

PARANCO ELETTRICO

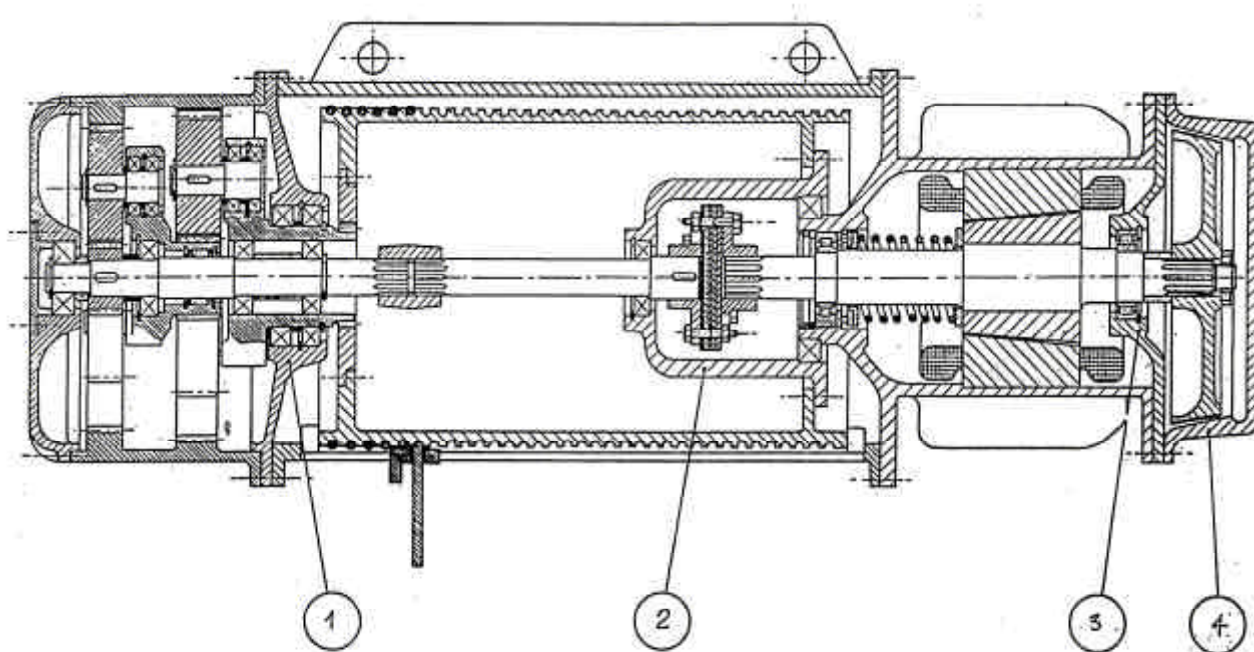


Fig. 1 - Paranco elettrico

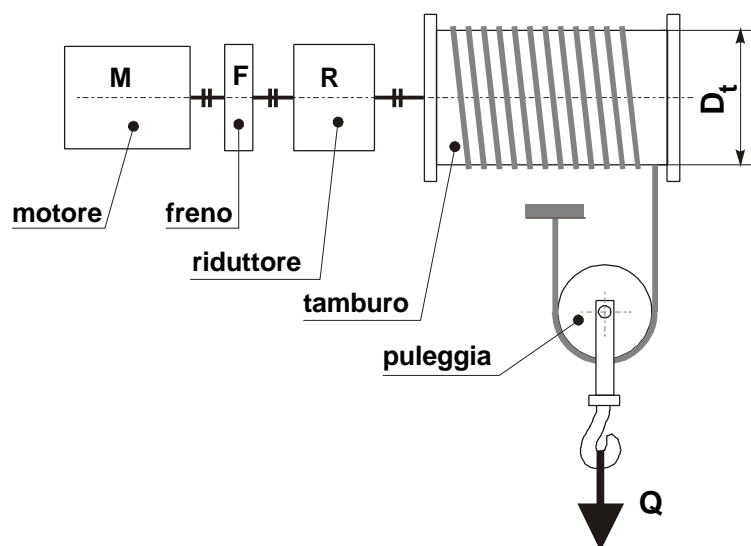


Fig.2 - Schema del paranco elettrico

La figura 1 rappresenta la sezione longitudinale di un paranco elettrico di produzione industriale, mentre la figura 2 ne riassume lo schema funzionale. In base ai dati forniti di seguito, si calcoli la potenza del motore, si scelga la fune, si determini il diametro del tamburo di avvolgimento e si esegua il dimensionamento cinematico del riduttore interposto tra motore e tamburo.

ELENCO DEI SIMBOLI

$Q(N)$	Carico da sollevare	h	Rendimento del paranco
$D_t(mm)$	Diametro del tamburo	t	Rapporto di trasmissione del riduttore
$v_s(m/1')$	Velocità di sollevamento	$N_m(kW)$	Potenza del motore
$n_m(rpm)$	Numero di giri del motore	$Z_A, Z_B, Z_C, ecc.$	Numero di denti delle ruote
$D(mm)$	Diametro della fune	i	Numero dei satelliti
$d(mm)$	Diametro dei fili della fune	$P_R(daN)$	Carico di rottura minimo garantito dalla fune
i_f	Numero dei fili della fune	$s_r(daN/mm^2)$	Tensione di rottura minimo garantito del filo della fune
$z=6$	Coefficiente di sicurezza per funi in macchine di sollevamento materiali		

DATI

Somma delle ultime due cifre del n° di matricola	0-4	5-9	10-14	15-18
$Q(kN)$	20	32	50	70
$v_s(m/1')$	16	20	12	15
$n_m(rpm)$	1450	1450	700	700
h	0.8	0.8	0.8	0.8

La potenza effettiva del motore è da scegliersi fra i seguenti valori:

$N_m(kW)$	1.5	3	4.2	5.1	8	10.5	12.5	16.5	22
-----------	-----	---	-----	-----	---	------	------	------	----

Tabella 1

(Nuovo Colombo, Manuale dell'Ingegnere, Ed. Hoepli)

Funi d'acciaio flessibili a trefoli (Redaelli Giuseppe e F.lli S.p.A., Milano)

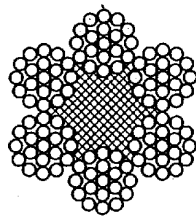
P_R = carico rottura in daN \approx kp, 1 daN = 10 N \approx 1 kp.

Formazione	Δ Diam. funi mm	δ Diam. fili ester. mm	p Peso al metro daN/m \approx kp/m	P_R [daN \approx kp]	
				σ_R min 130 daN/mm ² \approx kp/mm ²	σ_R min 160 daN/mm ² \approx kp/mm ²
42 fili 6 \times (1 + 6) e 1 anima tess. Cordatura normale	3	0,33	0,035	420	530
	4	0,44	0,060	720	920
	5	0,55	0,09	1150	1450
	6	0,66	0,13	1650	2100
	7	0,77	0,18	2250	2850
	8	0,88	0,23	3000	3700
	9	1	0,30	3800	4700
	10	1,11	0,37	4650	5800
	11	1,22	0,445	5600	7000
	12	1,33	0,53	6700	8400
	13	1,44	0,63	7900	9800
	14	1,55	0,72	9100	11500
	15	1,67	0,835	10500	13000
	16	1,78	0,95	12000	15000
	18	2	1,20	15000	19000
	20	2,22	1,48	18500	23000
114 fili 6 \times (1 + 6 + 12) e 1 anima tess. Cordatura normale	4	0,26	0,055	680	840
	5	0,33	0,090	1060	1300
	6	0,40	0,13	1550	1900
	7	0,46	0,175	2100	2550
	8	0,53	0,23	2750	3350
	9	0,60	0,295	3450	4250
	10	0,66	0,35	4250	5250
	11	0,73	0,44	5150	6300
	12	0,80	0,53	6100	7500
	13	0,86	0,61	7200	8800
	14	0,93	0,71	8300	10200
	15	1	0,825	9600	11800
	16	1,05	0,925	11000	13500
	18	1,20	1,19	13800	17000
	20	1,33	1,45	17000	21000
	22	1,46	1,75	20500	25000
	24	1,60	2,11	24500	30000
114 fili 6 \times (1 + 9 + 9) e 1 anima tess. Cordatura «Seale»	8	0,64	0,23	2800	3500
	9	0,72	0,29	3600	4400
	10	0,80	0,358	4400	5400
	11	0,88	0,431	5300	6600
	12	0,96	0,515	6400	7900
	13	1,04	0,603	7500	9300
	14	1,12	0,702	8600	10700
	15	1,20	0,803	10000	12200
	16	1,28	0,916	11400	14000
	18	1,44	1,16	14300	17500
	20	1,60	1,433	17600	21700
	22	1,76	1,733	21500	26500
	24	1,92	2,063	25500	31500

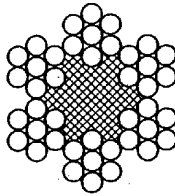
Tabella 2
(Nuovo Colombo, Manuale dell'Ingegnere, Ed. Hoepli)

Valori caratteristici per la scelta delle funi.

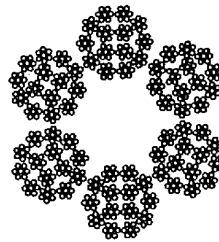
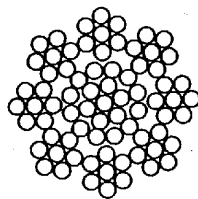
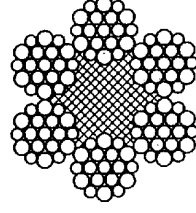
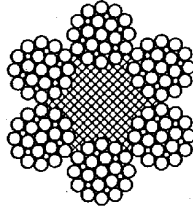
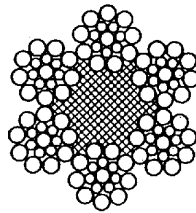
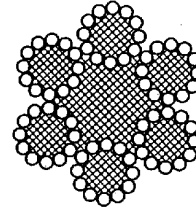
Categoria	δ (mm)	i	D/δ	D/Δ
<i>Per persone:</i>				
Ascensori	0,6 ÷ 1,2	72 ÷ 180	$\geq 800 \div 1000$	$\geq 40 \div 100$
Teleferiche, funivie	1,2 ÷ 2,4	42 ÷ 222	$\geq 800 \div 1000$	$\geq 70 \div 100$
Argani per miniere	1,2 ÷ 2,4	42 ÷ 222 (> 320 se a funi piatte)	$\geq 800 \div 1000$	$\geq 70 \div 100$
<i>Per materiali:</i>				
Montacarichi, argani	0,6 ÷ 2	42 ÷ 180	$\geq 400 \div 800$	≥ 25
Gru	0,5 ÷ 1,5	114 ÷ 336	$\geq 300 \div 600$	≥ 18
Piani inclinati, grossi argani, traenti per teleferiche	1,2 ÷ 2,4	72 ÷ 122	$\geq 500 \div 1000$	$\geq 70 \div 100$



(114)



(42)



SCHEMA DI SVOLGIMENTO

Carico da sollevare, $Q = 10000 \text{ N}$
Velocità di sollevamento, $v_s = 12 \text{ m/1'}$
Velocità motore, $n_m = 1470 \text{ giri/min}$
Rendimento paranco, $h = 0.9$

1) Si calcoli la potenza motrice necessaria; si scelga il motore tra quelli indicati

POTENZA RESISTENTE, N_r

$$N_r = \frac{Q \cdot v_s}{60} = \frac{10000 \cdot 12}{60} = 2000 \text{ watt}$$

POTENZA MOTRICE, N_m

$$N_m = \frac{N_r}{h} = \frac{2000}{0.9} = 2222 \text{ watt} \Rightarrow \text{motore da 3 kW}$$

2) Si scelga la fune consultando, di norma, il catalogo del costruttore (si vedano i dati riportati a titolo di esempio nelle tabb. 1 e 2) e verificando simultaneamente le seguenti relazioni:

$$P_R \geq \frac{Q}{2} = 6 \frac{10000}{2} = 30 \text{ kN} = 3000 \text{ daN}$$

$$d = 0,6 \div 2 \text{ mm}$$

$$i_f = 42 \div 180$$

$$\frac{D}{d} \geq 400 \Leftrightarrow D \geq 400 \cdot d = 240 \div 800 \text{ mm}$$

$$\frac{D}{\Delta} \geq 25 \Leftrightarrow D \geq 25 \cdot \Delta$$

Scegliere la fune in modo che il diametro D_t del tamburo risulti minimo, poiché questa condizione comporta un rapporto di trasmissione più alto e quindi un riduttore più economico.

	$\sigma_{R=130}(\text{daN/mm}^2)$					$\sigma_{R=160}(\text{daN/mm}^2)$				
i_f	$P_R(\text{daN})$	$\Delta(\text{mm})$	$\delta(\text{mm})$	25Δ	400δ	$P_R(\text{daN})$	$\Delta(\text{mm})$	$\delta(\text{mm})$	25Δ	400δ
42	3000	8	0.88	200	352	3700	8	0.88	200	352
114	3450	9	0.6	225	240	4250	9	0.6	225	240
114	3600	9	0.72	225	288	3500	8	0.64	200	256

Con i dati del problema viene scelta dalla Tab. 1 la fune a 114 fili $6 \times (1+6+12)$ e 1 anima tessile- cordatura normale, $\sigma_{R=130}(\text{daN/mm}^2)$. Il diametro del tamburo risulta pari a 240 mm.

3) Si determini il rapporto di trasmissione globale

RAPPORTO DI TRASMISSIONE, $t = \Omega_t / \Omega_m$

velocità angolare del motore, $\Omega_m = \frac{2pn_m}{60} = \frac{2p \times 1470}{60} = 153.86 \text{ s}^{-1}$

Considerando il centro di istantanea rotazione della puleggia, la velocità di avvolgimento del cavo risulta doppia rispetto a quella di sollevamento del carico.

velocità angolare del tamburo, $\Omega_t = \frac{2v_s}{D_t/2} = \frac{2 \times 0.2}{0.24/2} = 3.33 \text{ s}^{-1}$

$t = \frac{\Omega_t}{\Omega_m} = \frac{3.33}{153.86} \approx 0.0216 \approx \frac{1}{46.2}$

Ripartizione di t nei due stadi, ricordando che:

$t = t' \cdot t''$
 $t' \approx t''$
 $t' \leq t''$
 $\Rightarrow t = t' \times t'' \approx \frac{1}{7} \times \frac{1}{6.6}$

4) Si esegua il dimensionamento cinematico dei due rotismi epicicloidali in serie affinché valgano le relazioni (1-3) e vengano rispettate le condizioni di non interferenza sotto elencate.

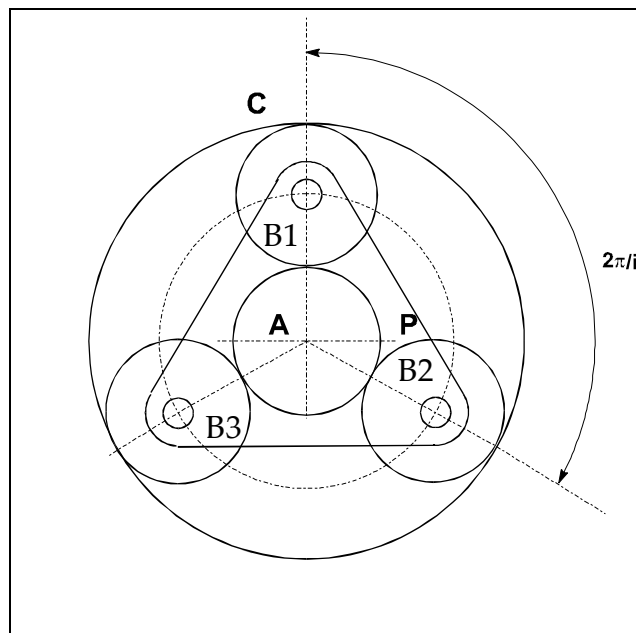


Fig. 3 – Schema degli stadi del riduttore

FORMULA DEL WILLIS

Si rammenta che in entrambi gli stadi del riduttore, la ruota A (vedi Fig. 3) è il movente del rotismo epicicloidale, la ruota B è il satellite, la ruota C è fissa e a dentatura interna, mentre con P si è indicato il portasatellite, cedente del rotismo.

$$\frac{\Omega_C - \Omega_P}{\Omega_A - \Omega_P} = t_0 = -\frac{Z_A}{Z_C} \Rightarrow \frac{\Omega_A - \Omega_P}{\Omega_P} = \frac{Z_C}{Z_A} \Rightarrow \frac{\Omega_A}{\Omega_P} = 1 + \frac{Z_C}{Z_A}$$

$$\boxed{t' = \frac{\Omega_P}{\Omega_A} = \frac{Z_A}{Z_A + Z_C}} \quad (1)$$

CONDIZIONE DI MONTAGGIO DELLE RUOTE

Se indichiamo con R_p il raggio primitivo di ciascuna ruota e assumiamo che esse siano **normali** risulta:

$$R_{pA} + 2R_{pB} = R_{pC} \quad R_p = Zm/2$$

$$\boxed{Z_A + 2Z_B = Z_C} \quad (2)$$

CONDIZIONE DI SIMMETRIA DEI SATELLITI

Su ciascun satellite agisce una forza centrifuga avente direzione radiale. Se si adoperano più satelliti e li si dispongono in modo da formare angoli tra loro uguali, è possibile ottenere un sistema di forze centrifughe autoequilibrato. Stessa cosa succede per il sistema delle forze delle reazioni vincolari sui cuscinetti della ruota A, sul portasatellite P e sulla ruota C.

Si assuma il numero dei satelliti i pari a 3. Consideriamo una situazione in cui un dente del satellite abbia asse di simmetria verticale ed ingrani con un vano della ruota C. Se Z_B è pari, la ruota B1 presenta un dente, inserito in un vano della ruota A, avente lo stesso asse di simmetria verticale del precedente (se Z_B è dispari, un dente di A ingrana in un vano di B1). Imponiamo ora al portasatellite una rotazione tale da portare la ruota B1 ad accupare l'esatta posizione che assumeva un satellite limitrofo (ad esempio B2) nella situazione precedente. Pertanto:

$$J_P = \frac{2p}{i}$$

Poiché il vano della ruota C non si è spostato, la ruota B3 deve presentare sotto di essa un dente e, simmetricamente, la ruota A deve ripresentare un vano (un dente se Z_B è dispari). Dunque la ruota A ha ruotato di una quantità pari ad un multiplo intero di passi angolari:

$$J_A = \frac{2p}{Z_A} K, \text{ K intero}$$

Allora:

$$\frac{\Omega_P}{\Omega_A} = \frac{J_P}{J_A} = \frac{Z_A}{i \cdot K} = t \Rightarrow \frac{Z_A}{Z_A + Z_C} = \frac{Z_A}{i \cdot K} \Rightarrow \boxed{Z_A + Z_C = i \cdot K} \quad (3)$$

Proporzionamento del PRIMO stadio

RAPPORTI DI INGRANAGGIO, $t'_{AB} = Z'_A / Z'_B, t'_{BC} = Z'_B / Z'_C$

Dalla (1) si ha:

$$1 + \frac{Z'_C}{Z'_A} = \frac{1}{t'} = 7$$

ossia

$$\frac{Z'_C}{Z'_B} \frac{Z'_B}{Z'_A} = 6 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{t'_{BC}} \frac{1}{t'_{AB}} = 6} \quad (4')$$

Dalla (2) si ha:

$$\frac{Z'_A}{Z'_B} + 2 = \frac{Z'_C}{Z'_B} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t'_{AB} + 2 = \frac{1}{t'_{BC}}} \quad (5')$$

Sostituendo la (5') nella (4') si ottiene:

$$(t'_{AB} + 2) = 6t'_{AB}$$

da cui si ricava

$$t'_{AB} = \frac{2}{5} = 0.4 \quad \text{e} \quad t'_{BC} = \frac{5}{12} = 0.4167$$

CONDIZIONE DI NON INTERFERENZA

$$Z'_{Amin} = \frac{2t'_{AB}}{-1 + \sqrt{1 + t'_{AB}(t'_{AB} + 2)\sin^2 \alpha}} = \frac{2 \times 0.4}{-1 + \sqrt{1 + 0.4(0.4 + 2)\sin^2 20^\circ}} = 14.64$$

Per le ruote B e C occorre prendere t'_{BC} con il segno negativo in quanto la ruota C è interna.

$$Z'_{Bmin} = \frac{-2t'_{BC}}{-1 + \sqrt{1 - t'_{BC}(-t'_{BC} + 2)\sin^2 \alpha}} = \frac{-2 \times 0.4167}{-1 + \sqrt{1 - 0.4167(-0.4167 + 2)\sin^2 20^\circ}} = 21.17$$

Fissiamo $Z'_A = 16$. Risulta:

$$Z'_B = 5/2 \times 16 = 40$$

$$Z'_C = \frac{12}{5} \times 40 = 96$$

VERIFICHE sul primo stadio

a) rapporto di trasmissione: $t' = \frac{Z'_A}{Z'_A + Z'_C} = \frac{16}{16 + 96} = 0.143 = \frac{1}{7}$

b) condizione di montaggio: $Z'_A + 2Z'_B = 16 + 2 \times 40 = 96 = Z'_C$

c) condizione di simmetria: $Z'_A + Z'_C = 16 + 96 = 112 = 28 \times 4 \Rightarrow K' = 28, i' = 4$ satelliti

Proporzionamento del SECONDO stadio

RAPPORTI DI INGRANAGGIO, $t''_{AB} = Z''_A / Z''_B, t''_{BC} = Z''_B / Z''_C$

Dalla (1) si ha:

$$1 + \frac{Z''_C}{Z''_A} = \frac{1}{t''} = 6.6$$

ossia

$$\frac{Z''_C}{Z''_B} \frac{Z''_B}{Z''_A} = 5.6 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{t''_{BC}} \frac{1}{t''_{AB}} = 5.6} \quad (4'')$$

Dalla (2) si ha:

$$\frac{Z''_A}{Z''_B} + 2 = \frac{Z''_C}{Z''_B} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t''_{AB} + 2 = \frac{1}{t''_{BC}}} \quad (5'')$$

Sostituendo la (5'') nella (4'') si ottiene:

$$(t''_{AB} + 2) = 5.6 t''_{AB}$$

da cui si ricava

$$t''_{AB} = \frac{2}{4.6} = 0.4348 \quad \text{e} \quad t''_{BC} = 0.4107$$

CONDIZIONE DI NON INTERFERENZA

$$Z''_{Amin} = \frac{2t''_{AB}}{-1 + \sqrt{1 + t''_{AB}(t''_{AB} + 2)\sin^2 \alpha}} = \frac{2 \times 0.4348}{-1 + \sqrt{1 + 0.4348(0.4348 + 2)\sin^2 20^\circ}} = 14.47$$

Per le ruote B e C occorre prendere t''_{BC} con il segno negativo in quanto la ruota C è interna.

$$Z''_{Bmin} = \frac{-2t''_{BC}}{-1 + \sqrt{1 - t''_{BC}(-t''_{BC} + 2)\sin^2 \alpha}} = \frac{-2 \times 0.4107}{-1 + \sqrt{1 - 0.4107(-0.4107 + 2)\sin^2 20^\circ}} = 21.1$$

Fissiamo $Z''_A = 20$. Risulta:

$$Z''_B = 2.3 \times 20 = 46$$

$$Z''_C = 2.435 \times 46 = 112$$

VERIFICHE sul secondo stadio

a) rapporto di trasmissione: $t'' = \frac{Z''_A}{Z''_A + Z''_C} = \frac{20}{20 + 112} = 0.151 = \frac{1}{6.6}$

b) condizione di montaggio: $Z''_A + 2Z''_B = 20 + 2 \times 46 = 112 = Z''_C$

c) condizione di simmetria: $Z''_A + Z''_C = 20 + 112 = 132 = 44 \times 3 = 33 \times 4 \Rightarrow K'' = 33, i'' = 4$ satelliti