azionamenti a vuoto è utilizzato come base su cui calcolare la frequenza massima dei turni di funzionamento in funzione della coppia di carico, dell'eventuale massa aggiuntiva e di un possibile momento di inerzia. Rispetto al servizio continuo S1 è possibile notare una riduzione di potenza.

**Servizio intermittente periodico con avviamento e frenatura elettrica (S5)** (v. fig. 2a). Il motore funziona come il servizio S4, ma con l'aggiunta di una frenatura con mezzi elettrici della durata di  $\Delta T_f$ .

Il servizio periodico fa sì che l'equilibrio termico non sia raggiunto durante il periodo di carico. Rapporto di intermittenza =  $(\Delta T^* + \Delta T_c + \Delta T_f)/(T) \cdot 100$  (%).

Esempio di indicazione sintetica del servizio: S5, 25%, 500 avviamenti per ora, frenatura per inversione di fase, 11 kW. In questo modo operativo è necessaria una riduzione di potenza rispetto al servizio continuo S1.

**Servizio ininterrotto periodico con carico intermittente (S6)** (v. fig. 2b). Il motore funziona secondo il ciclo di lavoro (T), comprendente un tempo di funzionamento a carico costante ( $\Delta T_c$ ), seguito da un vuoto senza tempo di riposo ( $\Delta T_0$ ).

Dopo il tempo di funzionamento  $\Delta T_c$ , il motore continua a girare a vuoto e, a causa della corrente a vuoto, non raggiunge la temperatura del refrigerante, ma è ventilato durante il tempo di funzionamento a vuoto  $\Delta T_0$ . Rapporto di intermittenza =  $\Delta T_c/(\Delta T_c + \Delta T_0) \cdot 100$  (%).

Esempio di indicazione sintetica del servizio: S6, 25%, 40 min, 11 kW. Il servizio periodico fa sì che l'equilibrio termico non sia raggiunto durante il periodo di carico.

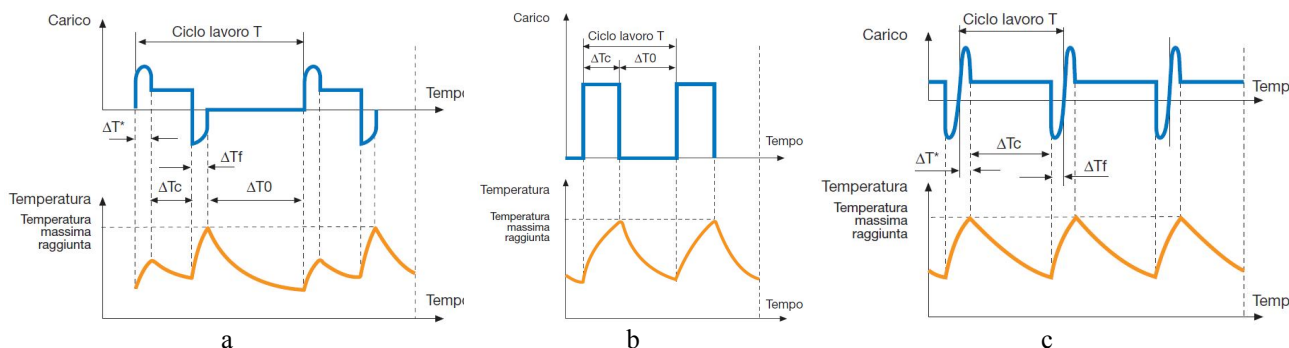
Rispetto al servizio continuo S1, è possibile selezionare una potenza maggiore durante il tempo di funzionamento  $\Delta T_c$ .

**Servizio ininterrotto periodico con avviamento e frenatura elettrica (S7)** (v. fig. 2c). Il motore funziona come il servizio S5, ma senza tempo di riposo. Rapporto di intermittenza vale 1 (100%).

Esempio di indicazione sintetica del servizio: S7, 500 cicli di servizio per ogni ora, frenatura per inversione di fase, 11 kW.

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,  $J_M = 0,4 \text{ kg/m}^2$ ,  $J_L = 7,5 \text{ kg/m}^2$ ).

Il servizio periodico fa sì che l'equilibrio termico non sia raggiunto durante il periodo di carico. In questo modo operativo è necessaria una riduzione di potenza rispetto al servizio continuo S1.



**Fig. 2** - Modi operativi dei motori elettrici secondo le norme CEI EN 60034-1: a) Servizio intermittente periodico con avviamento e frenatura elettrica (S5) - b) Servizio ininterrotto periodico con carico intermittente (S6) - c) Servizio ininterrotto periodico con avviamento e frenatura elettrica (S7) (ABB).

**Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità (S8)** (v. fig. 3a). Il motore funziona secondo un ciclo comprendente un tempo di funzionamento a carico costante  $\Delta T_{c1}$ , seguito da un tempo con diverso carico costante  $\Delta T_{c2}$  e diversa velocità di rotazione (realizzata, per esempio, mediante cambio del numero di poli nel caso di motori asincroni).

Il ciclo prevede, quindi, un tempo di avviamento/accelerazione  $\Delta T^*$ , successivi tempi di funzionamento con diversi carichi costanti  $\Delta T_{c1}$ ,  $\Delta T_{c2}$ ,  $\Delta T_{c3}$ , interposti da frenature con mezzi elettrici della durata di  $\Delta T_{f1}$ ,  $\Delta T_{f2}$ . Il tempo totale di un ciclo  $T = \Delta T^* + \Delta T_{c1} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c2} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c3}$ .

Rapporto di intermittenza 1 =  $(\Delta T^* + \Delta T_{c1}) / (\Delta T^* + \Delta T_{c1} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c2} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c3}) \cdot 100$  (%).

Rapporto di intermittenza 2 =  $(\Delta T_{f1} + \Delta T_{c2}) / (\Delta T^* + \Delta T_{c1} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c2} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c3}) \cdot 100$  (%).

Rapporto di intermittenza 3 =  $(\Delta T_{f2} + \Delta T_{c3}) / (\Delta T^* + \Delta T_{c1} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c2} + \Delta T_{f1} + \Delta T_{c3}) \cdot 100$  (%).

Non esiste alcun periodo di riposo. Esempio di indicazione sintetica del servizio: S8, 30%, 3000 giri/min, 1500 giri/min, 20 min, 2 cicli per ora, 11 kW.

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,  $J_M = 0,7 \text{ kg/m}^2$ ,  $J_L = 8 \text{ kg/m}^2$ , 25 kW 800 giri/min, 25%, 40 kW 1250 giri/min, 20%, 25 kW 1000 giri/min 55%).

Rispetto al servizio continuo S1, in questo modo operativo è necessaria una riduzione di potenza.

**Servizio ininterrotto con variazione non periodica di carico e di velocità (S9)** (v. fig. 3b). In questo modo operativo il carico e la velocità cambiano in maniera non periodica entro la gamma operativa prevista. Picchi di carico notevolmente superiori alla potenza nominale possono verificarsi frequentemente.

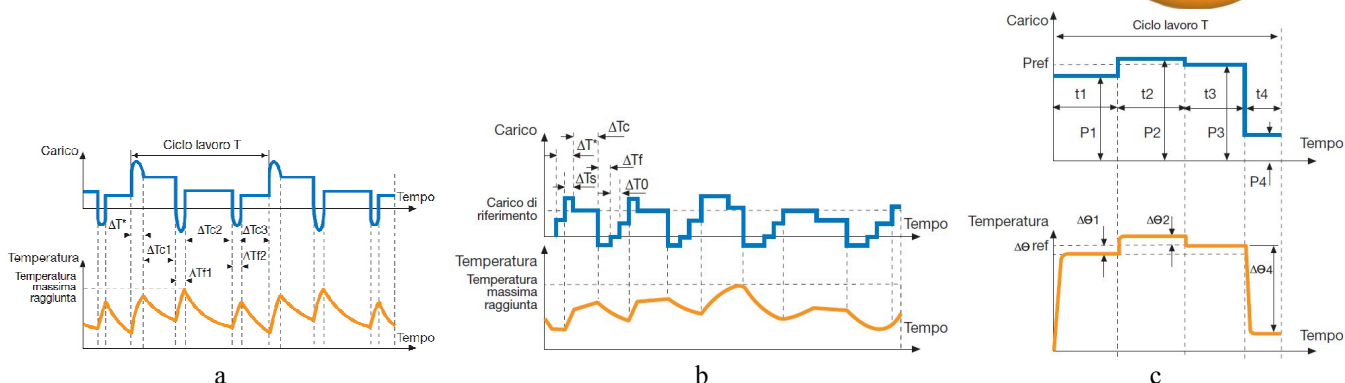
È possibile tenere in considerazione il sovraccarico mediante un accurato sovradimensionamento. I produttori e gli utilizzatori concordano, di regola, una potenza continua equivalente, anziché il carico variabile per velocità diverse, e un servizio irregolare compreso il sovraccarico. Il ciclo prevede le seguenti fasi operative: tempo di avviamento/accelerazione  $\Delta T^*$ , tempo di funzionamento in sovraccarico  $\Delta T_s$ , tempo di funzionamento a carico costante  $\Delta T_c$ , tempo di frenatura elettrica  $\Delta T_f$ , tempo di riposo  $\Delta T_0$ .

Esempio di indicazione sintetica del servizio: S9, 11 kW equivalente a 740 giri/min, 22 kW equivalente a 1460 giri/min. Rispetto al servizio continuo S1, la potenza continua equivalente del modo operativo S9 può essere inferiore, uguale o addirittura maggiore, secondo l'andamento del carico e la lunghezza degli intervalli.

**Servizio con carichi costanti distinti (S10)** (v. fig. 3c). Questo modo operativo 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 a una condizione di vuoto o di stato di riposo.

Facendo riferimento alla fig. 3c si ha che:  $\Delta\theta_1$ ,  $\Delta\theta_2$ ,  $\Delta\theta_4$  rappresentano la differenza tra la sovratemperatura dell'avvolgimento per ciascuno dei diversi carichi in un ciclo e la sovratemperatura  $\Delta\theta_{ref}$  sul tipo di servizio S1 con carico di riferimento;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  rappresentano la durata di un carico costante in un ciclo;  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  rappresentano il carico costante in un ciclo;  $P_{ref}$  è invece il carico di riferimento, basato sul tipo di servizio S1.

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,  $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2$ ;  $T_L = 0,6, r/0,1$ ).

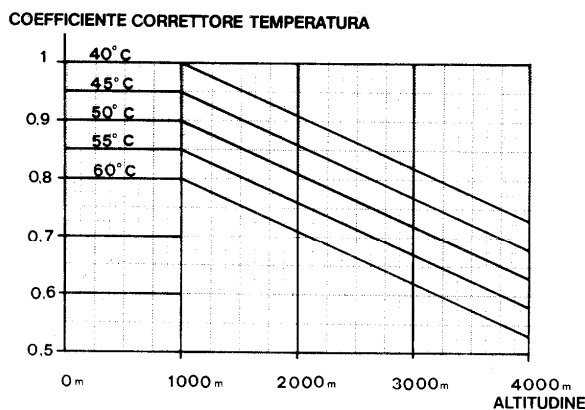


**Fig. 3** - Modi operativi dei motori elettrici secondo le norme CEI EN 60034-1: a) Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità (S8) - b) Servizio ininterrotto con variazione non periodica di carico e di velocità (S9) - c) Servizio con carichi costanti distinti (S10) (ABB).

La potenza nominale di un motore vale per il servizio continuo a una frequenza di 50 Hz, a una temperatura ambiente di 40 °C, a un'altitudine di 1000 m sul livello del mare, in conformità con quanto prescritto dalle norme CEI 2-3 e dalle norme IEC 60034-1.

Qualora il motore dovesse funzionare ad altitudini superiori, la diminuzione della densità dell'aria e la conseguente riduzione del suo effetto di raffreddamento determinano una riduzione della potenza nominale, secondo quanto indicato dai costruttori mediante appositi diagrammi.

Un'analogia riduzione deve essere calcolata se la temperatura risulta diversa rispetto a quella nominale (40 °C).



$$\text{Potenza catalogo} = \frac{\text{Potenza richiesta}}{\text{Coefficiente correttore}}$$

**Fig. 4** - Condizioni di funzionamento: altitudine e temperatura (ICME MOTORI).

Condizioni di funzionamento.

Altitudine e temperatura: le potenze indicate nelle tabelle si intendono per i motori la cui utilizzazione normale di funzionamento è prevista a una altezza inferiore a 1000 m sul livello del mare e a una temperatura ambiente massima di 40 °C, con servizio continuo S1 e frequenza 50 Hz.

Per condizioni di esercizio diverse da quelle specificate, i dati caratteristici variano secondo il coefficiente segnato nel grafico a sinistra.

Esempio.

Per poter ottenere una potenza all'albero di 1 kW con una temperatura di esercizio di 60 °C ad un'altitudine di 2000 m sul livello del mare, è necessario acquistare un motore da  $1/0,7 = 1,42$  kW (sui cataloghi sono disponibili motori da 1,5 kW).

In condizioni particolarmente gravose è necessario considerare, oltre alla temperatura ambiente e all'altitudine, altri parametri come l'umidità relativa, il clima tropicale, eventuali forti escursioni termiche, l'inquinamento da agenti chimici e l'azione corrosiva dell'ambiente marino.

In questi casi, i costruttori di motori prevedono degli speciali trattamenti degli avvolgimenti con vernici isolanti con elevata resistenza al calore, all'umidità e agli agenti chimici.