

TC2 - S.Q.

TC2  **TECNIDEA CIDUE**
S.r.l.

...ideas in motion...

n°24
Aprile 2023

GIORNALE
notizie Tecniche



...ideas in motion...

ARGOMENTI TRATTATI: Trasmissioni a cinghia



Redazione Dott. Giorgio Canova

Franco Canova: Idee Creazioni Invenzioni

TRASMISSIONI A CINGHIA: Calcolo dei tiri e definizione del tenditore

Le trasmissioni a cinghia sono generalmente costituite da una cinghia ad anello chiuso e due pulegge, una motrice ed una condotta. Numerosi sono i tipi di cinghia presenti sul mercato, ma i più utilizzati sono: cinghie piane, cinghie tonde e cinghie Poly-V ma soprattutto le cinghie trapezoidali eseguite nelle varie sezioni: Z-A-B-C-D-E etc. Per le cinghie dentate consultare i capitoli dedicati in quanto si tratta di trasmissioni positive. Pur essendo di vari tipi tutte le cinghie sottostanno ad un unico principio generale di funzionamento che ne determina le regole base di progettazione, calcolo ed esecuzione fig. 1

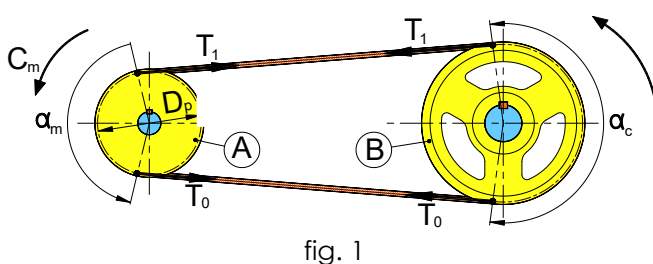


fig. 1

- A = puleggia motrice
- B = puleggia condotta
- D_p = diametro primitivo puleggia motrice in mm
- T_1 = tensione sul ramo teso in Newton
- T_0 = tensione sul ramo condotto in Newton
- C_m = momento massimo sull'albero motore in Newton
- M_t = momento da trasmettere a regime in Newton
- α_m = angolo di avvolgimento puleggia motrice
- α_c = angolo di avvolgimento puleggia condotta



- Le condizioni ideali di applicazione sono date da:
 - Corretto sviluppo della cinghia in tensione
 - Totale contatto della cinghia sulle pulegge in corrispondenza degli angoli di avvolgimento α_m e α_c

Con queste premesse è evidente che la condizione ideale per garantire un corretto funzionamento (fig.2) va soddisfatta l'espressione:

$$F \leq T_1 \quad (\text{esp. a})$$

e che

$$T_1 = T_0 \quad (\text{esp. b})$$

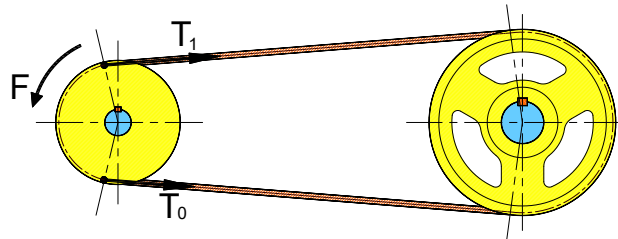


fig. 2

- Purtroppo le condizioni reali di funzionamento presentano delle criticità, in primo luogo non è sempre garantito il rapporto di trasmissione a causa di inevitabili errori o inconvenienti quali:
 - Errato sviluppo della cinghia
 - Bassi angoli di avvolgimento α_m (puleggia motrice) e α_c (puleggia condotta)
 - Basso coefficiente d'attrito " η " per cause dirette o derivate
 - Vibrazioni o funzionamenti intermittenti
 - Insufficiente tensionamento della cinghia
- Ogn'una delle anomalie sopra citate può essere causa di slittamenti della cinghia sulle pulegge e quindi errori di funzionamento, quali variazione della velocità e riduzione della coppia trasmessa. Per eliminarli si rende necessario l'impiego di un tendicinghia automatico che recupera gli allungamenti, assorbe le vibrazioni, aumenta gli angoli di avvolgimento ma soprattutto garantisce la tensione della cinghia; il suo impiego crea un nodo "n" nel punto di contatto del rullo tenditore con la cinghia ed è proprio in questa posizione nodo "n" che si manifestano le forze in gioco che producono le risultanti T_0 e quindi T_1 che determinano la condizione minima di equilibrio necessario alla produzione del moto (fig. 3).

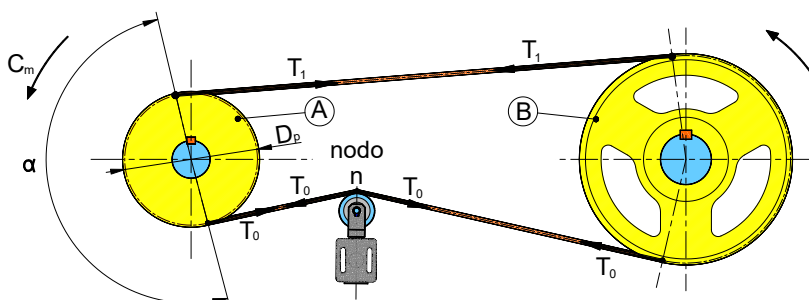
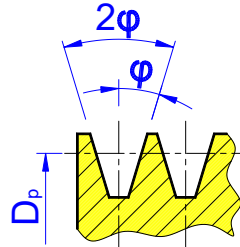


fig. 3



Il tendicinghia va scelto in base al tiro nei due rami della cinghia, " T_1 " e " T_0 "; e il loro valore si calcola scrivendo le equazioni di equilibrio e limite alla trasmissione, che sono "equazione di equilibrio alla rotazione della puleggia motrice" (espressione "c"), insieme alla "condizione limite allo slittamento" (esp. "d"); perché l'angolo α_m di avvolgimento sulla puleggia motrice è minore di α_c e comunque deve essere minimo 180° che corrispondono a $\pi \text{ rad}$; quindi il sistema che consente il calcolo dei tiri T_1 e T_0 è:

$$\begin{cases} (T_1 - T_0) \times \frac{D_p}{2} \times \frac{1}{1000} = C_m & \text{(esp.c)} \\ T_1 = T_0 e^{\eta\alpha} & \text{(esp.d)} \end{cases}$$



- e = numero di Nepero, costante pari a 2,72
- η = coefficiente d'attrito tra cinghia e puleggia (nel caso di cinghie trapezoidali esso va diviso per $\sin(\varphi)$, dove φ è l'angolo di semiapertura della gola misurato in rad).
- M_t = momento da trasmettere a regime in Nm
- C_m = momento massimo sull'albero motore in Nm
- f_s = fattore di servizio da 2 a 5

fig. 4

Come è noto, tutte le macchine hanno dei punti critici, quali le partenze o i picchi di lavoro per cui è necessario moltiplicare la coppia da trasmettere " M_t " (vedi successiva espressione "h") per il fattore di servizio " f_s " per ottenere la coppia massima di lavoro

" C_m ": $C_m = f_s \times M_t$ (vedi successiva esp. "d")

$f_s = 2 \div 5$ (esp. "e")

Il tendicinghia deve essere installato sul ramo lento, il più vicino possibile alla puleggia motrice e deve sviluppare una forza sufficiente ad equilibrare la risultante della somma delle due componenti della trasmissione del ramo lento. Per il corretto funzionamento dell'elemento tenditore vanno rispettate le indicazioni di pag. 15 e 16 per i tenditori assiali e pag. 19 e 20 per i tenditori a rotazione. Per un corretto funzionamento, del tendicinghia, è fondamentale che sia posizionato in modo che gli angoli " δ " di entrata e di uscita nel nodo "n" siano uguali (fig.5). La figura 5 mostra il corretto montaggio del tenditore sul ramo lento della trasmissione; la configurazione è tale da formare un angolo della cinghia in uscita dalla puleggia motrice di γ gradi rispetto alla verticale, mentre su quella condotta di β gradi rispetto alla verticale; questo comporta che gli angoli " δ " di lavoro siano uguali e pari a:

$$\delta = \frac{1}{1000} \frac{(180^\circ - \gamma - \beta)}{2} \quad \text{(esp. "f")}$$

Quelle appena descritte sono le condizioni minime di equilibrio per il funzionamento della cinghia; di seguito rappresentiamo un esempio di calcolo.

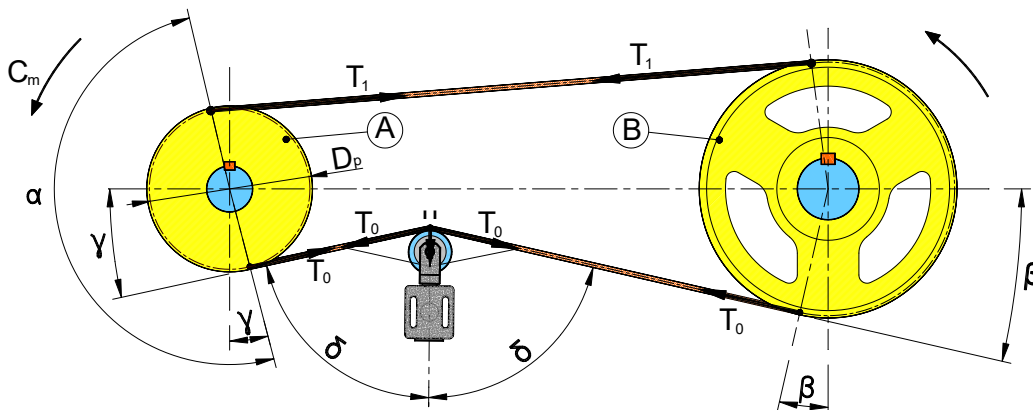


fig. 5



Definizione del tenditore per una trasmissione a cinghia

- Esempio di calcolo:

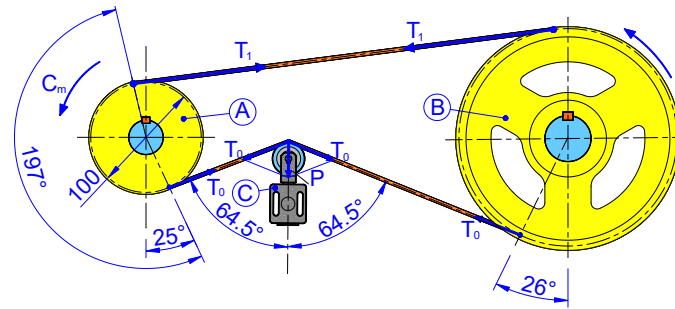


fig. 6

- Caratteristiche motore: $N=3 \text{ Cv}$

$$n=940 \text{ giri/min}$$

Trasformiamo i valori precedenti con le unità di misura del SI:

$$N=3 \times 735 = 2205 \text{ W}$$

$$\omega = 940 \times \pi / 30 = 98,4 \text{ rad/s}$$

$$N = M_t \times \omega \rightarrow M_t = N / \omega = 22,4 \text{ Nm}$$

Si suppone $f_s = 2,5$

$$C_m = 2,5 \times M_t = 56 \text{ Nm}$$

Diametro primitivo puleggia motrice $D_p = 100 \text{ mm}$

$$\begin{cases} (T_1 - T_0) \times 0,05 = 56 \rightarrow (T_1 - T_0) = 1120 & (\text{esp. c}) \\ T_1 = T_0 e^{\eta \alpha} & (\text{esp. d}) \end{cases}$$

- angolo di avvolgimento $\alpha = 197^\circ \times \pi / 180^\circ = 3,44 \text{ rad}$
- coefficiente d'attrito tra cinghia e puleggia $\eta = 0,2$
- cinghia trapezoidale con angolo di semiapertura $\varphi = 17^\circ \rightarrow \sin(\varphi) = 0,29$
- cinghia trapezoidale $\rightarrow \eta' = 0,2 / \sin(\varphi) = 0,2 / 0,29 = 0,69$
- numero di Nepero $e = 2,72$

$$\begin{cases} T_1 = T_0 \times e^{0,69 \times 3,44} = T_0 \times 10,74 & (\text{esp. d}) \\ (10,74 T_0 - T_0) = 1120 & (\text{esp. c}) \end{cases}$$

$$\rightarrow T_0 = 115 \text{ N}$$

$$\rightarrow T_1 = 1120 + 115 = 1235 \text{ N}$$

$$\rightarrow P = 2 \times 115 \times \cos(64,5^\circ) = 99 \text{ N}$$



Dato il valore della forza F , possiamo scegliere il tenditore, questi deve poter sviluppare una spinta massima maggiore del 30%, così che possa essere installato sulla macchina in un range per cui la forza F richieda massimo i 2/3 della sua spinta per ottenere una pressione che garantisca la trasmissione di moto in una condizione di equilibrio consolidato.

Quanto fino a questo momento trattato riguarda le trasmissioni a cinghia in una condizione ideale e considerando il livello massimo di funzionamento, cioè la condizioni di "equilibrio"; ma la realtà è ben diversa e le condizioni di lavoro cambiano continuamente a seconda dei fattori esterni che intervengono, citiamo solo i più comuni:

- Partenze
- Arresti
- Picchi di carico
- Variazione di velocità
- Sovraccarichi
- Errori nello sviluppo della cinghia
- Condizioni ambientali
- Variazione della temperatura di lavoro
- Cicli di lavoro
- Usura delle pulegge
- Usura delle cinghie
- Condizioni ed agenti usuranti
- Criticità specifiche

Ogn'una di queste incidenze modificano la geometria e lo stato della trasmissione, quindi per aumentare l'affidabilità delle macchine è necessario intervenire preventivamente in modo da prevenire eventuali criticità. Rappresentando una trasmissione a cinghia tipo, fig.7, possiamo riscontrare che il moto viene garantito nel momento in cui sono soddisfatte le espressioni della trasmissione; per cui la potenza " N " (esp. "g") e la coppia trasmessa " Mt " (esp. "h") sono dipendenti dal numero di giri " n " per cui:

$$N = \frac{Mt \times n}{716,2} \quad (\text{esp. "g"})$$

$$Mt = \frac{N \times 716,2}{n} \quad (\text{esp. "h"})$$

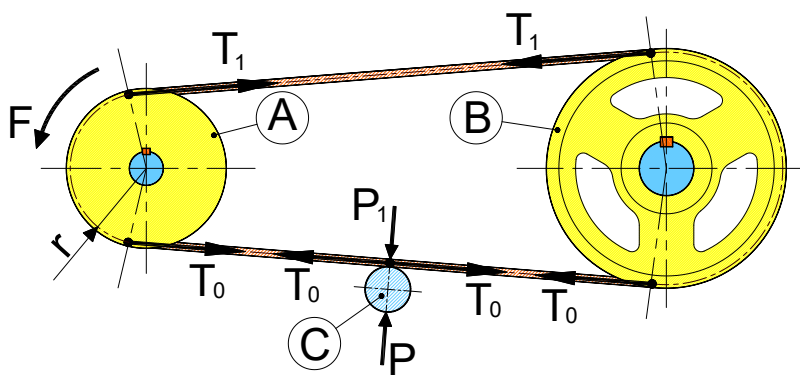


fig. 7

- A = puleggia motrice
- B = puleggia condotta
- C = tendicinghia
- r = raggio = b (braccio)
- T₁ = tensione sul ramo teso
- T₀ = tensione sul ramo condotto
- F = forza motrice
- P = forza prodotta dal tendicinghia
- P₁ = reazione



Il momento torcente Mt è dato anche da: $Mt = F \times b$ (esp. "i")

per cui $F = \frac{Mt}{b}$ (espressione "l")

da queste espressioni emerge che la condizione di equilibrio è rappresentata da $F \leq T_1$ poiché $T_1 = T_0$ $F \leq T_0$ (esp. "m")

L'applicazione del tendicinghia produce un nodo "n" nel quale emergono le forze in gioco; che modifica la geometria della trasmissione; per effetto della forza "P" prodotta dal tendicinghia i due rami della cinghia spostano il nodo "n" verso l'alto fino allo stato di equilibrio di P_1 che è la reazione a P e creando l'angolo " β " fra i due rami della cinghia; le forze di equilibrio al sistema si devono manifestare su questi vettori fig. 8

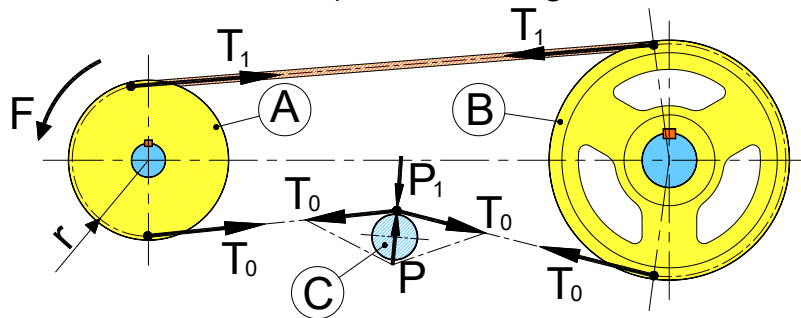


fig. 8

Per determinare la forza del tendicinghia da impiegare va costruito il parallelogramma delle forze del sistema aventi come angoli β, α e ϱ emersi dallo stato di equilibrio per effetto della forza P fig. 8. Poiché è nota la forza "F" per lo stato di equilibrio al moto determiniamo anche T_1 e $T_0 \geq F$ quindi possiamo costruire il grafico fig. 9 e risolvere la seguente equazione:

$$\varrho = \frac{\beta}{2} \quad P = \frac{T \times \sin \alpha}{\sin \varrho}$$

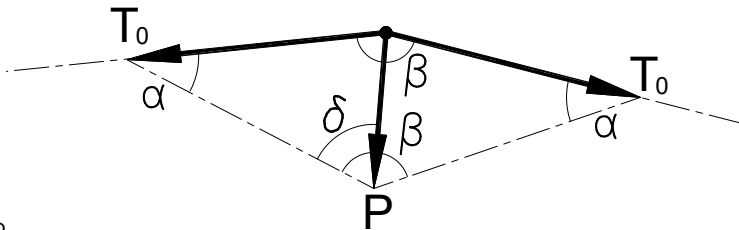


fig. 9

In sintesi, una trasmissione a cinghia viene garantita quando la cinghia è sempre adeguatamente in tiro e questo viene mantenuto dalla scomposizione della forza del tendicinghia che in base all'angolo β produce le forze T corrispondenti al tiro minimo per garantire la forza F.

A cura di: Franco Canova