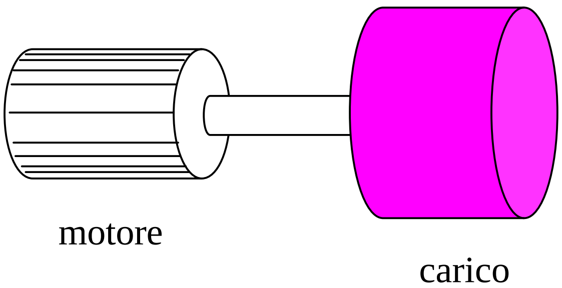
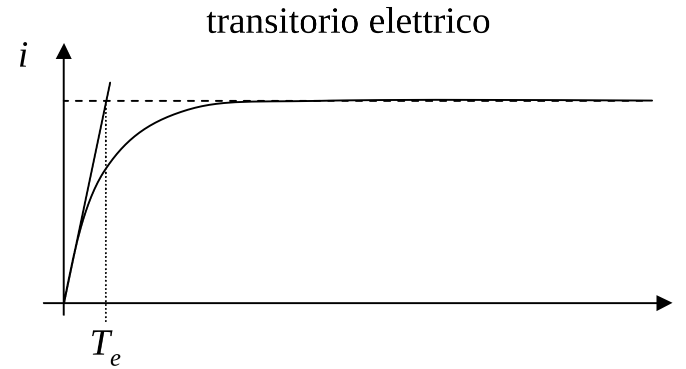
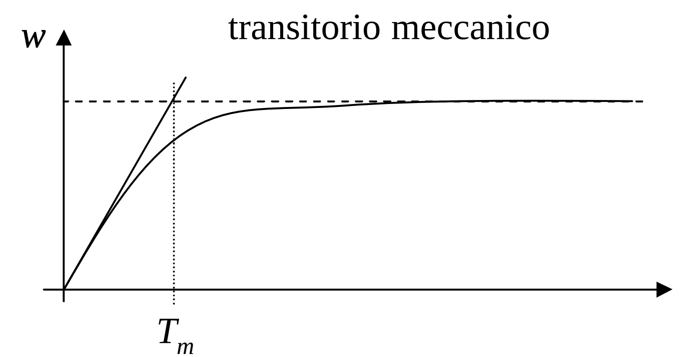
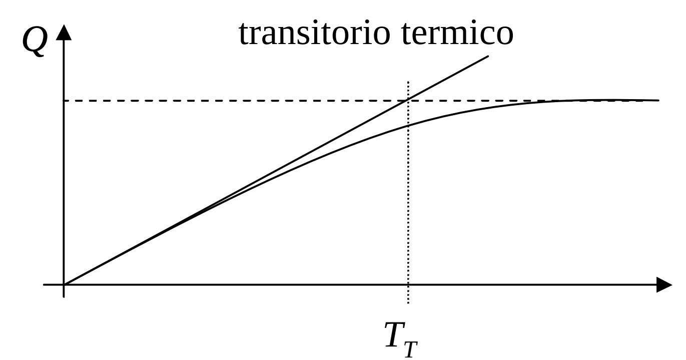
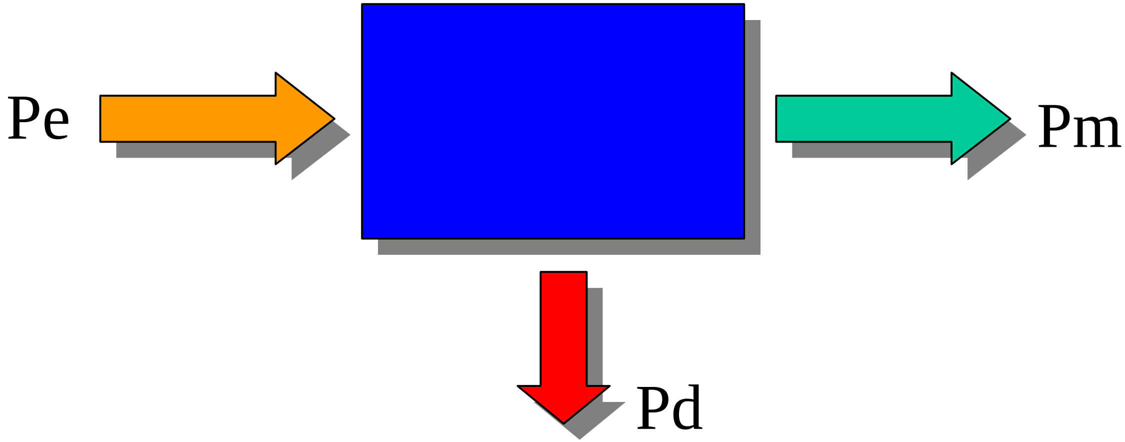


	secondi
T_e	$10^{-4} – 10^{-1}$
T_m	$10^{-3} – 10$
T_T	$10 – 10^{4}$









Perdite a vuoto (B, *w*)

- isteresi;
- correnti parassite;
- attrito (cuscinetti, spazzole);
- ventilazione.

Perdite a carico (*i*)

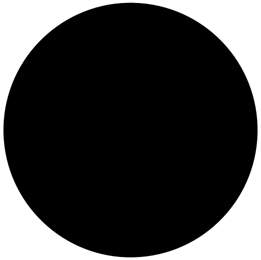
- effetto Joule;
- effetto pellicolare;
- addizionali.

CLASSE	Y	A	E	B	F	H	C
Temperatura max [°C]	90	105	120	130	155	180	>180
Sovratemperatura max [°C]		65	80	90	115	140	

temperatura ambiente di riferimento: 40°C

Y	cotone e carta non impregnati
A	cotone e presspan impregnati
E	resine epossidiche, materiali polivinilici
B,F,H	mica, fibre di vetro

Regola di Montsinger: la vita dell'isolante si dimezza in corrispondenza di un superamento continuativo della temperatura ammissibile di circa 8-9°C



macchina elettrica

Ipotesi:
- corpo omogeneo;
- sorgenti di calore uniformemente distribuite
- capacità di smaltimento uniforme sulla superficie esterna

Equazione di equilibrio energetico

$$\overbrace{Pdt}^{\text{Energia prodotta}} = \overbrace{C\,dJ}^{\text{Energia immagazzinata}} + \overbrace{a\,S\,J\,dt}^{\text{Energia scambiata per convezione}}$$

P è la potenza dissipata nel tempo dt attraverso la superficie di scambio S, C è la capacità termica del motore, J la sovratemperatura rispetto a quella ambiente, dJ la variazione di temperatura che si produce nel motore nel tempo dt, a il coefficiente di scambio termico per convezione.

$$P\,dt = C\,dJ + a\,S\,J\,dt \quad \Rightarrow \quad P = C\frac{dJ}{dt} + AJ \qquad A = a\,S$$

$$J(t) = (J_0 - J_\infty)e^{-\frac{t}{T}} + J_\infty$$

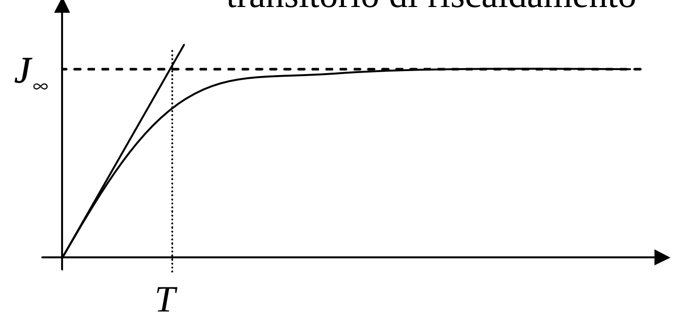
$$T = \frac{C}{A}$$

$$J_\infty = \frac{P}{A}$$

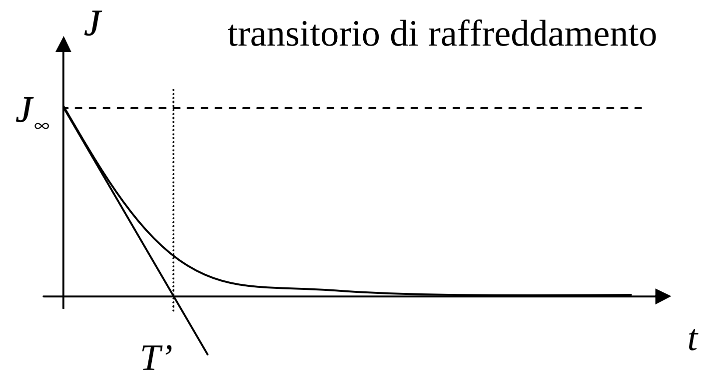
$$se \quad J_0 = 0$$

$$J(t) = J_\infty(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

transitorio di riscaldamento



$$J(t) = J_{\infty} e^{-\frac{t}{T'}}$$

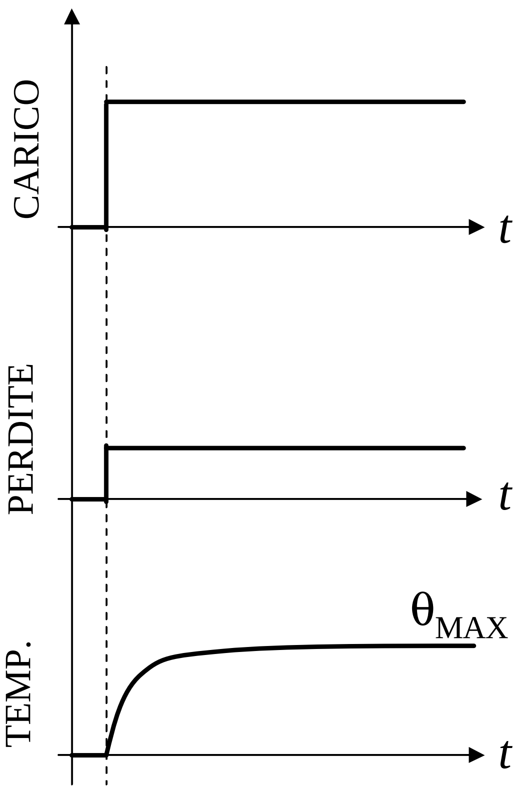


Generalmente $T' > T$

valori di alcune costanti di tempo termiche		
motori di piccola potenza		5-30 minuti
motori aperti a ventilazione forzata		50-70 minuti
motori chiusi a ventilazione forzata		90-120 minuti
motori ermetici		120-240 minuti

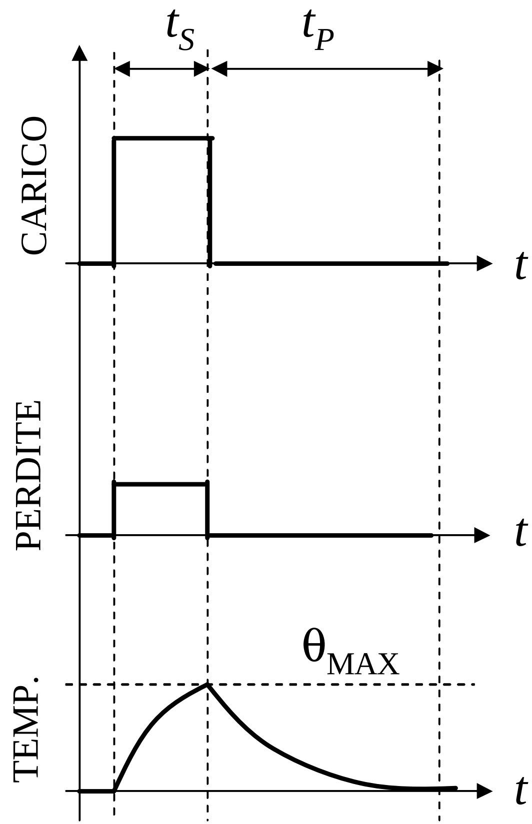
Norme CEI 2-3, IEC 34-1 → 9 tipi di servizio

S1	Servizio continuativo
S2	Servizio di durata limitata
S3	Servizio intermittente periodico
S4	Servizio intermittente periodico con avviamento
S5	Servizio intermittente periodico con frenatura elettrica
S6	Servizio ininterrotto periodico con carico intermittente
S7	Servizio ininterrotto periodico con frenatura elettrica
S8	Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità
S9	Servizio con variazioni non periodiche di carico e velocità



(S1) - Servizio continuo

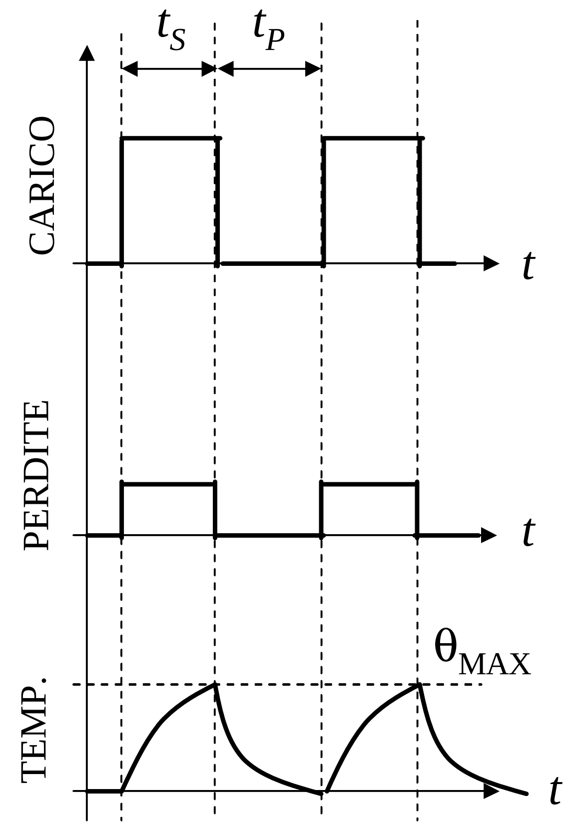
$t_S > 3\text{-}4\ T$



(S2) - Servizio di durata limitata

$t_S < 3\text{-}4\ T$

$t_P > 3\text{-}4\ T$



(S3) - Servizio intermittente periodico

rapporto di intermittenza $\dfrac{t_s}{t_s + t_p}$

Riduzione di un servizio non continuativo al servizio continuativo equivalente

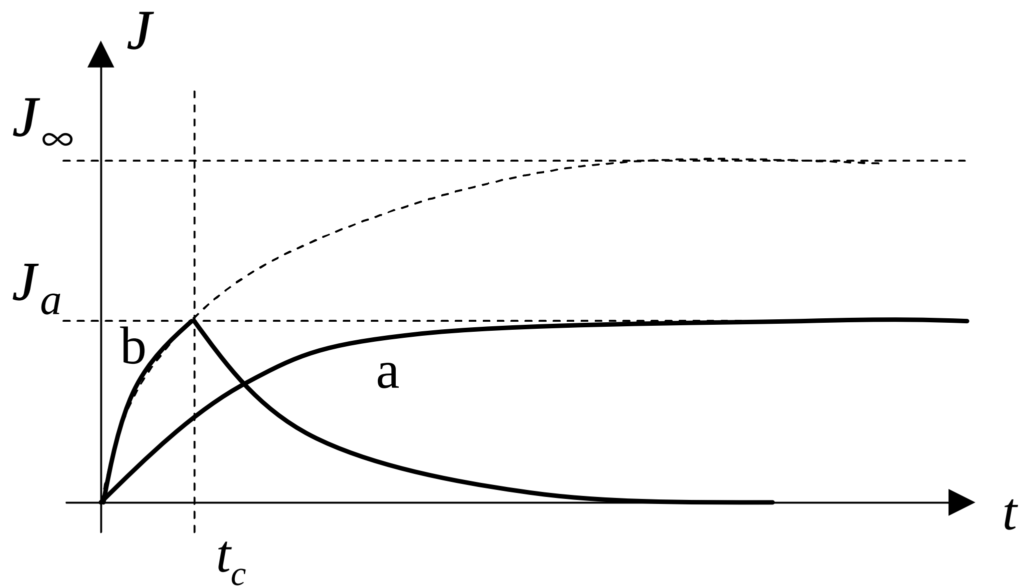
L'equivalenza viene determinata imponendo parità di sollecitazioni termiche fra la macchina destinata ad un servizio non continuativo e quella equivalente.

$$P_p = \underbrace{k_1 P_n}_{\text{Perdite a vuoto}} + \underbrace{k_2 P_n \left(\frac{I}{I_n} \right)^2}_{\text{Perdite a carico}}$$

IPOTESI:

Costanti k_1 e k_2, la capacità di smaltimento del calore verso l'ambiente e la costante di tempo termica vengono considerate uguali per la macchina in servizio non continuativo e per quella equivalente.

Riduzione di un servizio di durata limitata



$$P_n \quad \rightarrow \quad J = J_a\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (curva \quad a)$$

Funzionamento con carico normale

$$P_{d.l.} \quad \rightarrow \quad J = J_\infty\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (curva \quad b)$$

Funzionamento con sovraccarico

$$J = J_a \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad \text{con} \quad J_a = \frac{P_{p,n}}{A}$$

$$J = J_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad \text{con} \quad J_\infty = \frac{P_{p,d.l.}}{A}$$

per $t = t_c$ $\Rightarrow$ $J = J_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$ $\quad J\big|_{t=t_c} = J_a$ $\Rightarrow$ $J_a = J_\infty \left(1 - e^{-\frac{t_c}{T}} \right)$

definendo $q = \dfrac{P_{p,d.l.}}{P_{p,n}}$ $\Rightarrow$ $\dfrac{P_{p,n}}{A} = \dfrac{P_{p,d.l.}}{A} \left(1 - e^{-\frac{t_c}{T}} \right)$ $\Rightarrow$ $q = \dfrac{J_\infty}{J_a} = \dfrac{1}{\left(1 - e^{-\frac{t_c}{T}} \right)}$

$$q = \frac{P_{p,d.l.}}{P_{p,n}} = \frac{k_1 P_n + k_2 P_n \left(\frac{I_{d.l.}}{I_n}\right)^2}{(k_1 + k_2) P_n}$$

Ipotesi: considerando i valori di tensione, rendimento e (eventualmente) fattore di potenza uguali per il funzionamento in regime di d.l. e per quello in regime continuo $\Rightarrow$ $\frac{I_{d.l.}}{I_n} = \frac{P_{d.l.}}{P_n}$

$\Downarrow$

$$q = \frac{k_1 + k_2 \left(\frac{P_{d.l.}}{P_n}\right)^2}{(k_1 + k_2)} \Rightarrow \frac{P_{d.l.}}{P_n} = \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{k_2}\right) q - \frac{k_1}{k_2}}$$

Potenza massima sviluppabile dalla macchina in servizio di d.l. per un tempo t_c