

LA CORRETTA SCELTA DEI RIDUTTORI PER OTTIMIZZARE LA TRASMISSIONE DI POTENZA

di F. Linguanti



Per rispettare i diversi requisiti delle più svariate applicazioni, i produttori offrono un'ampia gamma di riduttori caratterizzati da diverse configurazioni. I progettisti, dal loro punto di vista, devono sfruttare al massimo un'offerta così versatile in modo da ottimizzare la trasmissione di potenza delle loro applicazioni.

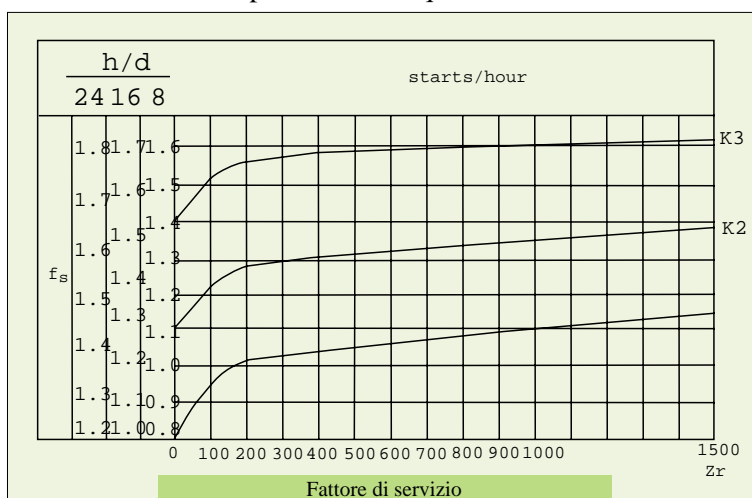
I riduttori sono utilizzati in un'ampia gamma di macchinari con le più svariate coppie e i più svariati requisiti di velocità; il numero delle possibili combinazioni diventa virtualmente infinito se si considerano le molteplici possibili configurazioni dei riduttori disponibili sul mercato.

Il motivo di un'offerta così diversificata è dovuto al fatto che le esigenze poste ai

*I*n order to meet the diverse requirements of the most varied applications, manufactures offer a broad range of speed reducers product lines featuring different configurations. For their part, design engineers must make the most of such a versatile offering so to optimise that power transmission section of their applications. Speed reducers are used in a broad range of machines with the most varied torque and speed requirements , and the number of possible

combinations becomes virtually countless when one considers the many different reducers configurations available on the market.

The reason for this diversified offer is that the



Fattore di servizio
Service factor diagram.

riduttori non si limitano alla riduzione di velocità o alla moltiplicazione di coppia, ma spesso includono funzioni di struttura portante o di supportazione della massa delle applicazioni. Proprio per questa funzione strutturale che i riduttori devono eseguire nella macchina in cui sono incorporati, la progettazione e la posizione reciproca degli alberi del riduttore hanno un ruolo determinante nella scelta del riduttore stesso. I riduttori sono normalmente classificati in base all'orientamento dell'albero lento e veloce. Questo concetto ha dato origine a termini come riduttori "coassiali", "ad assi paralleli" o "a rinvio angolare" (cioè ad assi ortogonali) rispetto ai riduttori a vite senza fine, tradizionalmente identificati con il tipo di ingranaggio piuttosto che in base alla disposizione dell'albero.

Per ogni applicazione specifica probabilmente il tecnico di progettazione si troverà ad identificare due o più famiglie di riduttori che rispecchiano i requisiti della coppia e della velocità calcolate. Conseguentemente, il tecnico dovrà valutare diversi fattori per stabilire quale configurazione, tra quelle compatibili, si adatti meglio a quella specifica applicazione.

Oltre a tutta una serie di considerazioni tecniche, il fattore limitante spesso risulta essere la disponibilità di spazio. Di fatto la crescente richiesta di macchine compatte sta ponendo sempre più enfasi sulla compattezza di sistemi di comando movimentazione. È abbastanza comprensibile come spesso i tecnici di progettazione debbano sacrificare le prestazioni poiché i limiti di spazio prevengono l'impiego di una soluzione tecnica ideale. Quando i fattori di limitazione non predominano sulle considerazioni tecniche, i tecnici sono liberi di sfruttare al meglio tutte le caratteristiche e i vantaggi offerti da ogni famiglia di prodotti. Viene di seguito fornito un breve riepilogo delle caratteristiche sopra indicate:

- Riduttori a vite senza fine: il rendimento tipicamente ridotto li rende una soluzione ideale per applicazioni di potenza media o medio-bassa con ciclo di lavoro intermittente. I riduttori a vite senza fine vengono, inoltre, consigliati in

demands on speed reducers are not limited to speed reduction or torque multiplication, but frequently include load bearing functions or supporting the mass of the applications. Because of this structural function reducers are called to perform in the machine they are incorporated into, the design and relative position of reducers shafts play a major role in reducer selection. Speed reducers are normally classified by the relative position of input and output shafts. This is the concept behind such terms as 'in line', 'parallel-shaft' or 'right angle' (i.e. helical bevel) gear units, as opposed to worm gear units, traditionally identified by the type of gearing rather than by shaft arrangement.

For each specific application, a design engineer is likely to identify two or more families of reducers that meet calculated torque and speed requirements. As a result, a design engineer will need to evaluate different factors in order to establish which, among compatible configurations, best suits that specific application. Besides a variety of technical considerations, the limiting factor frequently turns out to be space availability. As a matter of fact, the growing demand for compact machines is placing increasing emphasis on the space efficiency of motion control systems. Understandably enough, design engineers frequently

have to compromise on performance where space constraints prevent using the technically ideal solution.

Where no limiting factors overrule technical considerations, design engineers are free to make the most of the features and advantages offered by each product line. A brief outline of said features is provided:

- Worm reducers: Their typically low efficiency makes them the ideal choice for low or middle - to - low power applications featuring intermittent duty. Worm reducers are also recommended for



Serie W
W Series

applicazioni che richiedono l'irreversibilità, ma che necessitano solamente di rapporti di trasmissione $i > 70-80$.

I riduttori a vite senza fine sono particolarmente indicati, rispetto ad altri tipi di forme costruttive, per resistere a sovraccarichi generati da ampie fluttuazione di carico nel tempo o da carichi impulsivi. Tra gli altri vantaggi, la struttura a vite senza fine consente rapporti di trasmissione molto elevati, fino a $i = 100$ per stadio di riduzione, che si traducono in un grande risparmio di costi. Per concludere i riduttori a vite senza fine sono noti per garantire un funzionamento silenzioso e senza vibrazioni.

- Riduttori coassiali: questo tipo è normalmente caratterizzato da una alta densità di coppia, vale a dire coppia trasmessa per unità di volume. Questi riduttori costituiscono il complemento naturale dei motori elettrici. L'applicazione può essere comandata direttamente dall'albero lento cilindrico o tramite una trasmissione esterna (cinghia, catena o ingranaggio). Il doppio supporto dell'albero lento garantisce una supportazione di carichi radiali superiore, normalmente sufficiente per le applicazioni in cui sono necessari i requisiti sopra indicati. Disponibili in un'ampia gamma di rapporti, questi riduttori coprono un campo di velocità dell'ordine di $3 < n_2 < 500$ rpm quando sono combinati a motori a 4 poli, mentre le combinazioni con motori a 6 poli sono adatte ad esigenze di velocità inferiori. I principali produttori offrono diverse configurazioni di fissaggio che possono essere con piedi o flangia, oppure versioni con motore compatto per un minor ingombro in termini di lunghezza.

- Riduttori angolari: In queste configurazioni l'albero veloce e l'albero lento sono disposti ortogonalmente grazie agli ingranaggi ad assi perpendicolari o non perpendicolari. La forma costruttiva ortogonale garantisce un minor ingombro in termini di larghezza e

non-reversing applications, however for gear ratios $i > 70-80$ only. Worm reducers are better suited to withstand overloading generated by loads fluctuating widely overtime or shock loads than other designs. Among other advantages, the worm design allows for very high gear ratios, up to $i=100$ per single stage, which translate into greater cost effectiveness. Finally, worm reducers typically ensure quiet, vibration free operation.

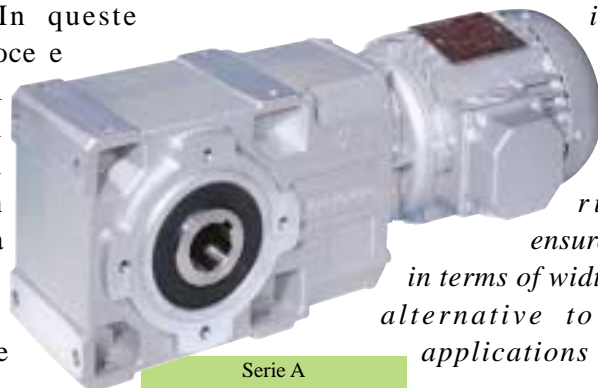
- In-line reducers: *This style is normally characterised by high torque density, ie transmitted torque per unit of volume. These reducers represent the natural complement to electric motors. Driven machine can be controlled directly by the parallel output shaft or via an external transmission (belt, chain or gear).*



Serie C
C Series

Two bearing sites for the output shaft ensure good overhung load capability, normally sufficient for applications with the above mentioned requirements. Available in a wide range of ratios, these reducers cover a speed range in the order of $3 < n_2 < 500$ rpm when combined with 4-pole motors while combinations with 6-pole motors will meet lower speed requirements. Major manufactures offer various option, such as foot and flange mount configurations, as well as versions whit compact motor for enhanced space efficiency in terms of length.

- Right-angle reducers: *In this configuration, input and output shafts are right angled thanks to a bevel gear set with intersecting or non intersecting axes. The right-angle design ensures great space efficiency in terms of width and provides the only alternative to worm reducers in applications involving such space*



Serie A
A Series

rappresenta l'unica alternativa ai riduttori a vite senza fine in applicazioni che comportano tali limitazioni di spazio.

La forma costruttiva ortogonale, tuttavia, è preferibile dove il rendimento è il fattore più importante, ad esempio in applicazioni che comportano un servizio continuo che richiede un'elevata forza motrice o che utilizzano motori costosi quali motori "brushless", motori autofrenanti, motori multipolari, variatori elettronici o meccanici.

Questi riduttori sono normalmente disponibili in un'ampia gamma di versioni. La versione che desta maggiore interesse è quella con albero lento cavo, con o senza giunto ad attrito. In questa configurazione il motoriduttore viene installato direttamente sull'albero cilindrico della macchina azionata e presenta un minor ingombro in termini di larghezza. In questo caso si rende necessario installare un braccio di reazione, solitamente disponibile nell'elenco accessori offerti da ogni produttore.

- **Riduttori pendolari:** questi riduttori sono caratterizzati da una carcassa piatta ed allungata. La tipica versione di questa famiglia è l'albero lento cavo con giunto ad attrito o con cava per chiavetta. La versione pendolare ha principalmente la funzione di ridurre l'ingombro, che lo rende la scelta ideale per molte applicazioni grazie a caratteristiche quali: installazione pulita e semplice; installazione/rimozione facili senza dovere rimuovere parti della macchina; eliminazione di costose lavorazioni delle superfici di accoppiamento e di allineamento dell'albero; la versione con giunto ad attrito garantisce giochi ridotti poiché vengono omesse la cava per la chiavetta e il relativo gioco supplementare; il braccio di reazione può essere combinato con dispositivi limitatori di coppia come le cellule di carico.

Nella configurazione caratterizzata da un albero veloce pieno, solitamente azionato tramite trasmissioni a puleggia e cinghia esterne, la velocità finale può essere regolata – entro i limiti – semplicemente sostituendo una delle pulegge in modo tale da modificare il rapporto di trasmissione primario. In fine le dimensioni compatte sono ulteriormente

limitazioni.

The right-angle design, furthermore, is the preferred choice where efficiency is the primary consideration, for instance in continuous duty applications, requiring high motive force or using expensive prime movers, such as brushless motors, brake motors, switch pole motors, mechanical or electronic variators.

These reducers normally come in a wide range of versions. Most interesting is the version with hollow output shaft, with or without shrink disc. In this configuration, the gearmotor is fitted directly onto the parallel shaft of the driven machine, resulting in enhanced space efficiency in terms of width. In this case, a torque arm must be installed, normally available in the list of options offered by any manufacturer.

- **Shaft-mounted gear units:** *These reducers feature a flat, elongated housing. Typical of this family is the hollow output shaft, featuring a shrink disc or a keyway. The whole purpose of the shaft mouth style lies in its inherent space efficiency, which makes it the ideal selection for many applications thanks to such features as:*

simple, neat installation; ease of installation/removal with no need to remove any machine parts; costly machining of mating surfaces and shaft alignment are omitted; shrink disc version ensures low backlash, since keyway and its additional backlash are omitted; torque arm can be

such as load cells.

In the configuration featuring a solid input shaft, typically driven via an external belt transmission, final speed can be adjusted - within limits - by simply changing either of the pulleys so to modify the primary transmission ratio.

Finally, space efficiency is further enhanced by carefully selecting installation, for instance opting for the 'U' rather than 'Z' configuration, so to



Serie F
F Series

accentuate da un'attenta scelta in fase di installazione, ad esempio preferendo una configurazione "U" a una configurazione "Z", in modo tale da ridurre al minimo l'ingombro assiale. I riduttori pendolari sono tipicamente utilizzati in nastri trasportatori e in diverse applicazioni industriali proprio per la loro configurazione particolare e per i vantaggi sopra indicati.

- Riduttori ad assi paralleli: in tutte le gamme dei produttori, questi riduttori vengono consigliati per applicazioni gravose con potenza installata da pochi kW a 200 kW e oltre. Questi riduttori impiegano cuscinetti robusti, solitamente a rulli cilindrici o conici, idonei a resistere

all'elevato carico radiale e assiale tipico di determinate applicazioni industriali quali: miscelatori, agitatori; frantumatori di minerali, pietre e legno; estrusori di materiale plastico; sollevatori a tazza; nastri trasportatori; stampi e avvolgitrici; ventilatori e compressori; rulliere, ecc.

Selezione della taglia

Una volta identificato il tipo o la configurazione del prodotto che meglio si adattano all'applicazione, il tecnico di progettazione dovrà inevitabilmente affrontare la scelta della taglia riduttore. Presumiamo che il nostro tecnico di progettazione abbia terminato tutti i calcoli statici e dinamici relativi all'applicazione e che conosca già i parametri sotto elencati (le abbreviazioni qui utilizzate sono i simboli standard di Bonfiglioli Riduttori):

M_{r2} – coppia richiesta all'albero lento del motoriduttore; n_2 – velocità in uscita del motoriduttore; f_s - fattore di servizio di un'applicazione specifica; R_2 – carico radiale (se presente) applicato all'albero lento.

Gli schemi di carico inseriti in tutti i manuali tecnici possono aiutare a determinare la gravosità del ciclo operativo dell'applicazione, vale a dire il "fattore di servizio - f_s -"

Lo schema fornito da Bonfiglioli Riduttori potrebbe dimostrarsi particolarmente utile. Gli schemi utilizzano questi parametri:

reduce axial dimensions to a minimum. Because of their particular configuration, and the advantages listed

above, shaft mount reducers are typically used in conveyor belts in a number of different

i n d u s t r i a l applications.

- Parallel shaft reducers: *In all manufactures' ranges, these reducers are recommended for severe heavy-duty applications, with installed power ranging from a few kW*

to 200 kW and above. These

reducers use sturdy bearings, frequently the straight or taper roller type, suitable to withstand the high radial and thrust loading typically encountered in such applications as: mixer, stirrers; wood, stone, ore crushers; extruders for plastic materials; bucket elevators, conveyor belts; dies and winding machines; ventilators and compressors; roller ways, etc.

Selecting the frame size

Once the product configuration/type that best suits the application has been identified, a design engineer will inevitably be faced with the selection of the appropriate size of gear. Let us assume that our design engineer has completed all static and dynamic calculations concerning the application, and the parameters listed below are known (the abbreviations used here are Bonfiglioli Riduttori's standard symbols):

M_{r2} - Torque required at gearmotor output shaft; n_2 - Gearmotor output speed; f_s - Service factor for the application; R_2 - Radial loading (if any) onto output shaft.

The load charts included in all technical manuals may help determine the severity of applications duty cycle, ie the 'service factor - f_s -'. The diagram supplied by Bonfiglioli Riduttori may also prove useful. The diagrams uses these inputs:



n° z di avviamenti all'ora

h/d ore di funzionamento giornaliero

K1/K2/K3 curve di inerzia del carico dove $K = \frac{J_1}{J_m}$

J_1 Momento di inerzia del carico (riferito all'albero motore)

J_m Momento di inerzia del motore

Quando la domanda di coppia n_2 , velocità in uscita dell'applicazione Mr_2 e il rendimento stimato η sono noti, la domanda di potenza all'albero veloce del riduttore Pr_1 può essere calcolata come di seguito descritto:

$$Pr_1 \text{ [kW]} = \frac{Mr_2 \text{ [Nm]} \times n_2 \text{ [min}^{-1}\text{]}}{\eta}$$

Dopo avere calcolato la potenza in entrata riduttore, viene selezionato il motore elettrico normalizzato con la successiva potenza nominale più elevata, presumendo un servizio continuo S1. Evitare di selezionare un motore elettrico con potenza nominale eccessivamente elevata rispetto alla potenza calcolata poiché, oltre ad aumentare i costi di installazione, può portare a condizioni anomale all'avviamento o durante il funzionamento e quindi creare una sollecitazione eccessiva sul riduttore e altri componenti del treno d'ingranaggi. Considerare, inoltre, che l'efficienza η e il fattore di potenza $\cos \phi$ risultano svantaggiati quando il carico in funzione è inferiore al carico nominale e quindi il motore è più efficiente quando lavora in condizioni il più possibile simili a quelle nominali.

Una volta che si conoscono la potenza motore P_n , la velocità di funzionamento n_2 e ovviamente il tipo di riduttore, si può scegliere il riduttore specifico che rispetta i requisiti dell'applicazione dallo schema fornito nel catalogo del produttore. Il fattore di sicurezza S deve essere uguale o maggiore al fattore di servizio dell'applicazione, vale a dire $S > fs$.

Una volta completata la procedura di selezione, sarebbe opportuno controllare accuratamente la selezione finale. Vengono di seguito elencate alcune delle condizioni da verificare:

Il carico radiale applicato all'albero veloce e/o

z no. of starts per hour

h/d daily operating hours

K1/K2/K3 Curves of load inertia where $K = \frac{J_1}{J_m}$

J_1 Moment of inertia of the load (referred to motor shaft)

J_m Moment of inertia of the motor

When output speed n_2 , torque demand of the application Mr_2 and estimated efficiency η are known, power requirement at reducer input shaft Pr_1 can be calculated as follows:

$$Pr_1 \text{ [kW]} = \frac{Mr_2 \text{ [Nm]} \times n_2 \text{ [min}^{-1}\text{]}}{\eta}$$

After calculating the input power value, the normalised electric motor with the next higher rating is selected, assuming a continuous duty S1. Avoid selecting an electric motor with exceedingly high rating compared to calculated power, as this - besides increasing the cost of installation - may lead to abnormal conditions upon starting or in operation and place exceeding stress on reducer and other components of the drive train. Consider also that efficiency η and power factor $\cos \phi$ are adversely affected when load in operation is lower than rated load, meaning that a motor is more efficient when operating close to nominal conditions.

Once motor power P_n , operating speed n_2 and obviously the type of reducer are known, the specific unit that meet the application requirements can be selected from the rating charts included in the catalogue.

Safety factor S must be equal to or greater than the service factor of the application, ie $S > fs$.

Once selection is complete, it may be appropriate to double check on few parameters. Some of the conditions to be verified are listed below:

lento deve essere inferiore rispetto al valore ammesso specificato sul catalogo del produttore: $R \leq R_n$. A tale proposito, ricordare sempre che trasmissione cinghia e puleggia comportano un'ulteriore sollecitazione sugli alberi.

La potenza meccanica, applicata al riduttore, deve essere inferiore alla potenza termica nominale ammessa per il riduttore in condizioni di funzionamento reale a temperatura ambiente: $P_1 \leq P_t$.

In genere i fattori termici comportano limitazioni significative per i riduttori di grandi dimensioni con bassi rapporti.

Radial load applied to input and/or output shaft must be lower than the permitted value specified on the catalogue: $R \leq R_n$. In this regard, remember that belt transmissions will put more stress on shafts.

Mechanical power applied to reducer must be lower than the thermal rating for that reducer in actual operating conditions: $P_1 \leq P_t$.

Typically, thermal factors involve significant constraints for large size reducers featuring low gear ratios.

