

10-6. Variatori di velocità.

Sono meccanismi che consentono non solo di trasmettere il moto con rapporto di trasmissione costante, ma anche di variare con continuità tale rapporto, agendo dall'esterno su un apposito comando. Hanno generalmente un limitato campo di variazione. I variatori che includono fra le loro velocità in uscita anche la velocità zero sono detti a *campo infinito di variazione di velocità*.

I variatori continui di velocità sono usualmente classificati in:

- *meccanici*, se la variazione di velocità è ottenuta modificando la posizione di un elemento intermedio che serve per accoppiare gli alberi motore e condotto;
- *idraulici*, se la variazione di velocità è ottenuta modificando le caratteristiche (pressione e portata) di un fluido che trasmette forze e spostamenti fra i corpi accoppiati agli alberi motore e condotto;
- *elettrici*, se la variazione di velocità è ottenuta modificando le caratteristiche (corrente e tensione) di un dispositivo elettrico.

10-6.1. VARIATORI MECCANICI .

I componenti di questa categoria sono caratterizzati dalla presenza di un elemento mobile che consente di realizzare la variazione del rapporto di trasmissione. Esso può essere rigido o flessibile.

a) I variatori a elemento intermedio mobile *rigido* si distinguono solitamente a seconda della forma del movente che può essere piano, conico, sferico (Fig. 10.37).

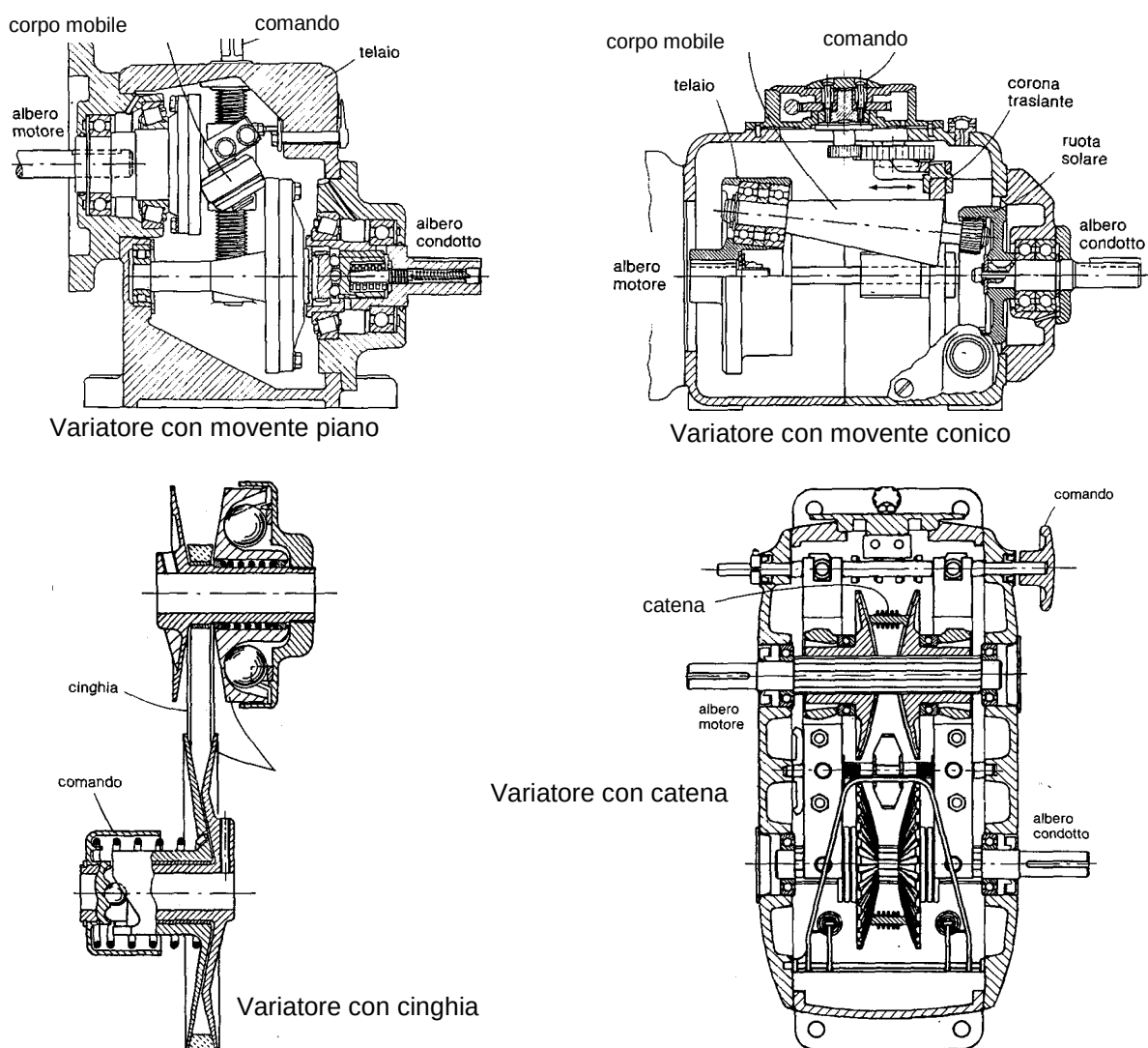


Fig. 10.37 Variatori meccanici di velocità

La trasmissione può essere di tipo ordinario (assi fissi) o planetario (assi rotanti). Come si nota la variazione del rapporto di trasmissione è ottenuta spostando il punto (o la linea) di contatto di un elemento intermedio che collega movente e cedente. La trasmissione, in questi casi, è di forza. Per aumentare la forza tangenziale trasmessa si possono aumentare i punti di contatto.

b) I variatori con elemento mobile *flessibile* possono essere realizzati mediante cinghie, di solito a V (fig. 10.37, in basso a sinistra) oppure con catene. Spostando la posizione del flessibile varia il rapporto di trasmissione. Per aumentare il campo di variazione si può raddoppiare il numero di pulegge (disponendole in serie). I variatori con catene che scorrono in apposite scanalature (fig. 10.37, in basso a destra) hanno il vantaggio di eliminare gli scorrimenti propri delle trasmissioni di forza. Lo sviluppo di cinghie con elevate caratteristiche, in particolare nel funzionamento ad alte velocità, ha reso possibili soluzioni a basso costo con ottima affidabilità e semplicità costruttiva. Inoltre, le trasmissioni a catena sono le uniche soluzioni di variatori (meccanici) continui di velocità che garantiscano il rispetto delle relazioni di fase fra ingresso e uscita. I variatori a catena sono quindi importanti sia quando le relazioni di fase sono essenziali, sia per la trasmissione di coppie elevate.

10-6.2. VARIATORI IDRAULICI

Il trascinamento idraulico è usato in diverse applicazioni, quali gli innesti idraulici e i moltiplicatori di coppia. Queste applicazioni offrono lo spunto per costruzioni quali i cambi automatici, in cui l'innesto idraulico è parte essenziale del variatore (che quindi potrà essere chiamato *idromeccanico*).

I variatori idraulici propriamente detti si suddividono in due grandi categorie:

- a) variatori con pompa e motore a *cilindrata costante* e valvole di controllo sulla portata;
- b) variatori con pompa e/o motore a *cilindrata variabile*.

Le unità usate, pompe e motori idraulici, sono di tipo volumetrico, rotative a paletta (con eccentricità del rotore registrabile), o alternative a pistoncini (con cilindrata frazionata e corsa registrabile dei pistoncini). La pompa idraulica è trascinata da un motore elettrico che ruota a velocità praticamente costante.

Variatori della categoria a) sono usati quando il campo di variazione della velocità richiesto è piccolo. La pompa è, per lo più, del tipo a palette e fornisce una portata circa proporzionale alla velocità angolare. La variazione della velocità si ottiene modulando la parte di portata inviata ad alimentare il motore idraulico, mediante valvole.

Per applicazioni che richiedano una più ampia gamma di variazione di velocità (fino a 1 - 2000), si ricorre a variatori della categoria b) nei quali si possono usare pompe a portata variabile. La variazione è ottenuta grazie a soluzioni costruttive speciali che consentono di modificare la cilindrata e quindi la portata, anche se la velocità angolare del motore elettrico di trascinamento rimane praticamente costante. Di fatto, per garantire una buona regolazione della pressione e della portata a seconda delle esigenze dell'utenza si inseriscono dispositivi aggiuntivi che garantiscono l'asservimento di velocità richiesto.

10-6.3 VARIATORI ELETTRICI

La trattazione dei variatori elettrici esula dall'ambito della meccanica delle macchine e si rimanda pertanto l'interessato ai testi di macchine ed azionamenti elettrici.

10-6.4. CARATTERISTICHE COMPARATE DEI VARIATORI DI VELOCITÀ.

Nella tabella seguente sono riassunte le principali caratteristiche di funzionamento dei tre gruppi di variatori. Le principali caratteristiche funzionali sono:

- *Potenza trasmissibile*. È modesta nel caso dei variatori meccanici, mentre può essere assai elevata con i variatori idraulici ed elettrici.
- *Momento trasmissibile*. Il momento varia con il rapporto di trasmissione. I variatori meccanici sono atti a trasmettere, a seconda dei tipi, momenti costanti al crescere della velocità angolare di

uscita (quindi, potenze crescenti), oppure potenze costanti (quindi, momenti decrescenti), oppure momenti decrescenti e potenze crescenti, sempre all'aumentare della velocità angolare in uscita.

— *Rendimento*. Il rendimento dei variatori meccanici oscilla in condizioni operative medie fra 0,75 e 0,95, a seconda dei tipi. Quello dei variatori idraulici più comuni è di solito compreso fra 0,50 e 0,65. Il rendimento dei variatori elettrici oscilla fortemente a seconda dei tipi (in corrente continua, in corrente alternata, ecc.).

— *Campo di variazione della velocità in uscita*. È, in genere, modesto o medio nel caso di variatori meccanici e massimo per quelli idraulici. I variatori elettrici hanno un campo di variazione della velocità in uscita medio, salvo le applicazioni speciali.

— *Rapporto «momento trasmesso/inerzia del variatore»*. È modesto nel caso di variatori meccanici e massimo per quelli idraulici. È medio nel caso di variatori elettrici.

— *Possibilità di staccare il motore dall'utenza*. Tale possibilità esiste, nel caso di variatori idraulici ed elettrici, che possono essere collegati al motore rispettivamente da tubi o da fili, mentre è impossibile nel caso dei variatori meccanici, per i quali il motore deve essere direttamente collegato all'albero d'ingresso.

— *Inversioni del movimento*. Nel caso di variatori meccanici, il verso di rotazione dell'albero condotto è, in generale, unico. Se si vuole ottenere l'inversione del moto, occorre cambiare il verso di rotazione del motore, oppure introdurre una ruota oziosa fra motore e variatore. È facile realizzare l'inversione, invece, nel caso di variatori idraulici ed elettrici.

— *Costo*. I variatori meccanici sono quelli che costano meno. I variatori idraulici possono avere costi competitivi rispetto a quelli elettrici, se sulle macchine sono già stati installati altri comandi idraulici. In ogni caso, però, i variatori elettrici costano meno di quelli idraulici se le potenze da trasmettere sono modeste.

TABELLA 10.II – Variatori di velocità..

Caratteristiche di funzionamento	Variatori meccanici	Variatori idraulici	Variatori elettrici
Potenza trasmissibile	modesta	elevata	assai variabile secondo il tipo
Rendimento (fortemente condizionato dal rapporto di trasmissione)	buono	medio	assai variabile secondo il tipo
Campo di variazione della velocità in uscita	modesto	largo	medio
Rapporto tra momento trasmesso e inerzia del variat.	modesto	elevato	medio
Possibilità di separare il motore dall'utenza	non esiste	esiste	esiste
Possibilità di invertire il movimento	si, invertendo la rotazione del motore o installando ruote oziose	si	si
Costo di fabbricazione e di installazione	modesto	competitivo rispetto a quelli elettr. se già esiste un impianto idraulico	inferiore a quello dei variat. idraulici nel caso di potenze modeste
Costo di manutenzione ordinaria e di ricambi	modesto	elevato	medio
Vita (durata media)	modesta	media	elevata

In generale si può dire che i metodi più semplici e meno costosi per variare la velocità angolare sono quelli basati su principi meccanici. Molti variatori meccanici richiedono infatti scarsissima manutenzione. Date le limitazioni cui sono soggetti non possono però essere sempre utilizzati.

10-7. Giunti.

I giunti consentono di collegare due alberi trasmettendo potenza dall'uno all'altro. Gli alberi da collegare possono essere coassiali, o concorrenti o sghembi. Il caso più frequente è quello di alberi teoricamente coassiali: la coassialità è infatti alterata dalle imperfezioni tecnologiche di lavorazione e di montaggio e dalle deformazioni elastiche degli alberi da collegare e dei loro appoggi. Esse provocano, infatti, disallineamenti di varia natura (Fig. 10.38) che sono detti *assiali* se gli alberi si avvicinano o si allontanano, *paralleli* se gli alberi da collegare si mantengono paralleli anche se non coassiali, ed *angolari* se gli alberi diventano concorrenti.

La classificazione dei giunti può essere fatta con riferimento ai gradi di libertà che il giunto consente agli alberi da collegare. Si distinguono così:

- giunti fissi;
- giunti mobili, con libertà assiale, radiale, angolare;
- giunti con corpo deformabile (o *elastici*).

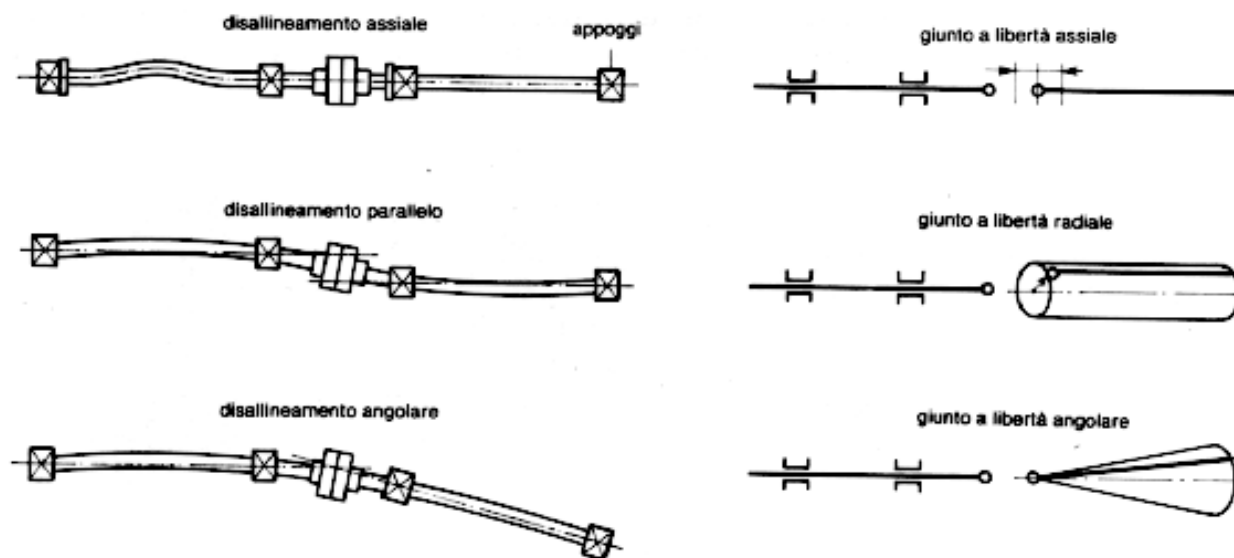


Fig. 10.38 Tipi di disallineamento degli alberi e di libertà dei giunti

10-7.1. GIUNTI FISSI.

I giunti fissi assicurano un accoppiamento rigido dei due alberi da collegare, evitando ogni spostamento relativo. Gli alberi debbono perciò essere perfettamente coassiali (nell'ambito delle tolleranze) e rigidi, altrimenti sui cuscinetti vengono ad agire sollecitazioni alternate, anche molto grandi, che possono portare rapidamente alla distruzione, prima degli appoggi, poi della macchina. Inoltre, con questo tipo di giunto, uno dei due alberi deve essere libero assialmente; per l'altro deve essere previsto un vincolo allo scorrimento assiale.

Il tipo più semplice di giunto fisso è quello a *bussola inchavettata* (fig. 10.39). Fra i suoi vantaggi sono la semplicità, il basso costo, l'elevata resistenza, le ampie tolleranze nel posizionamento assiale relativo dei due alberi e la possibilità di usare la bussola come puleggia per un eventuale azionamento a cinghia. Fra gli svantaggi, il fatto che l'allineamento dei due alberi è difficile se essi non sono dello stesso diametro; la scarsa equilibratura; le difficoltà di montaggio e smontaggio legate alla presenza delle chiavette.

La fig. 10.39-b mostra un *manicotto flangiato ordinario*. Le flangie possono essere montate sugli alberi a freddo (con la pressa) o a caldo; per aumentare la coppia trasmissibile, può essere previsto un collegamento con chiavetta. Il moto è trasmesso da una flangia all'altra per attrito e ciò evita l'uso di bulloni rettificati e la necessità di fori alesati e posizionati con precisione; i bulloni sono sollecitati solo da forza normale, anziché da taglio, e risultano tutti ugualmente sollecitati. Fra i

vantaggi sono l'elevata robustezza e l'ingombro assiale limitato; fra gli svantaggi la necessità di produrre uno spostamento assiale di uno degli alberi per effettuare lo smontaggio.

Fra i giunti fissi si possono annoverare anche alcuni tipi di dispositivi *limitatori di coppia* (o di *sovraccarico*); essi permettono la trasmissione di un movimento rotatorio fra due alberi, purché la coppia resistente non superi un prefissato valore, e sono in generale adottati quando è possibile che l'albero condotto venga improvvisamente a bloccarsi. Il *giunto a spina* (fig. 10.39-c) è il mezzo più semplice ed economico di protezione dai sovraccarichi, anche se non è raccomandabile in via generale sia perché poco sensibile, sia perché, ovviamente, richiede che la spina sia sostituita dopo la rottura. Vi è anche il pericolo che l'utente tenda a sostituire la spina originale, di materiale tenero e con intaglio, con spine cilindriche e di materiale più resistente, rendendo con ciò praticamente inutile il meccanismo.

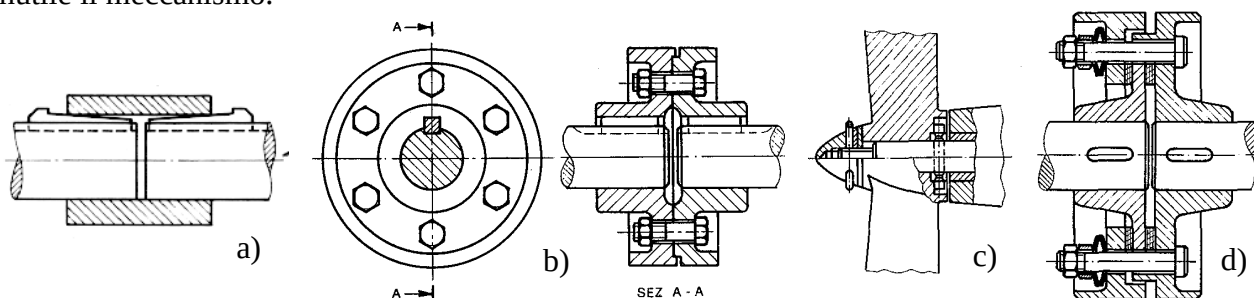


Fig. 10.39 Giunti a bussola (a), a flangia (b), a spina (c), con superfici d'attrito (d)

10-7.2. GIUNTI MOBILI.

I giunti mobili assicurano un collegamento permanente, ma non fisso, fra i due alberi da collegare. A seconda del movimento relativo consentito fra i due alberi si distinguono giunti mobili:

- a libertà torsionale
- a libertà assiale
- a libertà radiale
- a libertà angolare.

a) *Giunti mobili a libertà torsionale.* I giunti mobili a libertà torsionale sono anche noti come meccanismi limitatori di coppia (o di sovraccarico). Per piccoli carichi si possono usare *giunti con sfere* caricate da molle. I *giunti con superfici d'attrito* trasmettono la coppia per effetto dell'attrito radente esistente fra le superfici combacianti compresse da molle (fig. 10.39-d). Tali superfici sono ricoperte da guarnizioni dello stesso tipo di quelle utilizzate nei freni. In presenza di sovraccarico, le superfici d'attrito slittano l'una rispetto all'altra; la differenza fra la potenza in ingresso e la potenza in uscita è dissipata sotto forma di calore. La condizione più gravosa si ha quando l'albero d'uscita è arrestato totalmente. In condizioni di strisciamento, la temperatura sale rapidamente e le superfici d'attrito si distruggono, a meno che non sia predisposto un dispositivo di allarme o di disinnesto automatico. Il giunto limitatore di coppia dovrebbe essere montato sulla macchina in posizione tale da evitare che le guarnizioni debbano subire variazioni rilevanti di temperatura, infiltrazioni di umidità e contaminazioni di lubrificante. Quando il giunto sia usato di rado, conviene periodicamente provocarne il funzionamento, per assicurarsi che esso abbia a funzionare in caso di necessità.

b) *Giunti mobili a libertà assiale.* Permettono uno spostamento relativo in direzione assiale, pur mantenendo un legame permanente inalterato fra le parti.

Una certa libertà di movimento assiale è necessaria quando si connettono fra loro unità tipizzate acquistate in commercio. Esse, infatti, sono necessariamente progettate in modo che ogni unità contenga un cuscinetto che resista agli spostamenti assiali dell'albero: è questo, ad esempio, il caso dei motori elettrici, dei riduttori ad ingranaggi, delle pompe, ecc. In queste condizioni (a differenza del caso delle macchine progettate «ad hoc» che possono quindi avere un solo cuscinetto assiale), la presenza di due cuscinetti assiali che vincolano uno stesso albero richiede la messa in opera di un giunto che possa assorbire la dilatazione assiale.

I giunti mobili a libertà assiale servono anche per compensare le dilatazioni nelle trasmissioni che contengono alberi molto lunghi.

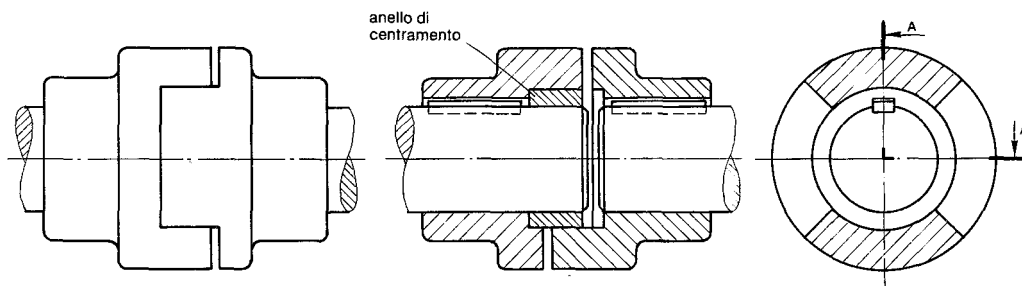


Fig. 10.40 - Giunto mobile a libertà assiale.

La fig. 10.40 illustra un esempio di giunto mobile con libertà assiale: è composto da due manicotti ciascuno dotato di sporgenze prismatiche: un anello, serrato in un manicotto e libero nell'altro, provoca il loro centramento. Particolarmente importanti sono i *giunti a dentature bombate* (fig. 10.41). Essi sono adatti ad assorbire soprattutto disallineamenti assiali, ma vengono normalmente costruiti con un certo gioco, in modo da poter tollerare anche un piccolo disallineamento di tipo angolare. La rotazione è trasmessa, per mezzo della dentatura, dall'albero di ingresso (con dentatura esterna) al manicotto (con dentature interne), e da questo all'albero d'uscita (con dentatura esterna). Le dentature sono bombate, cioè dotate di curvatura sia superiormente, sia lateralmente, in modo da poter subire disallineamenti angolari, dell'ordine dei 0,05 rad (circa 3°) per modelli tipizzati, e fino a 0,2 rad ($= 12^\circ$) per unità speciali.

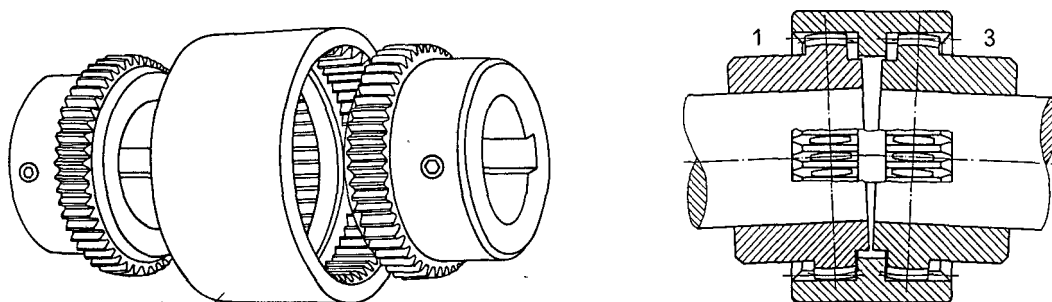


Fig. 10.41 - Giunto a dentatura bombata.

c) *Giunti mobili a libertà radiale*. Questo tipo di giunto permette la trasmissione di un moto di rotazione fra due alberi i cui assi siano soggetti ad un piccolo disallineamento che mantiene gli alberi paralleli. Molto noto è il giunto di Oldham (fig. 10.42); esso trasmette in uscita, senza variazioni istantanee, la velocità applicata in ingresso. Il funzionamento di questo giunto risulta corretto qualunque sia la distanza fra gli assi, purché i dischi abbiano dimensioni sufficienti per mantenere il collegamento. Però, se debbono essere consentiti scostamenti notevoli fra gli alberi, il giunto assume dimensioni assiali ingombranti, anche se si adottano disposizioni costruttive più convenienti, riducendo i corpi ai loro elementi essenziali, cioè alle guide prismatiche. Inoltre il disco intermedio (il cui centro descrive una circonferenza di diametro pari al disallineamento parallelo) è soggetto a forze centrifughe, che possono assumere valori notevoli se gli alberi ruotano velocemente e se la loro distanza è grande. Al crescere della distanza fra gli alberi cresce l'entità del lavoro perduto per strisciamento nelle coppie prismatiche. Il giunto di Oldham può essere realizzato con grande precisione ed è pertanto adatto anche per strumentazione. Il gioco assiale deve essere limitato e perciò questo giunto non può, in generale, servire come giunto di dilatazione, anche se è usato a tal fine in talune macchine utensili aventi alberi piuttosto corti.

d) *Giunti mobili a libertà angolare*. Consentono l'accoppiamento e, quindi, la trasmissione del moto fra assi concorrenti. Si definisce *angolo del giunto* l'angolo acuto individuato dagli assi degli alberi di ingresso e di uscita.

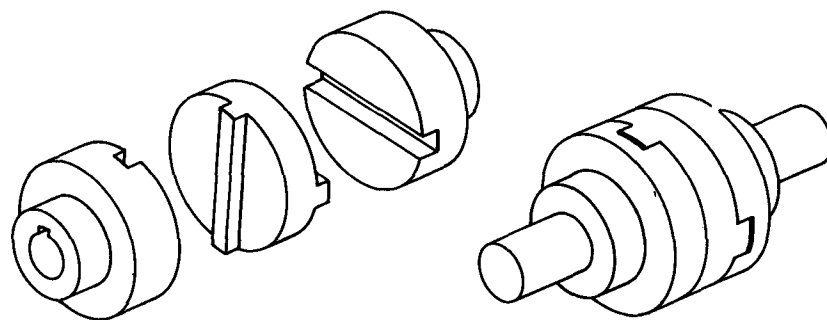


Fig. 10.42 - Giunto di Oldham (a libertà radiale).

I giunti sono detti *universali* se il trasmettono moto rotatorio fra due alberi aventi assi concorrenti permettendo di variare l'angolo fra gli assi. Si distinguono giunti universali con rapporto di trasmissione istantaneo variabile e giunti universali con rapporto di trasmissione istantaneo costante. Questi ultimi sono detti *giunti omocinetici*. La variazione del rapporto di trasmissione nei giunti non omocinetici è funzione dell'angolo formato fra gli assi ed è zero quando gli assi sono allineati. Il valor medio del rapporto di trasmissione (sul giro) è unitario.

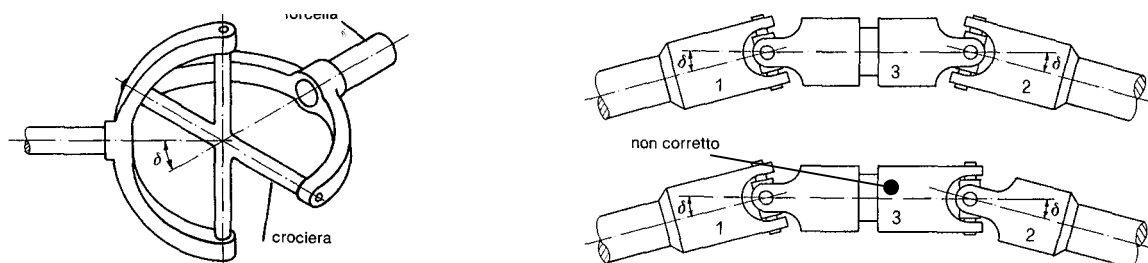


Fig. 10.43 - Giunto di Cardano, con angolo δ del giunto e doppio giunto cardanico per avere rapporto di trasmissione costante.

Fra i giunti universali a velocità di uscita variabile, il più noto è il *giunto cardanico*, detto anche giunto di *Hooke*. Esso consta di due forcelle, solidali con gli alberi da collegare, e di un elemento intermedio, detto *crociera*, i cui bracci sono accoppiati ai bracci delle forcelle con coppie rotoidali (fig. 10.43). Il giunto cardanico non è omocinetico. In Fig. 10.44 sono riportati gli andamenti del rapporto di trasmissione del giunto cardanico in funzione dell'angolo di ingresso e al variare dell'angolo δ del giunto (fig. 10.43). La curva per $\delta=0$ coincide con la retta orizzontale $\tau=1$; per $\delta>0$ lo scostamento dell'andamento di τ dall'unità è tanto più sensibile quanto δ è grande.

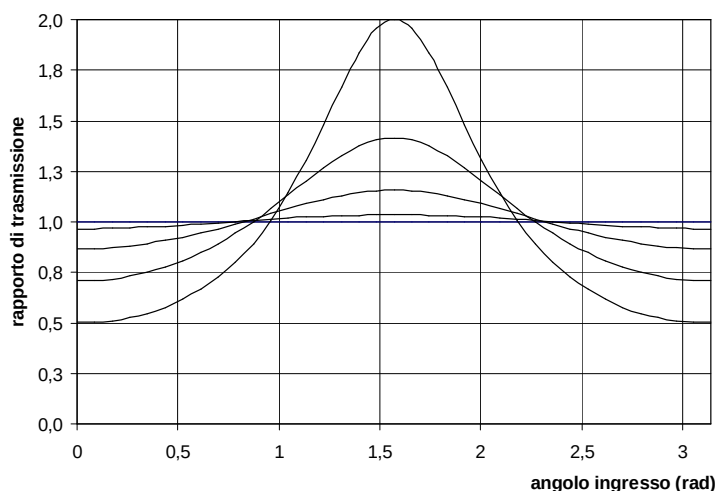


Fig. 10.44 Rapporto di trasmissione del giunto cardanico ($\delta= 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$)

Peraltro due giunti cardanici in serie collegati da un albero intermedio possono dar luogo ad un comportamento omocinetico (fig. 10.43). A tal fine occorre che:

- le due forcelle dell'albero intermedio 3 siano montate simmetricamente;
- gli alberi 1 e 2 siano inclinati dello stesso angolo δ rispetto all'asse 3.

Dal punto di vista dell'utilizzazione, si raccomanda che l'angolo del giunto sia inferiore a $\pi/12$ rad ($= 15^\circ$). Angoli fino a $\pi/4$ ($= 45^\circ$) possono essere usati per comandi a mano o per funzionamento a bassissime velocità. Dal punto di vista costruttivo, va ricordato che i perni della crociera possono essere montati su cuscinetti a rotolamento, evitando così il contatto di strisciamento. Giunti universali cardanici tipizzati sono disponibili, sul mercato, per vasti campi di applicazione.

• I *giunti universali omocinetici* possono essere realizzati costruttivamente con tipologie assai diverse. Nel giunto *Bendix- Weiss* (fig. 10.45), in cui il moto è trasmesso da un albero all'altro tramite quattro sfere disposte in apposite cave degli alberi. Tale tipo di giunto ha trovato, ad esempio, applicazione per le ruote motrici di autoveicoli a trazione anteriore, permettendo angoli di sterzata fino a $0,65$ rad (37°). Il giunto *Rzeppa* prevede gole a sezione circolare orientale in direzione meridiana. Poiché in questo caso le sfere potrebbero incunearsi, impuntandosi, ed essere espulse dalle gole, è necessaria la presenza di una gabbia, che si fa sferica. Gli angoli di giunto possono raggiungere $0,8$ rad (45°). Anche per questo motivo tale tipo di giunto è molto diffuso.

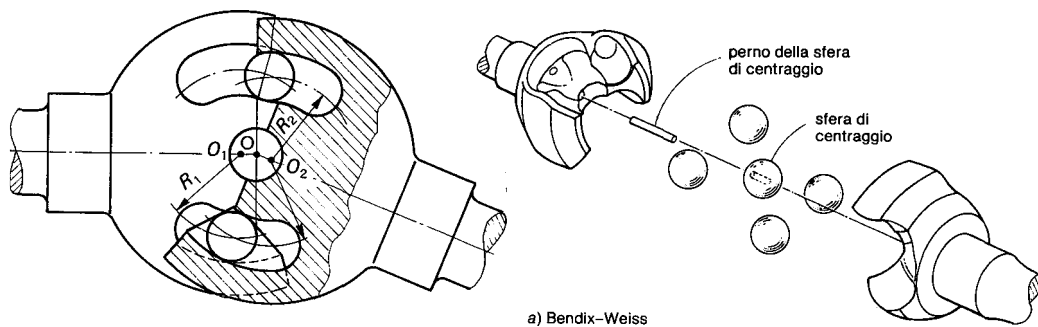


Fig. 10.45 Giunto Bendix-Weiss

10-7.3. GIUNTI DEFORMABILI

I giunti deformabili (o elastici) assicurano il collegamento fra due alberi permettendo nel contempo piccoli spostamenti relativi, costanti o variabili. La possibilità di realizzare tali piccoli spostamenti relativi è affidata alla presenza di un corpo deformabile, in modo teoricamente elastico. Si possono distinguere i seguenti tipi di deformabilità: torsionale, assiale, radiale ed angolare, avendo tali termini il significato consueto. La deformabilità torsionale permette di ridurre le coppie d'inerzia connesse a variazioni brusche della velocità angolare; le deformabilità assiale, radiale ed angolare evitano, almeno in parte, di scaricare sugli appoggi i sovraccarichi derivanti da difetti di posizionamento relativo degli alberi.

I giunti elastici consentono quindi il collegamento fra alberi che abbiano disallineamenti dello stesso tipo di quelli esaminati nel caso di giunti mobili, ma contenuti entro limiti quantitativi assai più modesti.

Il corpo deformabile può essere metallico: ne derivano vari differenti tipi. Si possono citare gli *alberi flessibili*, i *giunti a nastro d'acciaio*, i *giunti a molle elicoidali* (Fig. 10.46).

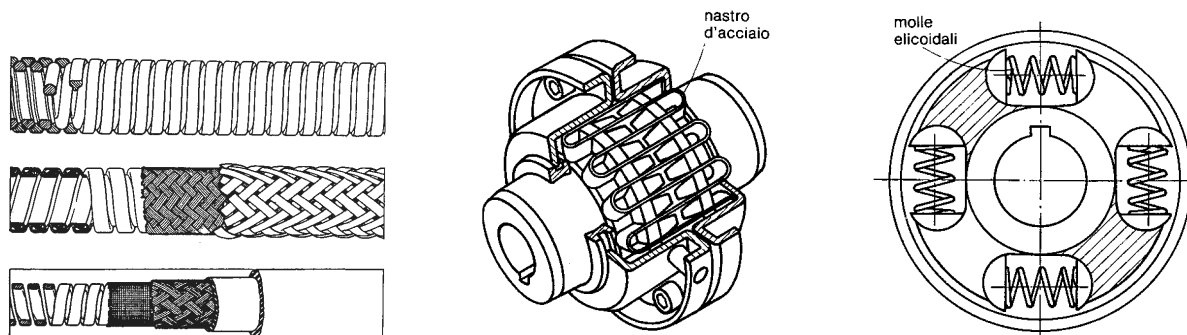


Fig. 10.46 Giunti deformabili (alberi flessibili, a nastro d'acciaio, a molle elicoidali)

Gli alberi flessibili sono molto usati per trasmissioni a bassa potenza, come nel caso di tachimetri, contagiri, dispositivi di posizionamento, molatrici portatili, ecc., cioè in tutti quei casi in cui si desidera poter assorbire grandi disallineamenti di qualsiasi tipo; talora sono invece usati semplicemente per ridurre la complessità di realizzazione della trasmissione. La guaina esterna che protegge l'albero flessibile trattiene il lubrificante ed impedisce all'albero stesso di urtarsi e di avvolgersi su di esso. La coppia trasmissibile degli alberi flessibili dipende soprattutto dal verso di rotazione e dal raggio minimo di curvatura dell'albero flessibile. I dati forniti dai cataloghi si riferiscono alla rotazione nella direzione di avvolgimento degli avvolgimenti più esterni: la capacità di coppia, per rotazione in verso opposto, può ridursi al 50-80% del valore precedente.

Inoltre, per esempio, un albero che trasmetta 7,5 kW a 180 rad/s quando il raggio di curvatura è 1300 mm, può trasmettere solo 2,2 kW quando il raggio di curvatura si riduce a 130 mm.

I giunti a *nastro d'acciaio* contengono una molla a serpentina inserita in scanalature con fianchi non paralleli, di guisa che, al crescere della deformazione, cresca progressivamente la rigidità torsionale, perché viene a diminuire la lunghezza libera della molla. Si ha un'ampia tolleranza per spostamenti in direzione assiale; la libertà radiale varia intorno a 1,5-3 mm e la libertà angolare da 0,00875 a 0,0175 rad (da 30' a 1°).

Nei giunti a *molle elicoidali* queste sono disposte tangenzialmente, appoggiate ad opposti risalti dei due elementi terminali degli alberi. Questi giunti sono usati per minimizzare la propagazione di urti o per alterare le caratteristiche di vibrazione torsionale di una trasmissione. Fra le applicazioni si possono ricordare trasmissioni di locomotori, frizioni degli autoveicoli, giunti fra il riduttore e l'albero portaelica di imbarcazioni con motore Diesel, ecc.

In altri numerosi tipi di giunto l'elemento deformabile non è metallico, ma è di gomma o di resina sintetica.

10-8. Innesti.

Questi meccanismi consentono di stabilire o di interrompere a comando il collegamento fra due alberi. Sono indispensabili quando occorra accoppiare due parti di un sistema aventi velocità diverse. È il caso, ad esempio, del collegamento tra il motore e le ruote negli autoveicoli con motore termico. Infatti i motori a combustione interna non possono funzionare al di sotto di certe velocità di rotazione ed è necessario che siano scollegati dalle ruote quando queste sono ferme o girano molto lentamente. La velocità angolare del motore può così mantenersi al di sopra del minimo e consentirgli di non spegnersi.

Gli innesti possono trasmettere, al più, la coppia massima per la quale sono dimensionati e tarati: possono perciò anche fungere da limitatori di sovraccarico.

Gli innesti possono essere divisi secondo diverse classificazioni. In questa sede si farà riferimento al mezzo adottato per collegare i due alberi del meccanismo.

Si possono così distinguere:

— *innesti meccanici, innesti idraulici, innesti a polveri, innesti magnetici.*

10-8.1 INNESTI MECCANICI.

Gli innesti meccanici possono essere di due tipi:

— ad accoppiamento istantaneo o a denti

— ad accoppiamento progressivo.

a) gli *innesti ad accoppiamento istantaneo* (detti anche *a denti*) possono essere a denti frontali rettangolari, a spirale, a dente di sega (Fig. 10.47) o a denti radiali (Fig. 10.48). Gli innesti a denti frontali rettangolari sono i più semplici e possono trasmettere coppia in entrambi i versi di rotazione, in teoria senza dar luogo ad una spinta assiale; in pratica dopo un certo numero di innesti, l'usura fa nascere una certa spinta assiale. Possibili varianti sono quelle in cui il profilo rettangolare è completato da raccordi circolari di testa e di gola, per agevolare l'innesto. Naturalmente, le due parti degli innesti a denti possono essere accoppiate solo quando la differenza fra le velocità angolari è nulla o modesta, per evitare eccessive sollecitazioni inerziali. Qualora sia previsto un solo verso di trasmissione della coppia, si adottano profili a spirale o a denti di sega, che permettono l'innesto con alberi in rotazione con velocità diverse, ma a bassa velocità. Essi però possono trasmettere coppia solo in una direzione, senza che sia richiesta una forza assiale esterna per mantenere il collegamento.

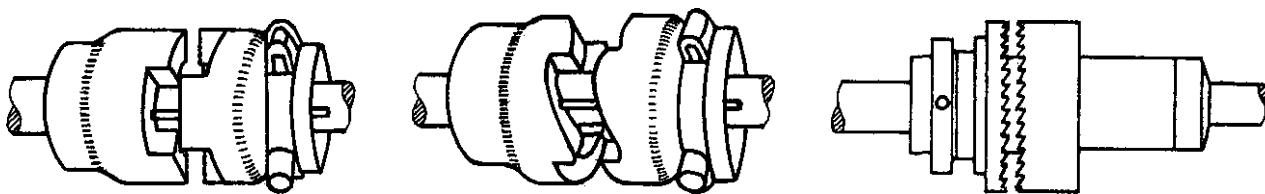


Fig. 10.47 Innesti a denti frontali (rettangolari, a spirale, a denti di sega)

Gli innesti a denti radiali, cioè con scanalature assiali dritte, sono molto usati per ottenere un innesto positivo senza tendenza a sviluppare una forza assiale. Una classica applicazione si ha, ad esempio, nei manicotti sincronizzatori del cambio di velocità degli autoveicoli (fig. 10.48).

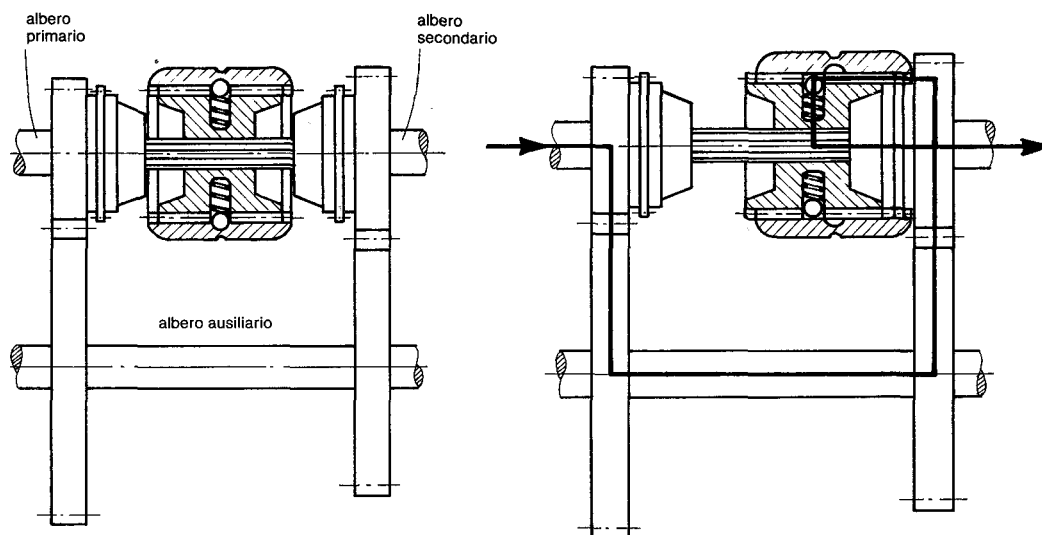


Fig. 10.48 Innesti a denti radiali e innesti con accoppiamento progressivo

Durante la fase di innesto dapprima le superfici di attrito coniche rendono uguali le velocità della ruota dentata e del manicotto, poi la parte esterna del manicotto scorre assialmente fino a bloccare, con le sue scanalature assiali, una dentatura d'innesto solidale con la ruota dentata, sempre in presa, che si vuole rendere solidale all'albero di uscita.

b) Gli *innesti con accoppiamento progressivo* consentono di realizzare il collegamento graduale fra due alberi, attenuando così gli effetti inerziali sulle due parti del sistema che devono essere collegate. La trasmissione delle forze è realizzata per attrito radente, sicché questi innesti sono anche detti *a frizione*. È possibile realizzare un innesto graduale facendo crescere progressivamente la forza normale, che spinge l'una contro l'altra due o più superfici d'attrito. La possibilità di strisciamento previene gli urti e protegge il sistema dai sovraccarichi; crea però problemi di dissipazione del calore.

Gli innesti a frizione possono essere *a disco* (monodisco, fig. 10.49, o a dischi multipli). Sono di tipo assiale e constano di due o più superfici concentriche che vengono spinte l'una contro l'altra, in modo che la forza tangenziale d'attrito trasmetta la coppia dell'albero d'ingresso a quello d'uscita. In particolare, gli innesti a dischi multipli constano di un numero elevato di dischi d'acciaio di piccolo spessore, collegati alternativamente all'albero motore e a quello condotto. Sui dischi sono applicate le guarnizioni, talvolta fabbricate con materiali metallici sinterizzati.

Il contatto può avvenire a secco o in un bagno d'olio. A prima vista il funzionamento di un innesto a frizione in bagno d'olio può sembrare un controsenso, in quanto il fattore d'attrito risulta diminuito dalla presenza del lubrificante. In realtà spesso la vicinanza di altri organi meccanici lubrificati rende difficile garantire un funzionamento a secco dell'innesto, mentre una lubrificazione completa offre ampie possibilità di smaltimento del calore ed una maggiore progressività dell'innesto.

La scelta della guarnizione in relazione alle condizioni di impiego ha importanza capitale per il buon funzionamento dell'innesto. L'accoppiamento deve avere un fattore d'attrito sufficiente per trasmettere la coppia desiderata senza necessità di eccessiva forza di contatto, e senza strisciare in presenza di unto o di moderate riduzioni della forza di contatto. D'altra parte un fattore d'attrito troppo elevato può dar luogo ad accoppiamenti brutali. Sono considerati valori minimi e massimi

del fattore d'attrito, per guarnizioni d'accoppiamento, rispettivamente 0,1 e 0,4. La guarnizione deve avere, per quanto possibile, condizioni operative poco variabili nel tempo. Occorre quindi tener conto del fatto che il fattore d'attrito varia con la temperatura delle guarnizioni e con la pressione di contatto.

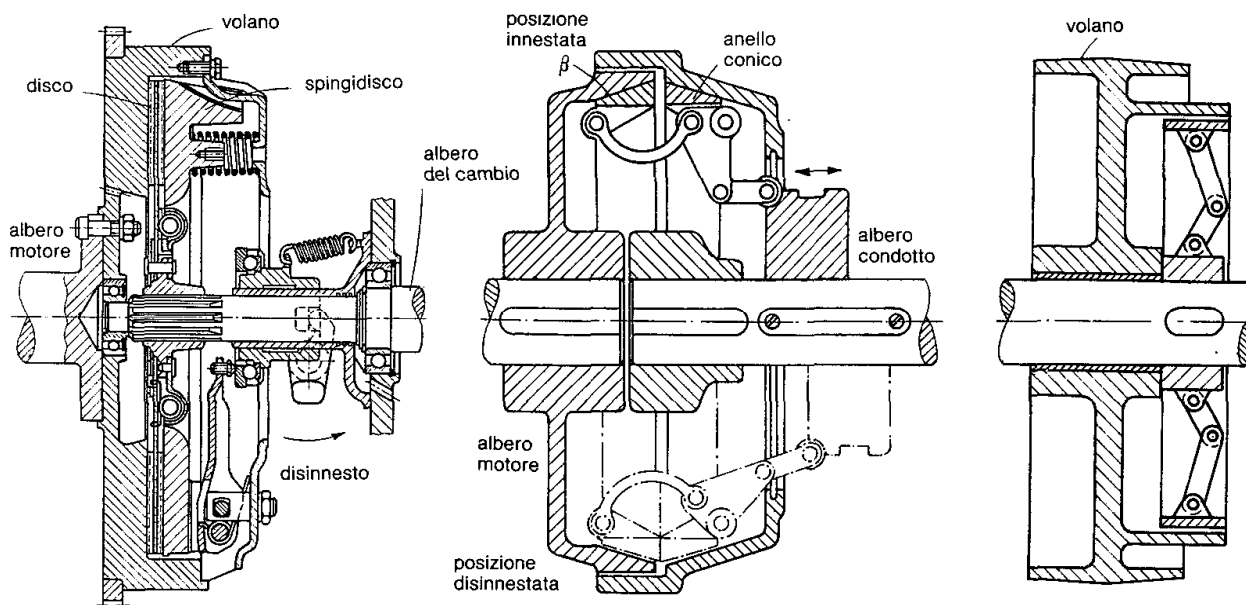


Fig. 10.49 Innesti a frizione assiale a disco, assiale conica, radiale

La coppia trasmissibile dall'innesto dipende dal numero di superfici d'attrito (due nel caso di frizione monodisco). Frizioni a dischi multipli trasmettono coppie maggiori; tendono peraltro a surriscaldarsi. Esse sono particolarmente indicate per applicazioni a bassa velocità, nelle quali è richiesta una elevata coppia di tipo statico; per uso dinamico ad elevata velocità conviene invece limitare il numero delle superfici di frizione. Gli innesti con dischi multipli hanno il vantaggio della piccolezza del diametro in relazione alla capacità di coppia, con conseguente riduzione delle forze centrifughe e del momento d'inerzia.

Tra le applicazioni degli innesti a frizione di *tipo conico* si è già citata l'applicazione ai sincronizzatori degli autoveicoli. L'inclinazione delle superfici a contatto genera un effetto cuneo del tipo già citato per le ruote di frizione e per le cinghie trapezoidali: rispetto agli innesti con superfici piane risulta dunque accresciuta, a parità di spinta, la forza d'attrito e quindi la coppia trasmessa dall'innesto.

Gli innesti a frizione di *tipo radiale* presentano superfici d'attrito cilindriche (o eventualmente a cuneo) ed agiscono per espansione o per contrazione radiali o, in certi tipi, nei due modi contemporaneamente. Innesti di questo tipo vengono frequentemente costruiti all'interno di pulegge o di volani.

10-8.2 INNESTI IDRAULICI.

Gli innesti idraulici utilizzano un liquido per trasmettere la potenza fra l'albero di ingresso e quello di uscita. Si distinguono: *innesti idraulici*, nei quali le coppie di ingresso e di uscita sono uguali; *trasformatori o convertitori di coppia*, nei quali le coppie di ingresso e di uscita sono diverse (in genere la coppia in uscita è superiore a quella in ingresso).

A) L'*innesto idraulico* (fig. 10.50) è costituito essenzialmente da una girante che funge da pompa centrifuga (il rotore di destra in figura), affacciata ad una girante che funge da turbina (il rotore di sinistra). Condizione affinché vi possa essere trasferimento di energia dalla girante pompa alla girante turbina è che la seconda ruoti ad una velocità inferiore a quella della prima; in assenza di tale condizione, si arresterebbe la corrente di fluido fra le due giranti, necessaria al funzionamento. Infatti il fluido nella girante pompa si sposta dal centro verso la periferia per effetto della forza centrifuga e, nel passaggio da un raggio minore ad uno maggiore, viene trascinato ad una maggiore

velocità tangenziale ed assorbe energia dalla girante pompa. Il fluido entra poi nella girante turbina che riceve così potenza e si mette in rotazione. Tuttavia la velocità di rotazione della girante turbina non può raggiungere quella della girante pompa, perché in tale ipotesi si creerebbe eguaglianza di forze centrifughe nelle due parti affacciate dell'innesto e perciò la corrente di fluido si arresterebbe.

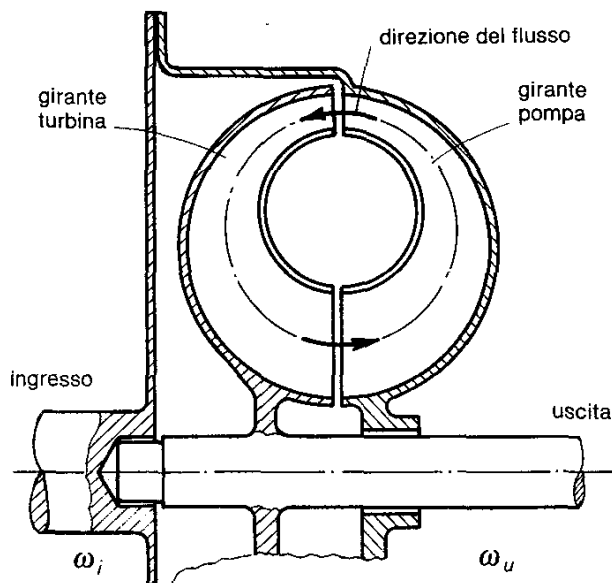


Fig. 10.50 - Innesto idraulico.

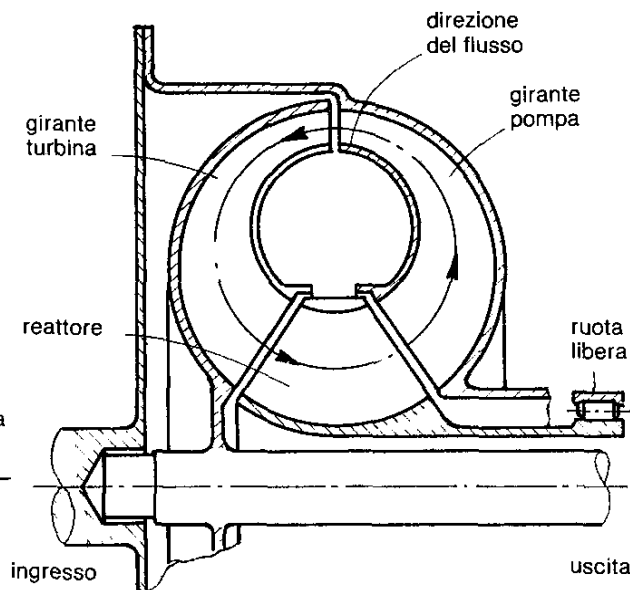


Fig. 10.51. - Moltiplicatore di coppia monostadio.

La vista esplosa di un innesto è mostrata in Fig. 10.52.

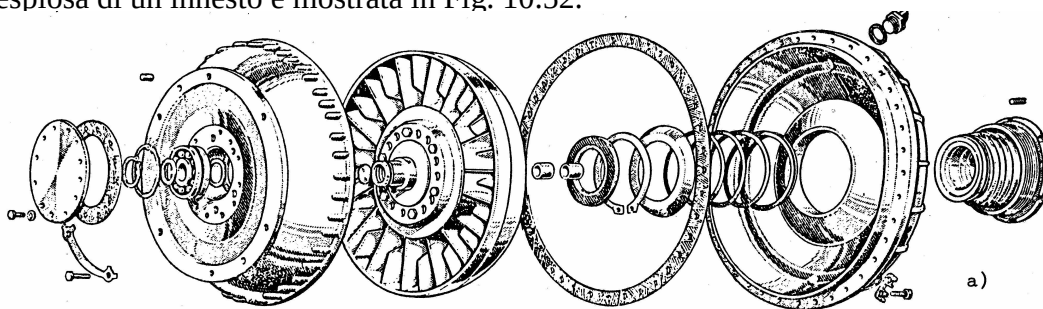


Fig. 10.52 - Vista esplosa di un innesto idraulico

Dette rispettivamente ω_i e ω_u le velocità angolari di ingresso e di uscita, la differenza di velocità è misurata dallo *scarto di velocità*

$$s_v = \omega_i - \omega_u$$

o dallo *scorrimento* s

$$s = \frac{\omega_i - \omega_u}{\omega_i}$$

o ancora dallo *scorrimento percentuale* $s\% = 100s$.

La velocità di uscita è legata a quella di ingresso da

$$\omega_u = (1 - s)\omega_i$$

Nell'innesto idraulico la coppia di ingresso M_i e quella in uscita M_u sono uguali.

Gli innesti idraulici, in condizione di regime, hanno di solito uno scorrimento percentuale $s = 3 - 6\%$ (talora si può scendere a 1%).

Un esempio di curve caratteristiche di un innesto idraulico in condizioni di regime è riportato nel grafico di Fig. 10.53. In ascisse è posta la velocità angolare di ingresso (lato pompa), in ordinate il rapporto fra la coppia trasmessa e la coppia massima trasmissibile. Si ricordi che la coppia trasmessa è uguale alla coppia in ingresso e a quella in uscita.

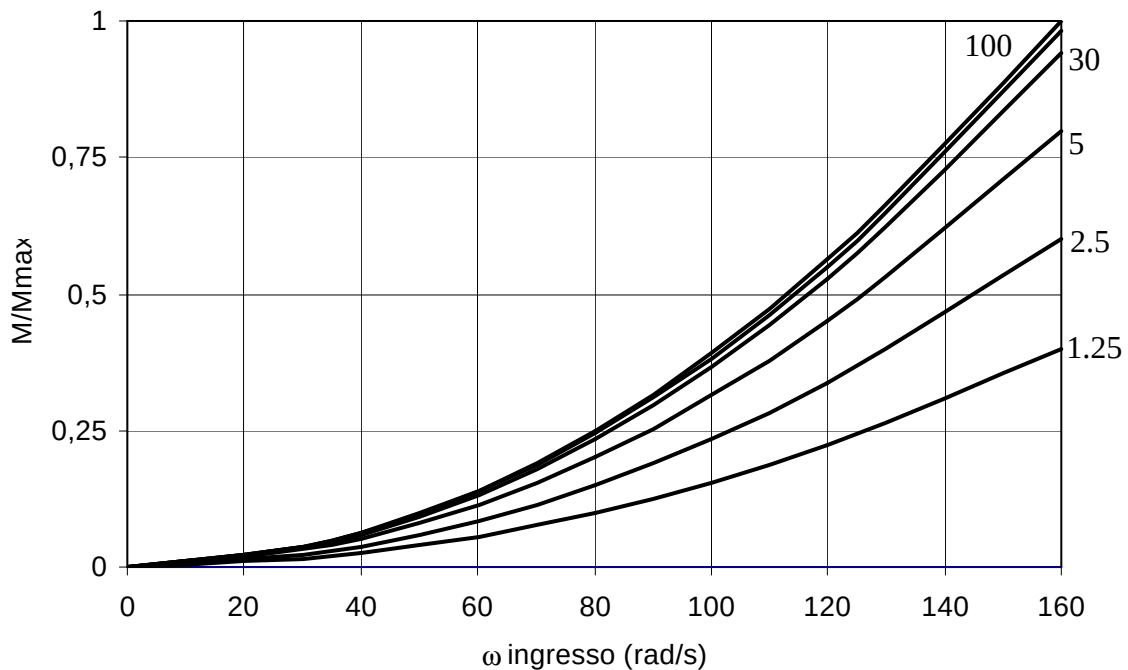


Fig. 10.53 Curve di coppia di innesto idraulico per diversi scorrimenti ($s\% = 1.25, 2.5, 5, 30, 60, 100$)

Le curve caratteristiche di Fig. 10.53 di un innesto quando lo scorrimento s è positivo (cioè quando $\omega_i > \omega_u$) si possono interpretare facilmente nel modo seguente. Quando la velocità di ingresso ω_i è nulla, lo è anche ω_u , il liquido resta in quiete, non ci sono fenomeni fluidodinamici e la coppia trasmessa è nulla. Pertanto tutte le curve caratteristiche partono dall'origine del grafico di Fig. 10.46. Parimenti, per qualunque velocità di ingresso diversa da zero ed uguale a quella di uscita ($s=0$) il fluido non circola fra turbina e pompa, per cui la coppia trasmessa dall'innesto è nulla. Pertanto nel grafico la curva $s=0$ coincide con l'asse delle ascisse. All'aumentare di ω_i e a parità di s i fenomeni fluidodinamici si fanno sempre più rilevanti e la coppia trasmessa aumenta. Le conseguenti curve a $s=\text{costante}$ crescono con il quadrato di ω_i . All'aumentare dello scorrimento l'azione della pompa si fa sempre più rilevante rispetto a quella della turbina e la coppia trasmessa aumenta. Pertanto le curve a $s=\text{costante}$ si alzano al crescere di s .

Le condizioni di funzionamento di un innesto a regime sono definite dall'intersezione delle curve caratteristiche del motore, dell'innesto e del carico. Come esempio (Fig. 10.54) si supponga di collegare un motore asincrono trifase, la cui curva caratteristica è riportata in Fig. 10.55, ad un carico viscoso tramite un innesto le cui curve caratteristiche sono riportate nella stessa Fig. 10.55.



Fig. 10.54 Trasmissione con innesto

Dette M_m , M_i , M_u , M_c le coppie del motore, di ingresso dell'innesto, di uscita dell'innesto e del carico, ω_m , ω_i , ω_u , ω_c le velocità angolari del motore, di ingresso dell'innesto, di uscita dell'innesto e del carico, in condizioni di regime si avrà

$$M_m = M_i = M_u = M_c$$

e

$$\omega_m = \omega_i \neq \omega_u = \omega_c$$

La disuguaglianza delle velocità angolari è dovuta al fatto che per trasmettere coppia non nulla l'innesto deve avere scorrimento non nullo.

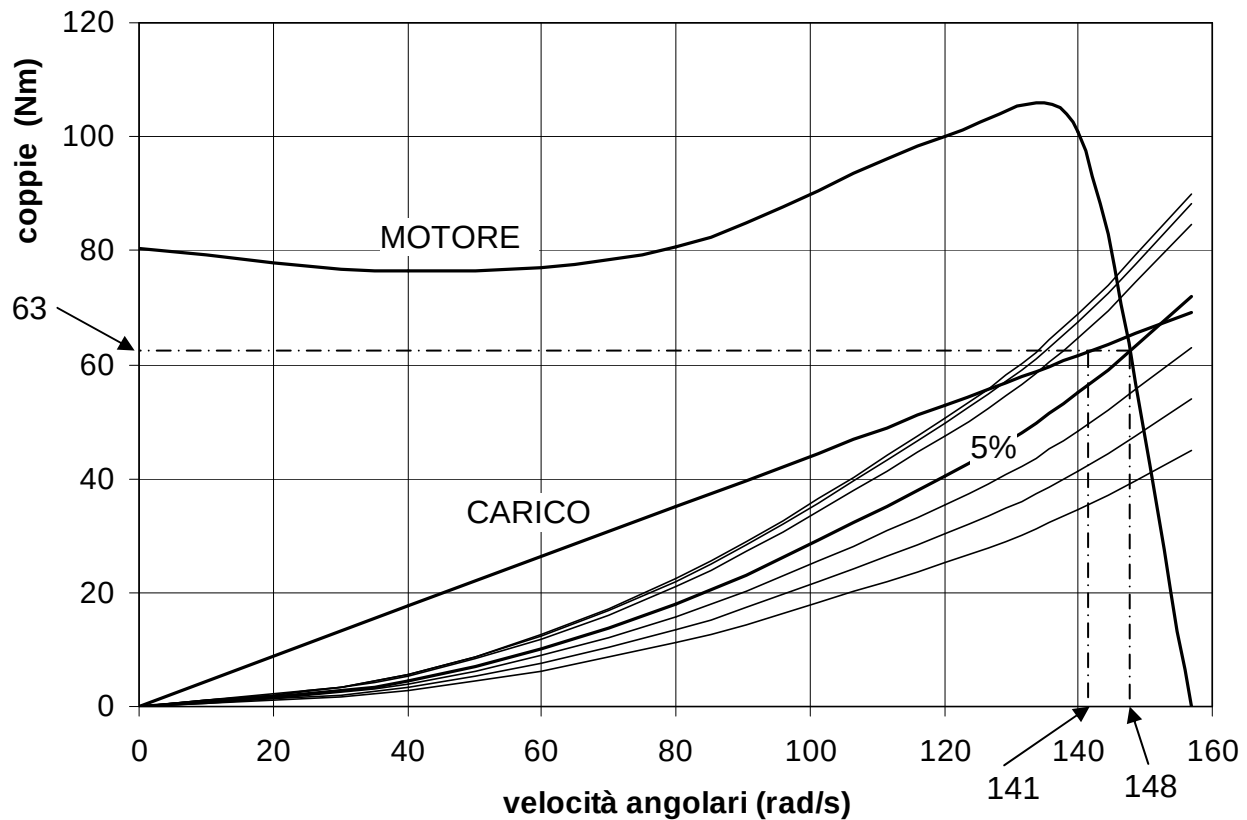


Fig. 10.55 Funzionamento a regime di un gruppo motore, innesto, carico

Le curve caratteristiche di innesto e carico devono intersecarsi in un punto poiché devono essere uguali le coppie e le velocità angolari, mentre la curva del carico deve presentare il punto di funzionamento in corrispondenza del medesimo valore della coppia. La Fig. 10.55 riporta un esempio delle condizioni di funzionamento. Il punto di intersezione fra la caratteristica del motore e quella dell'innesto al 5% di scorrimento è

$$\omega_m = \omega_i = 148 \text{ rad/s}, \quad M_m = M_i = 63 \text{ Nm}$$

mentre la caratteristica mostra che in corrispondenza di $M_c = 63 \text{ Nm}$, la velocità di questo è

$$\omega_c = 141 \text{ rad/s}$$

Dato che $\omega_u = \omega_c$, risulta anche $\omega_u = 141 \text{ rad/s}$

Lo scorrimento dell'innesto è

$$s\% = \frac{\omega_i - \omega_u}{\omega_i} 100 = \frac{148 - 141}{148} 100 = 5\%$$

coerentemente con la curva (5%) considerata.

Il rendimento dell'innesto, tenendo conto che, come si è detto, la coppia di ingresso M_i e quella di uscita M_u sono uguali, è dato da

$$\eta = \frac{P_u}{P_i} = \frac{M_u \omega_u}{M_i \omega_i} = \frac{\omega_u}{\omega_i} = \frac{\omega_i - s\omega_i}{\omega_i} = 1 - s$$

ossia decresce linearmente con s . In realtà, quando $s=0$, non c'è trasmissione di potenza, per cui, le inevitabili perdite per attrito nei supporti del giunto fanno annullare il rendimento. Si ottiene così la curva del rendimento riportata in Fig. 10.56.

Durante i transitori l'innesto idraulico smorza i sovraccarichi dell'utenza di breve durata, consentendo bruschi scorrimenti che non sollecitano il motore in modo rilevante. Se, invece, il sovraccarico persiste, l'innesto lo trasmette gradualmente al motore aumentando progressivamente lo scorrimento al crescere del carico. Se il carico assume il valore limite che fa arrestare la turbina, lo scorrimento può ancora consentire al motore di rimanere in movimento.

L'innesto idraulico è particolarmente indicato nelle applicazioni con motori elettrici azionanti carichi con inerzia molto elevata. In assenza di innesto l'accelerazione della macchina, a meno di un grande surdimensionamento del motore, sarebbe molto piccola, i tempi di avviamento molto lunghi

con conseguenti effetti negativi sul motore, costretto a funzionare a lungo a bassa velocità. Con l'innesto idraulico il motore può rapidamente raggiungere velocità elevate, mentre lo scorrimento vicino al 100% consente al carico di mantenere a lungo basse velocità.

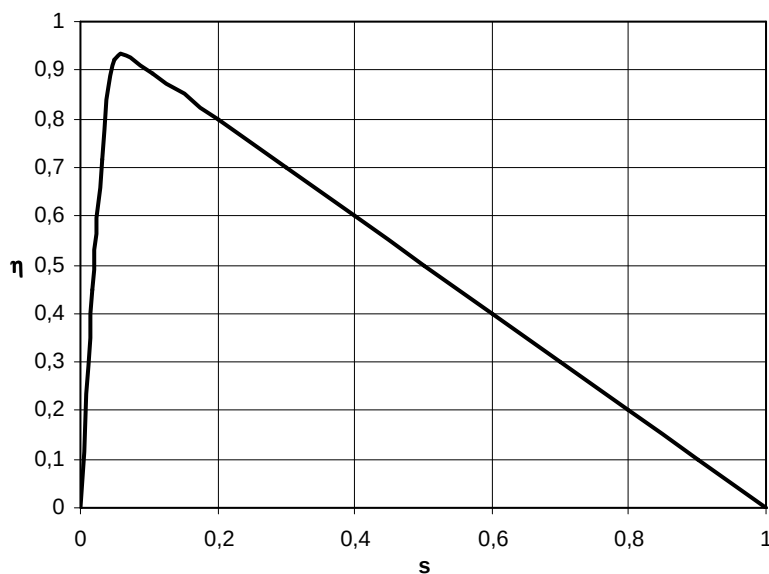


Fig. 10.56 Rendimento dell'innesto idraulico

Gli innesti idraulici possono essere a riempimento costante o variabile. Questi ultimi sono caratterizzati dalla possibilità di variare, durante l'esercizio, la quantità d'olio presente nel circuito di lavoro. Così facendo è possibile:

- controllare la progressività dell'avviamento allungando a piacere il transitorio iniziale, il che è particolarmente utile nel caso di macchine con grande inerzia;
- sconnettere completamente le due parti della trasmissione;
- far variare la velocità dell'albero d'uscita (di solito la gamma di variazione può arrivare da 5 a 1);
- raffreddare l'olio asportando il calore prodotto per attrito. Ciò consente di utilizzare innesti più piccoli di quelli necessari nel caso di riempimento costante.

B) I *trasformatori* (o *moltiplicatori*) di coppia hanno una struttura analoga a quella degli innesti idraulici (fig. 10.51), ma differiscono da questi in quanto producono una amplificazione della coppia d'ingresso; ciò si ottiene aggiungendo una palettatura fissa al telaio, detta reattore, che porta il fluido ad assumere un'opportuna velocità, diversa da quella della girante pompa, consentendo così di ottenere diverse coppie e velocità dell'albero d'ingresso e di quello d'uscita.

10-8.3 CARATTERISTICHE COMPARATE DEGLI INNESTI

Gli innesti sono in grado di trasmettere, a seconda dei tipi, potenze variabili da frazioni di Watt a migliaia di kWatt. Gli innesti meccanici per attrito radente sono in genere i più semplici e meno costosi. Hanno rendimento unitario e non provocano perdite di energia quando l'innesto è aperto. Vengono costruiti anche innesti a bagno d'olio. In questo caso la presenza dell'olio non consente di disaccoppiare completamente gli alberi e il rendimento non è unitario.

Gli innesti idraulici costano di più ed hanno perdite di rendimento anche a regime. Presentano peraltro i seguenti vantaggi:

- trasmettono facilmente potenze molto elevate;
- sono robusti e molto affidabili;
- entrano in funzione automaticamente senza necessità di organi di comando;
- l'azione di trascinamento è dolce e progressiva e può essere regolata variando il grado di riempimento;
- permettono il collegamento in parallelo di più motori e la ripartizione automatica del carico fra gli stessi;
- consentono ai motori di partire anche in presenza di carichi elevati;
- il rapporto momento d'inerzia/potenza è modesto;

- l'usura e la necessità di manutenzione sono praticamente nulle;
- filtrano le irregolarità periodiche tipiche dei motori a combustione interna, evitando il ricorso a grandi volani, e smorzano le oscillazioni torsionali;
- sopportano partenze ripetute, anche se molto lente per l'inerzia delle masse trascinate;
- limitano la coppia trasmessa ed impediscono sovraccarichi accidentali;
- durante la marcia a regime le perdite dovute allo scorrimento possono essere evitate collegando in modo rigido i due alberi, ad esempio con innesti a denti.

Infine, usando trasformatori di coppia è possibile disporre, all'avviamento, di coppie superiori a quelle del motore.

Si citano infine gli *innesti a polveri* e gli *innesti magnetici* che hanno il vantaggio di offrire un rendimento pressoché unitario durante la marcia normale. Gli innesti a polveri hanno vantaggi analoghi a quelli offerti dagli innesti idraulici, ma richiedono più manutenzione. In particolare la polvere deve essere cambiata quando il 25% della carica è ridotta allo stato di pulviscolo.

Gli innesti magnetici hanno il vantaggio di poter essere regolati durante il funzionamento agendo sulla corrente d'alimentazione degli avvolgimenti elettrici. Oltre che come innesti progressivi possono essere utilizzati come variatori di velocità, come limitatori di coppia ed infine come freni elettromagnetici (bloccando uno dei due rotori). Tuttavia, non essendo costruiti per essere variatori di velocità, quando realizzano tale funzione dissipano potenza in calore.

10-4 Freni

I freni sono meccanismi che permettono di rallentare ed, in caso di necessità, arrestare le parti mobili di una macchina. Esistono *freni ad attrito radente*, la cui azione è ottenuta mediante il contatto di strisciamento fra due superfici solide: una superficie con materiale ad alto valore del fattore di attrito viene premuta contro l'altra superficie collegata alla parte da frenare. L'energia cinetica della macchina è dissipata in calore prodotto dallo strisciamento tra le due superfici. I freni ad attrito radente sono utilizzati sia per il rallentamento sia per l'arresto del movimento. Il rallentamento può essere ottenuto anche con dispositivi *a correnti di Foucault*, *a particelle magnetiche*, o *a fluido*, ma non si ottiene l'arresto completo. Il freno deve produrre una adeguata coppia frenante in ogni condizione di uso, a caldo o a freddo, tra superfici asciutte o bagnate.

Esistono diverse classificazioni dei freni. I freni ad attrito possono essere classificati nel modo seguente con riferimento alla forma delle parti a contatto.

TIPO	SOTTOTIPO
A tamburo	a) esterno (a ceppi esterni) , b) interno (a ceppi interni)
A nastro	a) semplice, b) differenziale
A disco	a) a disco rotante monodisco o multidisco b) a disco fisso

Alcuni esempi di freni dei diversi tipi sono riportati nelle figure seguenti

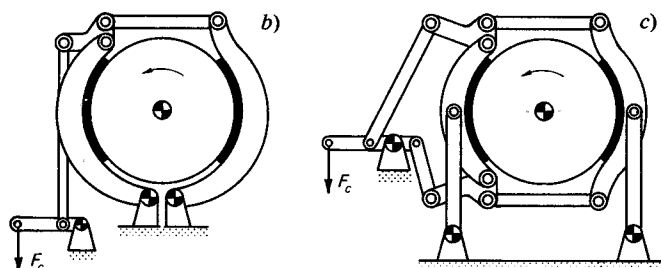


Fig. 10.57 Freni a ceppi esterni

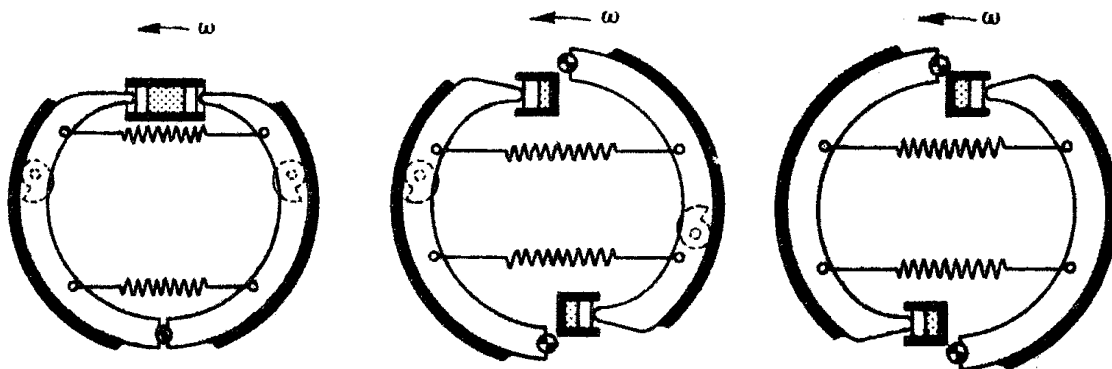


Fig. 10.58 Freni a ceppi interni

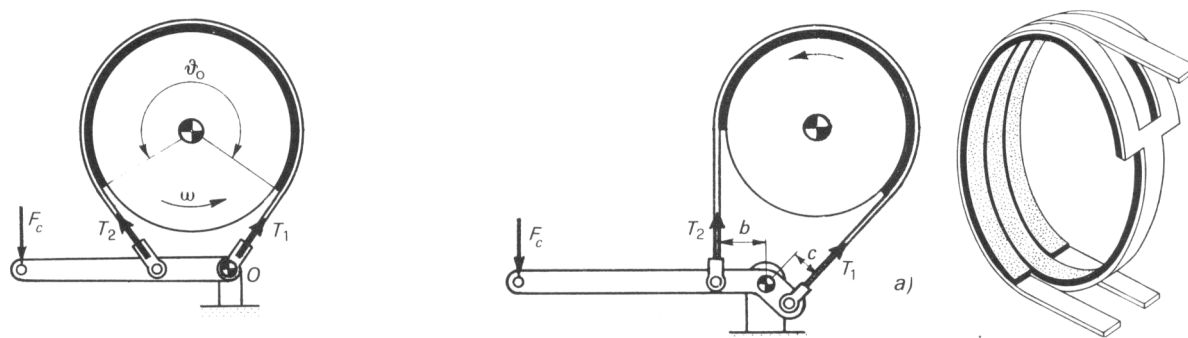


Fig. 10.59 Freni a nastro e nastro a doppio avvolgimento

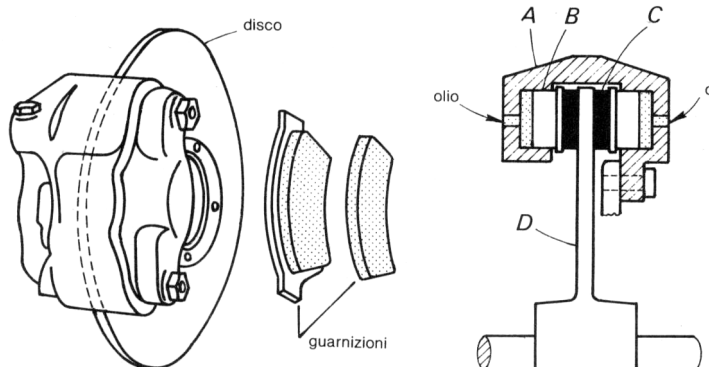


Fig. 10.60 Freno a disco

Le grandezze che caratterizzano il comportamento dei freni sono:

- *forza di comando* (o di azionamento): è la forza costante (massima) esercitata dall'operatore sull'organo di comando del freno durante la frenatura;
- *corsa di lavoro*: è lo spostamento dell'organo di comando del freno dalla posizione di riposo alla posizione di frenatura;
- *indice di comando*: è il prodotto della forza di comando per la corsa di lavoro;
- *efficacia* secondo la definizione anglosassone (*shoe factor*)

$$E = \frac{\text{forza di attrito}}{\text{forza di comando}}$$

- *indice di regolarità* (*sensitivity*)

$$r = \frac{\text{variazione percentuale della coppia di frenatura}}{\text{variazione percentuale del fattore di attrito}}$$

Si noti dalla definizione che più è elevato l'indice, più il freno è sensibile alla variazione del fattore di attrito.

Le caratteristiche da realizzare per un buon freno sono:

- modesta forza di comando
- notevole efficacia, ma non tanto da provocare variazioni di velocità eccessive e conseguenti forze d'inerzia
- modesto indice di regolarità per avere prestazioni il più possibili costanti anche al variare delle forze di attrito
- scarsa necessità di manutenzione
- forma costruttiva semplice
- costo modesto.

I principali componenti dei freni a tamburo sono i tamburi stessi ed i ceppi con le relative guarnizioni, oltre alle leve necessarie per l'appoggio e l'azionamento dei ceppi:

- **Tamburi.** Accoppiati con le guarnizioni, i tamburi devono dar luogo a fattori d'attrito stabili ed avere buona resistenza all'usura. Devono inoltre poter smaltire facilmente il calore generato per attrito durante il funzionamento ed avere caratteristiche meccaniche sufficienti per resistere alle sollecitazioni a fatica congiunte a quelle termiche. A tal fine, i materiali per tamburi devono avere elevata conducibilità termica e grande capacità termica, basso coefficiente di dilatazione e modulo di elasticità, elevato carico di snervamento, sufficiente durezza, ed opportuna struttura metallurgica. Ovviamente devono anche e soprattutto costare poco.
- **Ceppi.** Sono, di solito, in acciaio ed hanno forme assai diverse a seconda che siano esterni od interni.
- **Guarnizioni.** Normalmente sui ceppi è posta una guarnizione di composizione variabile.

Le principali caratteristiche delle guarnizioni devono essere:

- Fornire una notevole forza d'attrito
 - Essere durature
 - Resistere a sollecitazioni meccaniche e termiche
 - Evitare l'insorgere di fenomeni vibratorii
 - Avere costo contenuto.
- **Sistemi di azionamento.** L'espansione dei ceppi può essere ottenuta mediante la rotazione di camme con sistemi pneumatici (veicoli commerciali), oppure immettendo olio in pressione in cilindri idraulici i cui pistoni sono appoggiati all'estremità dei ceppi. Il ritorno alla condizione di riposo è sempre ottenuto grazie a molle.