

ARGOMENTO Dimensionamento di alberi, ruote dentate

RIFERIMENTO Volume 2, Capitolo 12; Volume 3, Capitoli 5 e 8

Un argano, azionato manualmente tramite una manovella, utilizza il riduttore rappresentato in figura.

Il riduttore realizza tre salti di velocità attraverso l'accoppiamento di 6 ruote dentate a denti diritti come di seguito descritto:

- la ruota 1 è solidale con l'albero motore e trasmette il moto alla ruota 2;
- le ruote 2 e 3 sono solidali tra loro e sono montate a "folle", tramite bronzine, sull'albero condotto;
- la ruota 4 riceve il moto dalla 3;
- le ruote 4 e 5 sono solidali tra loro e sono montate a "folle", tramite bronzine, sull'albero motore;
- la ruota 6 è solidale con l'albero condotto e riceve il moto dalla ruota 5;
- il rapporto di trasmissione è lo stesso per ogni coppia di ruote dentate.

Sono noti i seguenti dati:

- interasse albero motore – albero condotto 135 mm;
- rapporto di trasmissione tra le ruote dentate $i = \omega_1 / \omega_2 = 2$;
- materiale per alberi e ruote dentate C 40;
- coppia motrice applicata alla manovella 20 N·m

Il candidato assumendo con giustificato criterio ogni altro dato occorrente esegua:

- il dimensionamento del gruppo di ruote 4 e 5;
- il dimensionamento dell'albero condotto;
- il disegno esecutivo di fabbricazione completo di quote, tolleranze e gradi di rugosità del gruppo di ruote per le quali si è proceduto al dimensionamento;
- il ciclo di lavorazione del gruppo di ruote 4-5, facendo riferimento ad un lotto di medie dimensioni evidenziando: il grezzo di partenza, la sequenza delle operazioni di produzione, le macchine, gli utensili, i parametri di taglio.

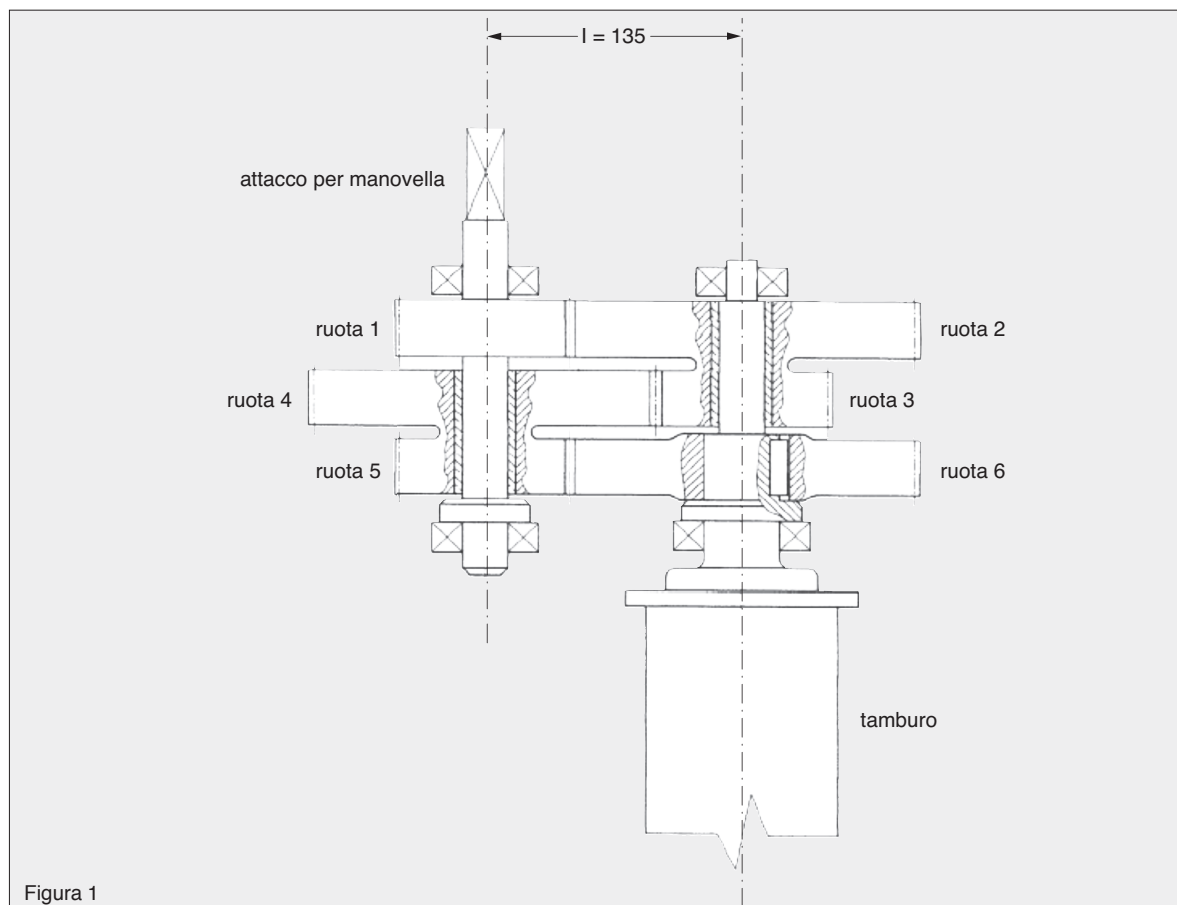


Figura 1

Le ultime due domande riguardano altre discipline di studio (non per nulla il tema è definito di disegno, progettazione ed organizzazione industriale), per cui ci limiteremo al dimensionamento richiesto nei primi due punti.

Massimo momento torcente

Il riduttore è costituito da tre coppie di ruote dentate con rapporto di riduzione pari a 2, quindi il rapporto di riduzione totale è pari a 8.

La coppia in ingresso è pari a 20 N·m, dunque quella in uscita vale $M_t = 160 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Con questa coppia si dimensiona a torsione l'albero condotto e si calcola il modulo delle ruote dentate; è abbastanza plausibile l'ipotesi di realizzare le tre ruote 1-3-5 e le tre ruote 2-4-6 identiche, per contenere i costi.

Dimensionamento albero condotto

Il materiale dell'albero è C40; da pag. 391 del manuale, tabella 48, si vede che per barre in C40 da 16 a 40 mm il carico di rottura minimo è di 640 N/mm^2 ; assumendo un coefficiente di sicurezza di poco superiore a 6 si ha che e che

$$\sigma_{am} = \frac{640}{6,4} \cong 100 \text{ N/mm}^2 \quad \text{e che} \quad \tau_{am} = \frac{\sigma_{am}}{\sqrt{3}} \cong 57,7$$

Il dimensionamento dell'albero condotto viene effettuato a pura torsione.

Dovrà essere

$$d > \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot 57,7}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 160\,000}{\pi \cdot 57,7}} \cong 24,2 \text{ mm}$$

che arrotonderemo a 25 mm

Se la profondità della cava fosse di 5 mm, il diametro dell'albero dovrebbe essere: $D = 25 + 5 + 5 = 35 \text{ mm}$

Dalla tabella 30 a pg.670 del Manuale si verifica che, per alberi con diametro da 30 a 38 mm, si deve usare una chiavetta UNI6607 (chiavetta diritta) di dimensioni nominali $b=10$ e $h=8$ mm, con profondità della cava sull'albero proprio di 5 mm.

Quindi il diametro dell'albero condotto in corrispondenza della ruota 6 si assume pari a 35 mm.

Dimensionamento del gruppo ruote 4-5

Abbiamo già accennato all'opportunità di avere le tre ruote 2-4-6 identiche: quindi la ruota 4 sarà identica alla ruota 6, che ingrana con la 5. Avendo come vincolo dimensionale un interasse di 135 mm, e un numero di denti $z_6 = 2 \cdot z_5$, occorrerà stabilire quale tra i moduli unificati soddisfi queste condizioni, e verificare poi lo stesso ad usura e a flessione.

Dovendo esser $D_6 = 2 \cdot D_5$ e $D_5 + D_6 = 2 \cdot I = 2 \cdot 135 = 270 \text{ mm}$, soltanto alcuni tra i possibili moduli unificati saranno geometricamente compatibili.

Ne deriva la seguente tabella:

m	z_5	z_6	D_5	D_6	I
2	45	90	90	180	135
2,25	40	80	90	180	135
2,5	36	72	90	180	135
3	30	60	90	180	135
3,75	24	48	90	180	135
4,5	20	40	90	180	135
5	18	36	90	180	135

Eseguiamo dapprima il calcolo del modulo in base alla resistenza all'usura (acciaio su acciaio, ruote non indurite), con la formula

$$m = C \cdot \sqrt[3]{\frac{M_5}{p_{am}^2 \cdot \lambda}}$$

Dove assumeremo $p_{am}=350$ (pg.702 del manuale, per acciaio bonificato C40)

$$\lambda = 14$$

$C = 9,3$ (tabella 62 interpolata, per $z_1=30$ e $z_2/z_1 = 2$)

$M_5 =$ momento torcente sulla ruota più piccola

Il momento torcente sulla ruota 5 è uguale a ; considerando che l'argano è manuale si può ipotizzare un servizio intermittente, senza o con lieve sovraccarico, e considerare un fattore di servizio $f_s = 0,7$ (tabella 61, pg.701 del Manuale), per cui $M_{5c} = 56 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Quindi si ottiene

$$m = 9,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{56\,000}{350^2 \cdot 14}} \cong 2,97$$

il modulo unificato immediatamente superiore, $m=3$, quindi è accettabile per un calcolo delle ruote ad usura, ed è anche geometricamente compatibile.

Eseguiamo ora il calcolo a flessione con il metodo di Lewis, con la formula

$$m = G \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{6c}}{f_v \cdot \sigma_{am} \cdot \lambda}}$$

utilizzando questa volta per il calcolo il momento torcente della ruota 6, $M_{6c} = 160 \cdot 0,7 = 112 \text{ N} \cdot \text{m}$.

L'argano è azionato manualmente tramite manovella, per cui la velocità di rotazione in ingresso non potrà essere elevata: ipotizziamo una velocità massima di a 60 giri/min; il rapporto di riduzione totale del riduttore è pari a 8, e la velocità di rotazione del tamburo (e della ruota dentata 6) sarà quindi di 7,5 giri/min.

La velocità periferica della ruota 6 è trascurabile ($v = \omega \cdot R_6 = \frac{n}{60} \cdot 2\pi \cdot \frac{D_6}{2} = \frac{7,5}{60} \cdot \pi \cdot 0,18 \cong 0,07 \text{ m/s}$), e

quindi $f_v=0,85$; utilizzando per il coefficiente G quello stimato dalla tabella 63 per $z_1=30$ ($G = 0,495$) si ottiene:

$$m = 0,495 \cdot \sqrt[3]{\frac{112\,000}{0,85 \cdot 100 \cdot 14}} \cong 2,17$$

quindi la ruota con $m=3$ è verificata anche a flessione.

Il modulo 3 quindi è corretto.

Ricapitolando:

ruota 1, ruota 3, ruota 5: $m = 3 \text{ mm}$; $z=30$; diametro primitivo 90 mm;

ruota 2, ruota 4, ruota 6: $m = 3 \text{ mm}$; $z=60$; diametro primitivo 180 mm;

Per disegnare il gruppo di ruote 4 e 5 occorre trovarne anche il diametro interno, e quindi dimensionare anche l'albero motore, che è solidale con la ruota 1 e va dimensionato a pura torsione per un momento torcente di $M_1 = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Dimensionamento dell'albero motore

$$d > \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 20}{\pi \cdot 57,7}} \cong 12,1 \text{ mm}$$

che arrotonderemo a 13 mm.

Se la profondità della cava fosse di 3,5 mm, il diametro dell'albero dovrebbe essere: $D = 13 + 3,5 + 3,5 = 20 \text{ mm}$

Dalla tabella 30 a pg.670 del Manuale si verifica che, per alberi con diametro da 17 a 22 mm, si deve usare

una chiavetta UNI6607 (chiavetta diritta) di dimensioni nominali $b=6$ e $h=6$ mm, con profondità della cava sull'albero proprio di 3,5 mm.

L'albero motore ha quindi un diametro di 20 mm in corrispondenza della ruota 1, e continuerà con tale diametro anche per la coppia di ruote 4 e 5.

Ipotizzando uno spessore della bronzina pari a 3 mm è ragionevole che il diametro interno in corrispondenza delle ruote 4 e 5 sia di 26 mm.

Lo stesso potrà essere per la coppia di ruote 2-3, assolutamente identica.