

## 10 ORGANI FONDAMENTALI DELLE MACCHINE UTENSILI

### 10.2 L'insieme di collegamento

#### 10.2.6 Organi meccanici per la variazione del moto

Servono a modificare il valore delle velocità di taglio e di alimentazione dell'utensile o del pezzo in lavorazione allo scopo di stabilire le migliori condizioni di taglio o di conseguire particolari moti di generazione.

Nelle *macchine a moto rettilineo alternativo* la velocità di taglio è scelta in base al materiale in lavorazione, al materiale dell'utensile e alla sezione del truciolo; nelle *macchine a moto rotatorio*, oltre ai suddetti parametri, interviene il diametro dell'elemento rotante e pertanto il problema della variazione della velocità acquista una maggiore complessità.

La velocità di taglio  $V_t$  è la velocità periferica dell'elemento rotante (pezzo o utensile) ed è espressa dall'equazione:

$$V_t = \frac{\pi D n}{1000}$$

essendo  $V_t$  la velocità di taglio espressa in metri al minuto (m/min),  $D$  il diametro dell'elemento rotante in millimetri (mm),  $n$  il numero di giri al minuto (giri/min) dell'elemento rotante.

Pertanto, fissata la velocità di taglio  $V_t$  (generalmente la velocità economica o quella di massima produttività, le due non coincidono) e noto il diametro  $D$  dell'elemento rotante, il numero  $n$  dei giri/min è univocamente determinato.

È quindi ulteriormente evidente la funzione degli organi variatori della velocità: *offrire la possibilità di variare il numero dei giri  $n$  in funzione del valore prestabilito della velocità di taglio  $V_t$  e del diametro  $D$  dell'elemento rotante.*

La rappresentazione della suddetta equazione nel sistema cartesiano  $D$ - $n$  è un'iperbole equilatera; infatti una volta scelta  $V_t$ ,  $K$  sotto determinato risulta costante:

$$nD = \frac{1000V_t}{\pi} = K$$

$$nD = K$$

Gli organi per la variazione del moto, detti comunemente *cambi*, si distinguono in *variatori continui* e *variatori discontinui*.

I *variatori continui* forniscono la graduale variazione del numero di giri dell'elemento rotante nell'intervallo compreso fra il valore massimo  $n_{\max}$  e il valore minimo  $n_{\min}$ .

In tal modo, a ogni valore di  $D$  corrisponde un solo valore di  $n$  e l'equazione  $Dn = costante$  è idealmente soddisfatta (Figura 1).

I *variatori discontinui* forniscono la variazione a *gradini* del numero di giri, per cui ad ogni valore di questo corrisponde un intervallo di diametri  $D_{max}-D_{min}$  la cui ampiezza è compresa nel campo tollerato della variazione della velocità di taglio. In definitiva, se a  $V_t$  si attribuisce il significato di *velocità economica ideale* e a  $V_{t(max)}$  e  $V_{t(min)}$  il significato rispettivamente di massima e minima velocità tollerabile agli effetti della lavorazione, l'equazione precedente si scinde in:

$$V_{t(max)} = \frac{\pi D_{max} n}{1000} \quad V_{t(min)} = \frac{\pi D_{min} n}{1000}$$

da cui:

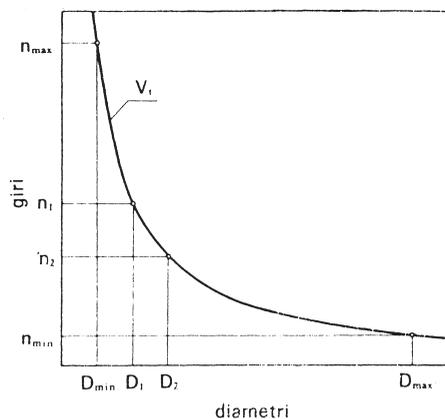
$$D_{max} n = K_1 \quad D_{min} n = K_2$$

La rappresentazione grafica delle suddette equazioni è pertanto costituita da due iperboli equilatera che definiscono attorno alla  $V_t$  ideale la fascia di tollerabilità. Ogni valore compreso fra  $D_{max}$  e  $D_{min}$  può essere lavorato con un unico valore di  $n$ .

La figura 2 rappresenta un caso particolare in cui: la velocità di taglio scelta  $V_t = 100$  è fatta variare da un valore minimo  $V_{t(min)} = 80$  a un valore massimo  $V_{t(max)} = 120$  m/min; il massimo numero di giri  $n_x$  è stato calcolato per consentire la lavorazione del diametro minimo  $D_{min} = D_0 = 20$  mm.

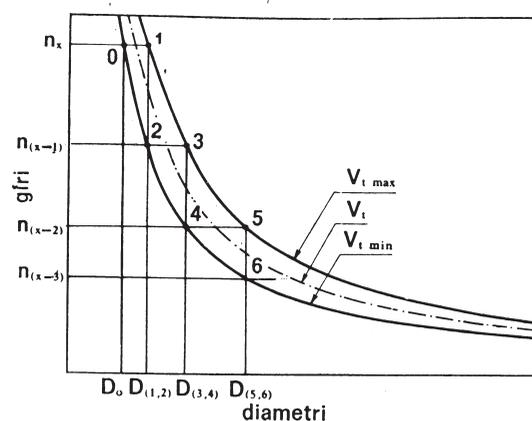
Risulta perciò:

$$n_x = \frac{K_2}{D_0} = \frac{1000 V_{t(min)}}{\pi D_0} = \frac{1000 \times 80}{3,14 \times 20} \approx 1273 \text{ giri / min}$$



**Figura 1**

Diagramma del variatore continuo rispondente all'equazione  $Dn = costante$ . A ogni valore di  $D$  fa riscontro un unico valore di  $n$ .



**Figura 2**

Diagramma del variatore discontinuo. Con la velocità  $n_x$  si può lavorare l'intervallo di diametri  $D_0 \div D_{(1,2)}$ , con  $n_{(x-1)}$  l'intervallo di diametri  $D_{(1,2)} \div D_{(3,4)}$  e così via.

– il massimo diametro  $D_{\max} = D_{(1,2)}$  che può essere lavorato con il numero dei giri  $n_x$  risulta:

$$D_{(1,2)} = \frac{K_1}{n_x} = \frac{1000V_{r(\min)}}{\pi n_x} = \frac{1000 \times 120}{3,14 \times 1273} = 30 \text{ mm}$$

Dalla stessa figura si può osservare che i punti 1 e 2 valgono le espressioni:

$$V_{r(\max)} = \frac{\pi D_{(1,2)} n_x}{1000} \quad V_{r(\min)} = \frac{\pi D_{\max} n_{(x-1)}}{1000}$$

Dividendo membro a membro, si ha:

$$\frac{n_x}{n_{(x-1)}} = \frac{V_{r(\max)}}{V_{r(\min)}} = \phi \quad \frac{n_x}{n_{(x-1)}} = \phi$$

da cui:

$$n_x = n_{(x-1)} \phi$$

cioè il numero dei giri successivo  $n_x$  si ottiene moltiplicando il valore del numero dei giri precedente  $n_{(x-1)}$  per una costante  $\phi$ , ossia i valori di  $n$  formano una progressione geometrica di ragione  $\phi$ . Infatti, ripetendo lo stesso ragionamento per i punti 3, 4, ..., si perviene al minimo numero di giri  $n_1$ , e se con  $x$  indichiamo il generico numero dei termini della serie si ottiene la seguente successione:

$$\begin{aligned} n_{\min} &= n_1 = n_1 \cdot 1 = n_1 \phi^0 \\ n_2 &= n_1 \phi = n_1 \phi^1 \\ n_3 &= n_2 \phi = n_1 \phi^2 \\ &\dots\dots\dots \\ n_{(x-1)} &= n_{(x-2)} \phi = n_1 \phi^{x-2} \\ n_{\max} &= n_x = n_{(x-1)} \phi = n_1 \phi^{x-1} \end{aligned}$$

Dall'ultima equazione della successione si ricava l'espressione:

$$\phi = \sqrt[x-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}$$

che permette la determinazione della ragione della progressione geometrica di  $x$  termini, noti i valori estremi  $n_{\max}$  ed  $n_{\min}$ .

La scelta di una successione di numeri di giri in progressione geometrica consente di passare da un qualsiasi numero di giri a disposizione al successivo, con uno scarto percentuale tra i due valori che risulta sempre lo stesso sia per i piccoli che per gli elevati numeri di giri:

$$\Delta n(\%) = 100 \frac{n_2 - n_1}{n_1} = 100 \frac{n_3 - n_2}{n_2} = \dots 100(\phi - 1)$$

Ovviamente si ha lo stesso scarto percentuale per le velocità di taglio che risultano, a parità di diametro, proporzionali ai numeri di giri.



La norma UNI 4551, per la scelta delle velocità delle macchine utensili, lascia ampia libertà ai costruttori nel costituire la gamma delle velocità della macchina, per mezzo di valori nominali normalizzati, raccomandando però una scalatura secondo i termini consecutivi delle serie dei numeri normali di Renard R 20 (cioè incrementi percentuali del 20%).

Numeri normali sono valori convenzionalmente arrotondati dei numeri di una progressione geometrica che comprende potenze intere di 10 con ragione:  $R5 = (10)^{1/5} = 1,58489$ ,  $R10 = (R10)^{1/10} = 1,25892$ ,  $R20 = (10)^{1/20} = 1,22201$ ,  $R40 = (10)^{1/40} = 1,05925$ .

## Esercizio

Calcolare i valori delle 12 velocità nominali del mandrino di un tornio, sapendo che sono disposte in progressione geometrica e che gli estremi della serie sono  $n_{\min} = 30$  ed  $n_{\max} = 1210$  giri/min.

Dalla relazione:

$$\phi = \sqrt[x-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = \sqrt[11]{\frac{1210}{30}} = \sqrt[11]{40,33} = 1,4$$

Pertanto:

$$\begin{aligned} n_1 &= 30 \\ n_2 &= 30 \times 1,4 = 42 \\ n_3 &= 42 \times 1,4 = 59 \\ &\dots\dots\dots \\ n_{12} &= 863 \times 1,4 = 1210 \end{aligned}$$

Le caratteristiche delle moderne macchine utensili a controllo numerico, e soprattutto le interfacce easy-to-use che consentono un approccio "amichevole" all'operatore, consentono di superare le problematiche connesse alla gestione del cambio velocità. Tuttavia l'approccio storico utilizzato per le macchine convenzionali ha una valenza didattica ancora notevole, anche se il campo effettivo di applicazione è dato più da casi particolari che dalla situazione generale produttiva. Per questo motivo vengono di seguito illustrati il diagramma polare e quello logaritmico.

### Diagramma polare

Sostituisce convenientemente il diagramma iperbolico per la facilità di costruzione e di lettura.

Se si considera l'equazione della velocità  $V_t$  in funzione del numero di giri e del diametro, esplicando-

la in funzione di  $D$ , si ottiene l'equazione della retta nel sistema cartesiano  $V_t$ - $D$ , uscente dall'origine e avente il coefficiente angolare  $K$  (Figura 3):

$$V_t = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi n}{1000} D = KD \quad \text{tg} \alpha = \frac{V_t}{D} = K = \frac{\pi n}{1000}$$

Se il cambio possiede  $x$  possibilità di variazioni, il diagramma sarà costituito da un fascio di  $x$  rette, uscenti dall'origine, i cui coefficienti angolari sono funzione di  $n$  ed i cui valori sono:

$$K_1 = \text{tg} \alpha_1 = \frac{\pi n_1}{1000} \quad K_2 = \text{tg} \alpha_2 = \frac{\pi n_2}{1000} \quad \dots \quad K_x = \text{tg} \alpha_x = \frac{\pi n_x}{1000}$$

Definito un intervallo della velocità di taglio ideale  $V_t$ , le equazioni relative ai punti 1 e 2 (fig. 10.19) risultano:

$$V_{t(\max)} = \left( \frac{\pi n_x}{1000} \right) D_{(1,2)} \quad V_{t(\min)} = \left( \frac{\pi n_{(x-1)}}{1000} \right) D_{(1,2)}$$

da cui, rapportando membro a membro, si ha:

$$\phi = x^{-1} \sqrt{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}$$

che riconferma la progressione geometrica dei valori di  $n$ .

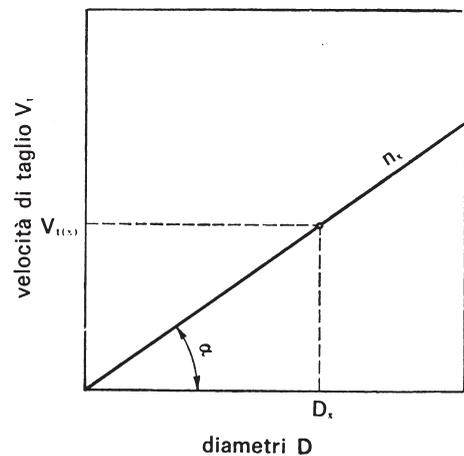


Figura 3

Rappresentazione del diagramma polare.

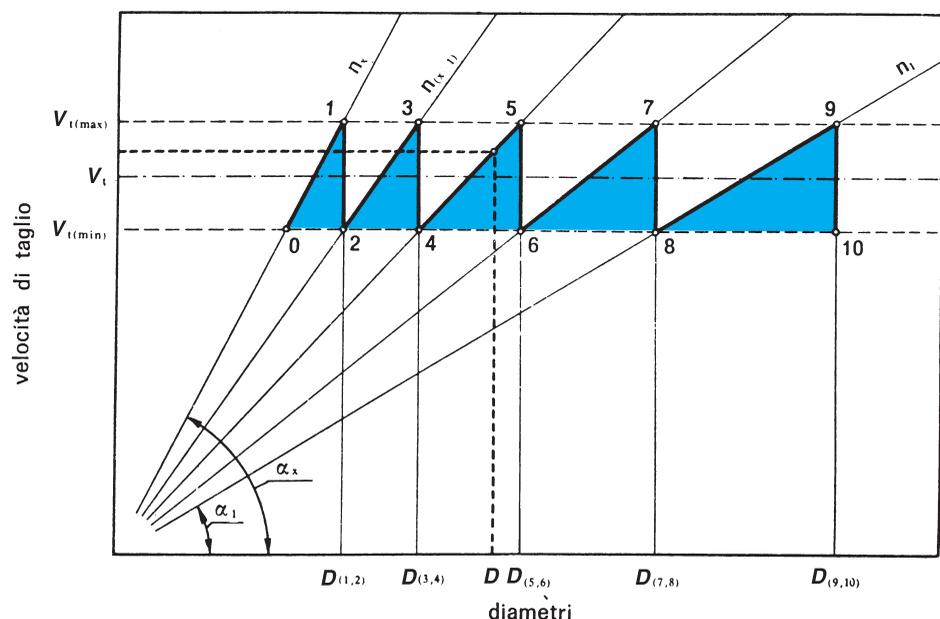


Figura 4

Diagramma polare delle velocità nominali di un cambio discontinuo con  $x$  possibilità di variazione da  $n_1$  a  $n_x$ . Il diagramma è formato da un fascio di  $x$  rette uscenti dall'origine.



Valgono inoltre le seguenti considerazioni:

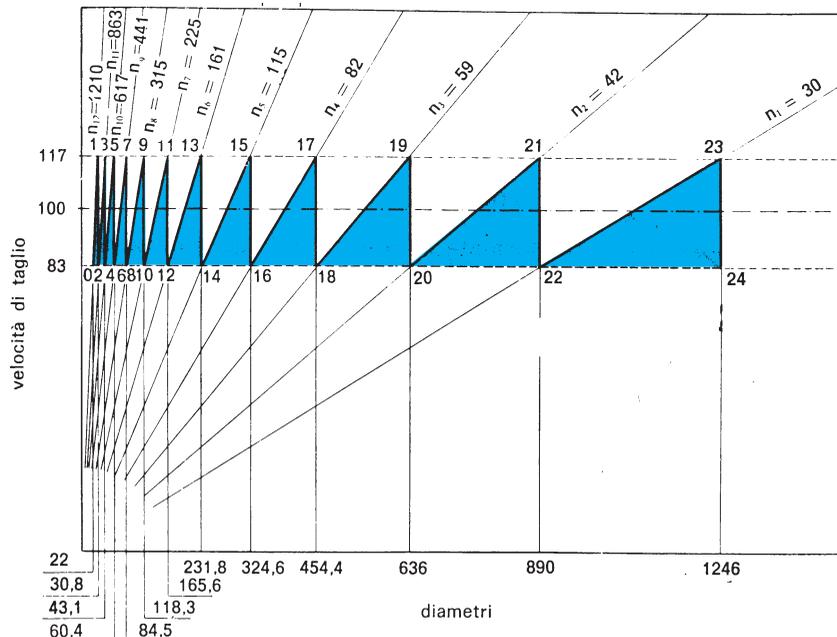
- se i valori di  $n$  sono in progressione geometrica, i punti 2, 4, 6, ... dovranno risultare allineati;
- il campo di variazione  $V_{t(max)} - V_{t(min)}$  non potrà essere definito a priori, ma dipenderà dalle caratteristiche del cambio;
- i cambi che consentono un elevato numero di velocità angolari  $n$  restringono l'ampiezza della zona di variabilità della velocità di taglio;
- con ciascuna velocità angolare  $n$  si può lavorare un intervallo di diametri i cui valori estremi seguono ancora i termini della progressione geometrica con la stessa ragione  $\phi$ ; infatti, ad esempio, le equazioni dei punti 3 e 2 sono:

$$V_{t(max)} = \left( \frac{\pi n_x}{1000} \right) D_{(3,4)} \quad V_{t(min)} = \left( \frac{\pi n_{(x-1)}}{1000} \right) D_{(1,2)}$$

da cui riportando membro a membro:

$$\frac{V_{t(max)}}{V_{t(min)}} = \frac{D_{(3,4)}}{D_{(1,2)}} = \phi$$

il diagramma s'interpreta riportando sull'asse delle ascisse il diametro  $D$  iniziale (ad esempio del pezzo in lavorazione nel caso della tornitura) e quindi innalzando la verticale fino a incontrare la retta  $n$  nel campo della variabilità di  $V_t$ . Nel caso della figura 5, al diametro  $D$  corrisponde la velocità  $n_{(x-2)}$ , che sarà adottata per tutto l'intervallo compreso fra  $D_{(3,4)}$  e  $D_{(5,6)}$  (tornitura cilindrica o tornitura piana). Oltre tali limiti s'impone la variazione della velocità angolare.



**Figura 5**  
Costruzione del diagramma polare (detto anche a ventaglio) secondo i dati riportati nell'esercizio di pag. 37.

**Diagramma logaritmico**

Per facilitare le letture nella zona prossima all'origine degli assi, il diagramma polare può essere convenientemente sostituito con il diagramma logaritmico. I valori dei diametri e delle velocità di taglio sono pertanto riportati su assi logaritmici. L'equazione fondamentale:

$$V_t = \frac{\pi D n}{1000}$$

trasformata in equazione logaritmica, diviene:

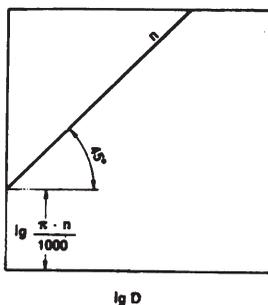
$$\lg(V_t) = \lg D + \lg \frac{\pi n}{1000}$$

dove il secondo termine è una costante per ciascun valore del numero di giri  $n$ . Con facile trasformazione matematica l'equazione precedente diventa simile all'equazione della retta  $y = mx + c$ . Nel caso in esame  $m$ , coefficiente angolare della retta, è il coefficiente di  $\lg D$ , cioè  $m = 1$ , per cui le rette, avendo coefficiente angolare uguale a 1, risultano inclinate a 45° (Figura 6). Come è noto  $\lg(\pi n/1000)$  rappresenta il segmento che la retta taglia sull'asse delle  $y$  quando  $x = 0$ . Se il cambio consente  $x$  possibilità di variazioni, il diagramma sarà costituito da un fascio di rette parallele, a ciascuna delle quali compete un diverso valore dell'ordinata all'origine. Infatti le ordinate all'origine delle rette  $n_x, n_{(x-1)}, \dots, n_1$  sono:

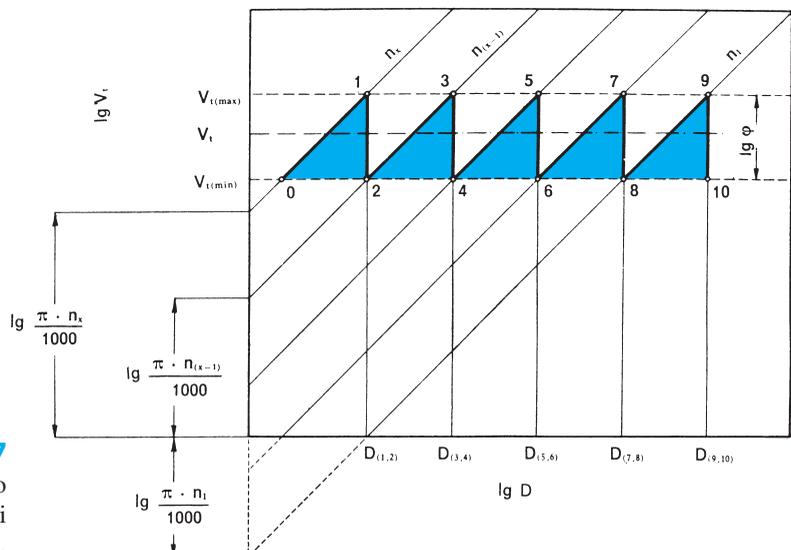
$$\lg\left(\frac{\pi n_x}{1000}\right) \quad \lg\left(\frac{\pi n_{(x-1)}}{1000}\right) \quad \lg\left(\frac{\pi n_1}{1000}\right)$$

Tracciate le rette corrispondenti ai valori  $V_{t(max)} - V_{t(min)}$  (Figura 7), le equazioni dei punti 1 e 2 risultano:

$$\lg(V_{t(max)}) = \lg \frac{\pi n_x}{1000} + \lg D_{(1,2)} \quad \lg(V_{t(min)}) = \lg \frac{\pi n_{(x-1)}}{1000} + \lg D_{(1,2)}$$



**Figura 6**  
Rappresentazione del diagramma logaritmico.



**Figura 7**  
Diagramma logaritmico del cambio discontinuo avente  $x$  possibilità di variazione. Le  $x$  rette sono parallele a 45°.



Sottraendo membro a membro si ha:

$$\lg(V_{t(\max)}) - \lg(V_{t(\min)}) = \lg \frac{\pi n_x}{1000} - \lg \frac{\pi n_{(x-1)}}{1000} \quad \lg \left( \frac{V_{t(\max)}}{V_{t(\min)}} \right) = \lg \frac{\frac{\pi n_x}{1000}}{\frac{\pi n_{(x-1)}}{1000}} \quad \frac{V_{t(\max)}}{V_{t(\min)}} = \frac{n_x}{n_{(x-1)}} = \phi$$

confermando la progressione geometrica dei valori di  $n$ .

La distanza verticale è :

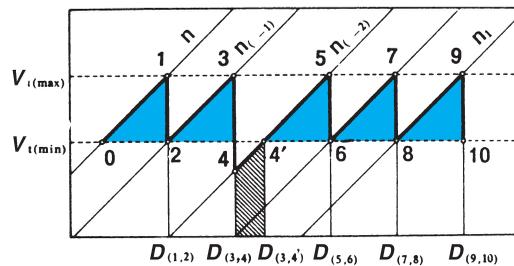
$$\lg V_{t(\max)} - \lg V_{t(\min)} = \lg \phi$$

che dovrà, evidentemente, risultare costante determinando il cosiddetto diagramma a *denti di sega*. La continuità della lavorazione dei diametri è evidente: infatti con la  $n_x$ , si lavorano i diametri da  $D_0$  fino a  $D_{(1,2)}$ , con la  $n_{(x-1)}$  i diametri da  $D_{(1,2)}$  fino a  $D_{(3,4)}$ , con la  $n_{(x-2)}$  i diametri da  $D_{(3,4)}$  fino a  $D_{(5,6)}$ , e così via.

A conferma di quanto esposto si supponga che:

$$\frac{n_{(x-1)}}{n_{(x-2)}} \neq \phi$$

cioè che due generici valori delle velocità angolari non siano in progressione geometrica (Figura 8). Graficamente si rileva una differente distanza verticale tra la  $n_{(x-1)}$  e la  $n_{(x-2)}$  rispetto alle altre distanze. La conseguenza è immediata: i diametri compresi nell'intervallo  $D_{(3,4)}$ - $D_{(3,4)}$  vengono lavorati con una velocità inferiore alla  $V_{t(\min)}$  e pertanto non economica.



**Figura 8**

Effetto di un valore di un numero di giri  $n_{(x-2)}$  non in progressione geometrica.

## Variatori meccanici discontinui del moto di taglio: cambi a ingranaggi

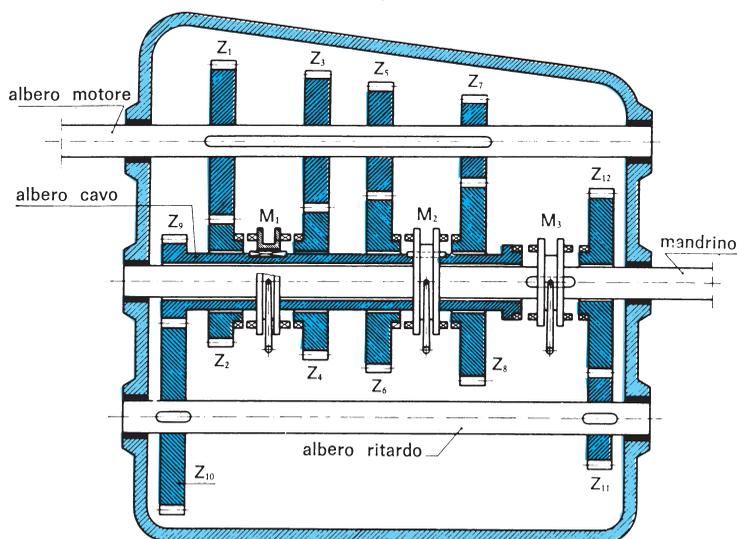
I cambi di velocità a ingranaggi hanno sostituito i cambi con puleggia, ormai obsoleti, in quanto presentano i seguenti vantaggi:

- possibilità di ottenere una più vasta gamma di velocità con lo spostamento di leve anziché di cinghie;
- possibilità di realizzare un rendimento meccanico elevato;
- maggiore sicurezza nella trasmissione di sforzi elevati;
- maggiore regolarità del moto.

Prenderemo in esame i tipi più impiegati nelle moderne macchine utensili.

### Cambi a innesti

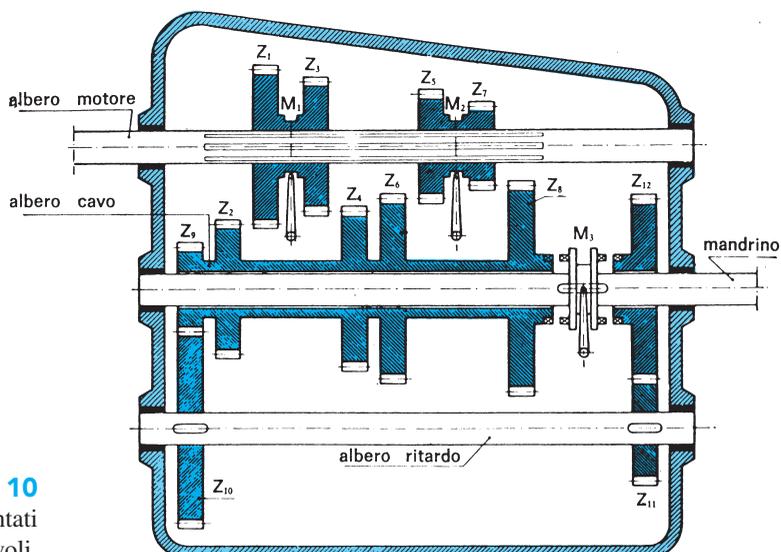
Sull'albero motore (Figura 9) sono calettate le ruote dentate  $Z_1, Z_3, Z_5, Z_7$ . Sull'albero pieno intermedio è coassiale un albero cavo, sul quale sono montate folle le ruote dentate  $Z_2, Z_4, Z_6, Z_8$  che, costantemente in presa con le ruote precedenti, possono essere rese solidali all'albero cavo mediante gli innesti scorrevoli  $M_1-M_2$  comandati dall'esterno per mezzo di leve o di volantini. Le ruote  $Z_{10}$  e  $Z_{11}$ , montate fisse sull'albero del ritardo, costituiscono, unitamente alle ruote  $Z_9$  (fissa all'albero cavo) e  $Z_{12}$  (folle sull'albero intermedio pieno), i rotismi del sistema riduttore. Innestando  $M_3$  a sinistra, si ha la trasmissione diretta; innestando a destra, la trasmissione si effettua attraverso il riduttore.



**Figura 9**  
Cambio a innesti.

### Cambio a treni dentati scorrevoli

Rispetto al cambio a innesti ha il pregio di avere in presa le sole ruote della coppia, corrispondente al prefissato rapporto di trasmissione (Figura 10). I treni dentati  $Z_1, Z_3, Z_5, Z_7$  scorrevoli sull'albero motore scanalato, vengono spostati per mezzo delle leve  $M_1$  ed  $M_2$  sino a farli imboccare con le ruote coniugate calettate

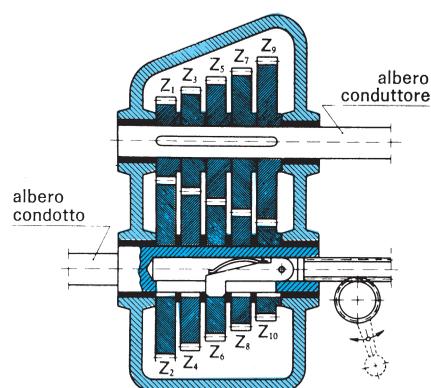


**Figura 10**  
Cambio a treni dentati  
scorrevoli.

tate sull'albero cavo intermedio. Il cambio è completato dai rotismi del sistema riduttore  $Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}$  con relativo innesto a denti manovrato con la leva  $M_3$ .

### Cambio a chiavetta scorrevole

Sull'albero conduttore (Figura 11) sono calettate le ruote  $Z_1, Z_3, \dots, Z_9$ . Sull'albero condotto sono montate folli le ruote  $Z_2, Z_4, \dots, Z_{10}$ . La chiavetta scorrevole può calettare sull'albero condotto una sola ruota alla volta, per la presenza degli anelli di sicurezza che obbligano la chiavetta stessa a rientrare nella cava lasciando libera la ruota prima di passare a quella adiacente. È resa così possibile la manovra del cambio anche durante la marcia. Il cambio è poco ingombrante, essendo eliminati gli spazi fra ruota e ruota, ma l'albero condotto risulta piuttosto debole per la presenza di una notevole scanalatura longitudinale che ne riduce la resistenza. Questi cambi sono perciò adatti per potenze limitate.



**Figura 11**

Cambio a chiavetta scorrevole lungo l'albero.

### Cambi misti

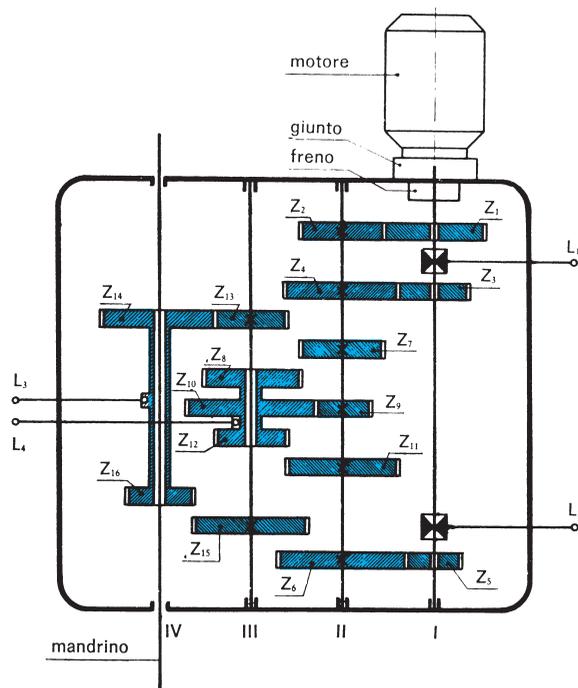
I cambi del tipo *misto* (o *multiplo*) sono formati dall'accoppiamento di cambi a innesti con quelli a treni dentati scorrevoli. Con questa disposizione, che offre un ingombro totale minimo, si realizza una notevole gamma di velocità con un numero ridotto di leve di manovra. Si sono decisamente affermati nelle macchine utensili moderne di media e grande potenza, e assumono disposizioni variabilissime secondo il tipo di macchina o secondo il criterio costruttivo del fabbricante.

A titolo di esempio, nella figura 12 è riportato un cambio per il comando del mandrino di un trapano. Si ottengono 18 velocità che potrebbero aumentare a 24 aggiungendo un'altra coppia di ingranaggi sugli alberi I-II.

### Variatori meccanici discontinui del moto di alimentazione

Nelle macchine utensili a moto di taglio rotatorio l'avanzamento a ogni giro del pezzo o dell'utensile deve potersi variare. La scatola d'avanzamento, e quindi gli avanzamenti sotto carico, può essere comandata:

- direttamente dal motore (mm/min);
- dal mandrino (giri/min).



**Figura 12**

Schema di un cambio misto a 18 velocità per il comando del mandrino installato nella testa di un trapano a montante.

Il *valore nominale* dell'avanzamento è quello scritto sulla targhetta della macchina e utilizzato per il calcolo del tempo di lavoro. Il *valore effettivo* è quello soggetto a rimanere nei limiti di tolleranza totale (elettrica + meccanica) prescritti nella UNI 4551.

È lasciata ampia libertà ai costruttori nel costituire, per mezzo di valori normalizzati, la gamma degli avanzamenti della macchina. Si raccomanda tuttavia che il frazionamento di queste gamme sia di preferenza scalato seguendo i termini consecutivi della serie R20, oppure di una delle serie derivate ottenute scegliendo un termine su due, su tre, su quattro o su sei a partire da 1 mm/min ovvero da 1 mm al giro o alla corsa.

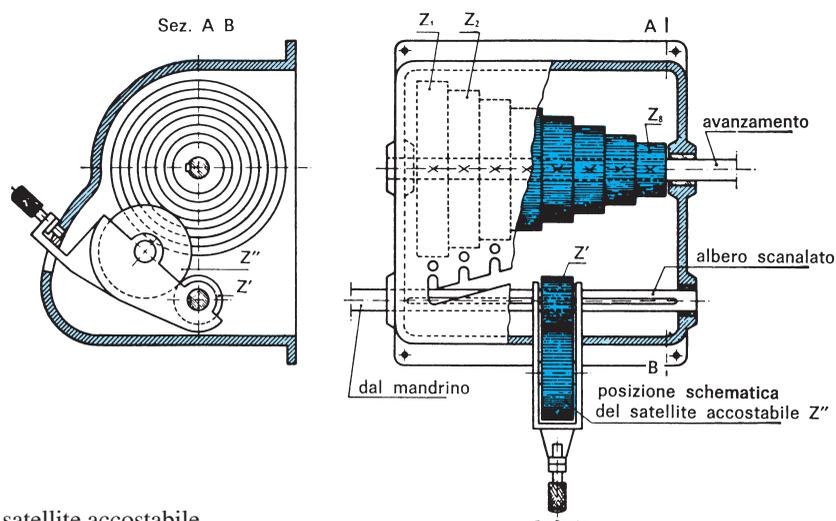
### Cambio Norton a satellite accostabile

Ha il pregio di avere: un rendimento meccanico elevato (essendo in presa la sola coppia attiva), ingombro limitato, manovrabilità semplice e sicura (Figura 13).

La ruota dentata  $Z'$ , che può scorrere liberamente sull'albero conduttore scanalato, trasmette il moto alle ruote  $Z_1, Z_2, \dots, Z_8$  calettate sull'albero dell'avanzamento, per mezzo del satellite  $Z''$  folle sul suo albero. Ogni posizione di comando è fissata dall'esterno mediante una spina inserita in appositi fori praticati nella "carcassa" del cambio. Molto impiegato nel passato, questo cambio è ora in disuso nei torni moderni in quanto l'apertura impedisce la tenuta stagna della "carcassa" e quindi non consente un'efficace lubrificazione.

### Cambi misti (o multipli)

Risultano dall'accoppiamento di cambi del medesimo tipo (due cambi a treni dentati scorrevoli, due Norton ecc.) o dall'accoppiamento di cambi di tipo diverso (un cambio a treni dentati scorrevoli ed uno ad innesti, ecc.). Si riporta uno dei cambi misti più adoperati nelle macchine utensili.



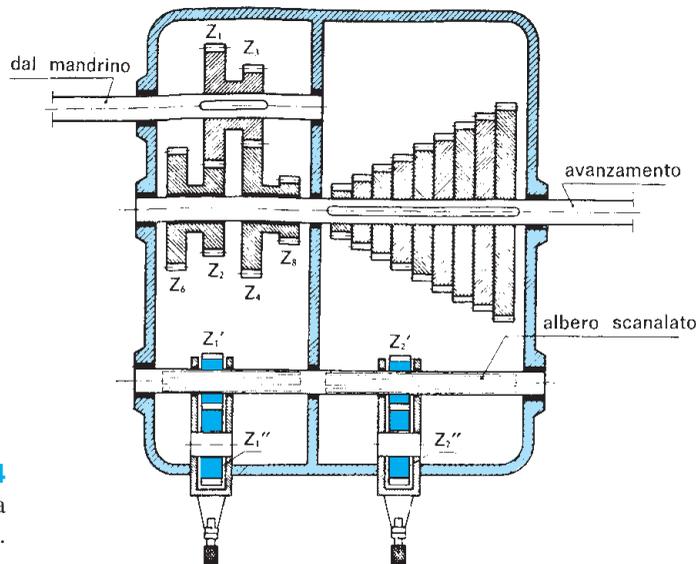
**Figura 13**

Cambio Norton a satellite accostabile.

### Cambio a due satelliti

Sull'albero conduttore sono calettate le ruote  $Z_1$  e  $Z_3$ , le quali comandano i due gruppi  $Z_2-Z_6$  e  $Z_4-Z_8$  folli sull'albero dell'avanzamento (Figura 14). Il satellite  $Z''_1$ , portato a imboccare successivamente con le ruote  $Z_2, Z_6, Z_4, Z_8$ , trasmette all'albero scanalato 4 diverse velocità.

Queste 4 velocità, per mezzo del satellite  $Z''_2$ , possono essere combinate con le 9 velocità della "piramide" Norton, realizzando così 36 velocità ottenibili con lo spostamento di due sole leve.



**Figura 14**

Cambio a due satelliti a 36 velocità.

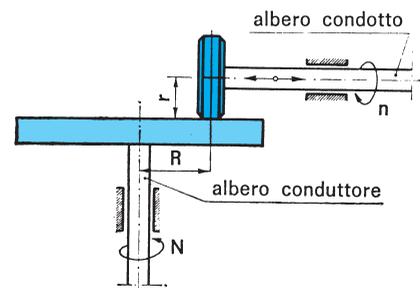
### Variatori i continui

Consentono di dare all'organo rotante la velocità periferica ideale. Sono costituiti da un motore elettrico a corrente alternata, normalmente un asincrono in corto circuito, e da un sistema meccanico con cui si ottiene la variazione di velocità. Molti sono i tipi oggi costruiti, ciascuno dei quali ha un proprio campo di applicazione, vantaggi e svantaggi. I principi su cui si basano i variatori continui sono due: con organi *rigidi* e con organi *flessibili*.

#### Variatori meccanici continui con organi rigidi

La trasmissione del movimento fra l'organo conduttore e l'organo condotto avviene per attrito mediante un'adeguata pressione specifica di contatto per evitare lo slittamento.

Il dispositivo è idealmente realizzato come indica la figura 15.



**Figura 15**

Rappresentazione simbolica del variatore continuo ad attrito.

All'albero conduttore, che ruota con un numero di giri costante, è collegato un disco sul quale aderisce una ruota di frizione solidale all'albero condotto. A ogni posizione radiale della ruota corrisponde un diverso numero di giri dell'albero condotto. Con le notazioni della figura si ha, in una generica posizione, l'uguaglianza fra le velocità periferiche:

$$2\pi RN = 2\pi rn$$

da cui:

$$n = \frac{NR}{r} = KR$$

avendo indicato con  $K$  il valore costante del rapporto  $N/r$ .

La variazione del rapporto di trasmissione durante il funzionamento è pertanto continua, lineare e il campo di regolazione risulta compreso tra:

$$n_{\min} = 0 \text{ per } R = 0;$$

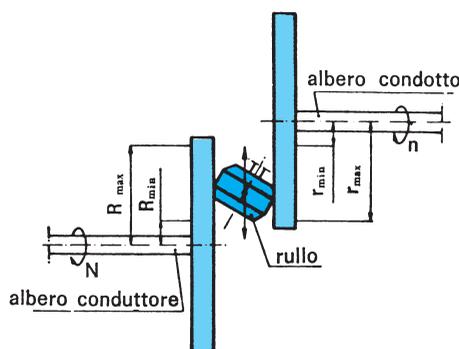
$$n_{\max} = KR_{\max} \text{ per } R=R_{\max}$$

Il dispositivo consente inoltre l'inversione del senso di rotazione dell'albero condotto. La trasmissione della coppia è unicamente affidata al coefficiente d'attrito tra ruota e disco e alla forza con cui la ruota è premuta sul disco medesimo, il che ne limita il funzionamento specie alle coppie e potenze maggiori. La trasmissione del moto è dovuta alla forza di attrito, la quale dovrà risultare maggiore della forza tangenziale provocata dal momento resistente.

Sullo stesso principio sono stati costruiti diversi cambi, di cui alcuni casi sono di seguito illustrati, allo scopo di rendere possibile la trasmissione di elevate potenze.

### Variatore continuo con rullo a doppia conicità

Il principio di funzionamento è illustrato nella figura 16. Il disco inferiore, conduttore, ruota con un numero di giri costante. Il disco biconico intermedio, che trasmette il moto al disco superiore condotto per frizione, senza slittamenti, si può spostare in direzione radiale ai due dischi determinando una variazione continua del rapporto di trasmissione.



**Figura 16**

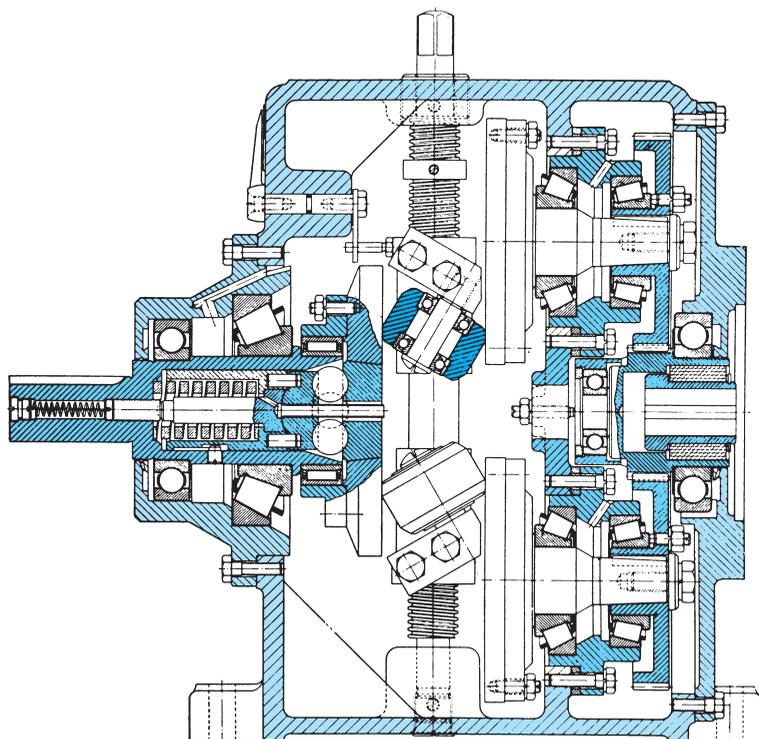
Schema di funzionamento del variatore continuo a frizione con rullo a doppia conicità.

Nelle posizioni estreme del rullo biconico corrispondono i limiti dei valori delle velocità periferiche dell'albero condotto:

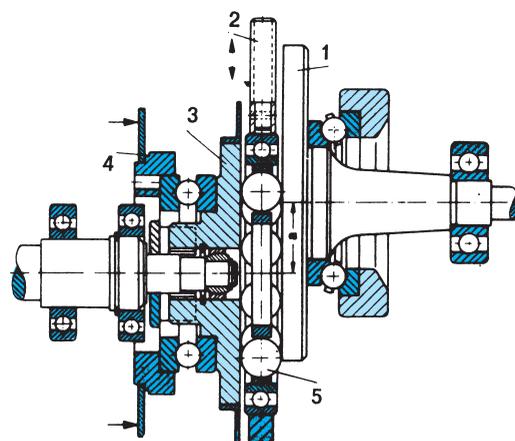
$$n_{\max} = N \frac{R_{\max}}{r_{\min}} \quad n_{\min} = N \frac{R_{\min}}{r_{\max}}$$

Il dispositivo reale è rappresentato nella figura 17. L'albero conduttore termina con un disco sul quale aderiscono due rulli biconici simmetrici che trasmettono il movimento ai due piatti che sono collegati tramite ruote dentate all'albero condotto. La regolazione della posizione dei rulli si esegue dall'esterno mediante una vite, la gamma di variazione è 250-1750 giri al minuto con rendimento del 90% e la potenza trasmessa può raggiungere il valore di 30 kW.

I rulli biconici possono essere sostituiti con una corona di sfere per migliorare le condizioni di funzionamento e in particolare per diminuire l'usura, aumentare il rendimento, autoregolare la coppia, eliminare le vibrazioni. Il dispositivo reale è rappresentato nella figura 18: l'albero motore termina con il disco (1) leggermente inclinato rispetto all'asse dell'albero condotto (3) e tra questi è situata la corona di sfere (5) ruotanti nella gabbia. La pressione di aderenza è controllata dalla molla a tazza (4). Lo spostamento della corona si effettua con la vite (2).



**Figura 17**  
Variatore continuo a doppio rullo biconico.



**Figura 18**  
Variatore continuo a sfere tipo PIV-KS.

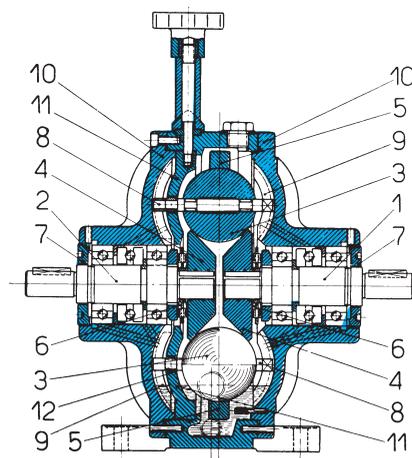
### Variatore continuo Kopp

La sezione del variatore Kopp è illustrata nella figura 19. L'albero conduttore (1) e l'albero condotto (2) coassiali, sono collegati da sfere (3) che rotolano su due dischi conici di trascinamento (4) e dentro l'anello contenitore (5). L'aderenza necessaria alla trasmissione della potenza è assicurata dal dispositivo (6) costituito da molle a tazza: questa aderenza è regolata in fase di collaudo col variatore sotto freno mediante gli anelli di registro (7). Le sfere ruotano attorno all'asse (8), le cui estremità possono scorrere entro scanalature radiali (9) fresate negli scudi (10). Tale scorrimento, simultaneo per tutte le sfere, è ottenuto ruotando con una leva o con un volantino un disco (11) traforato con cave a spirale (12), ciascuna attraversata da un'estremità dell'asse (8) delle sfere (3). Il principio di funzionamento è illustrato dalla figura 20:

- in (a) gli assi delle sfere vengono disposti parallelamente all'asse principale del variatore: il rapporto di trasmissione è 1 : 1;
- in (b) gli assi delle sfere sono convergenti verso l'albero conduttore: il rapporto massimo di trasmissione è 1 : 3;
- in (c) si ha l'orientamento opposto e il rapporto massimo è 3 : 1.

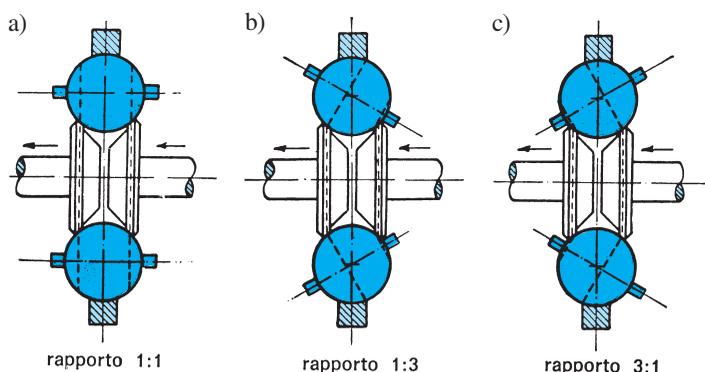
Il campo di variabilità risulta complessivamente 1 : 9.

I variatori Kopp sono costruiti per trasmettere potenze da 0,2 a 10 kW con velocità angolare di entrata di 1500 giri/min. Il variatore Kopp nel suo aspetto reale è mostrato nella figura 21.



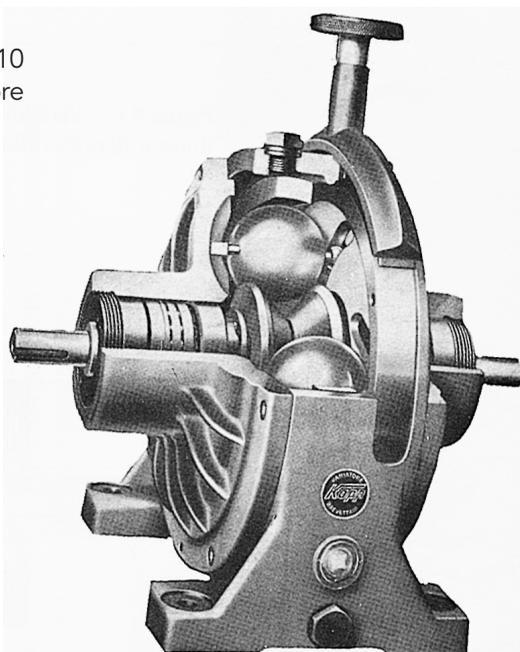
**Figura 19**

Sezione del variatore continuo Kopp.



**Figura 20**

Principio di funzionamento del variatore continuo Kopp: a) l'asse delle sfere è parallelo all'asse principale del variatore; b) l'asse delle sfere è convergente verso l'albero conduttore; c) l'asse delle sfere è convergente verso l'albero condotto. Il campo di variazione è complessivamente 1 : 9; potenza trasmessa 0,2÷10 kW; numero giri entrata = 1500; minimo numero giri = 500; massimo numero giri = 4500.



**Figura 21**

Variatore continuo Kopp.

### Variatore continuo Arter

Due pulegge a profilo parabolico concavo, rispettivamente montate sull'albero conduttore e sull'albero condotto, sono collegate da due uguali pulegge satelliti a profilo parabolico convesso (Figura 22).

La variazione del numero di giri si ottiene inclinando l'asse del supporto dei satelliti in modo da variare il rapporto dei diametri nei punti di contatto. Si ottengono rapporti fino a 1 : 7 con spostamenti limitati.

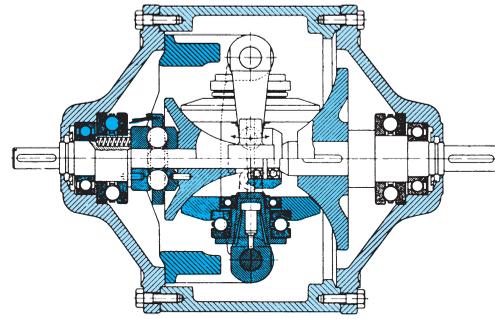


Figura 22 Variatore continuo Arter.

### Variatori continui con organi flessibili

La trasmissione del movimento fra l'organo conduttore e l'organo condotto avviene per mezzo di una cinghia. Il dispositivo è idealmente realizzato come indica la figura 23. Due pulegge troncoconiche sono collegate da una cinghia, che può spostarsi assialmente in modo che a ogni posizione corrisponda un diverso rapporto di trasmissione. Per l'uguaglianza delle velocità periferiche si ha in una generica posizione:

$$n = N \frac{D}{d}$$

I limiti del campo di variazione sono:

$$N_{\max} = N \frac{D_{\max}}{d_{\min}} \quad N_{\min} = N \frac{D_{\min}}{d_{\max}}$$

Il dispositivo non può avere applicazioni nelle macchine utensili per la limitata larghezza della cinghia e di conseguenza per la limitata potenza trasmessa. Pertanto gli attuali cambi basati su questo principio tendono a migliorare l'aderenza della cinghia piatta e quindi la potenza trasmessa per attrito.

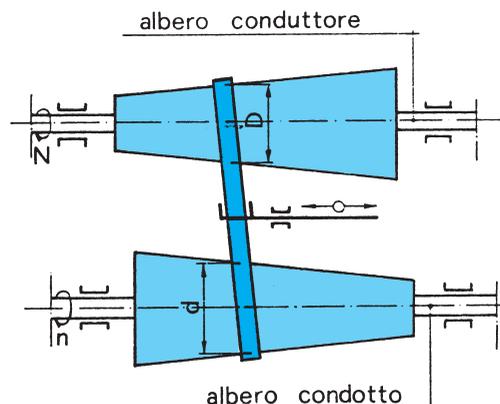


Figura 23  
Rappresentazione  
simbolica dei variatori  
continui con organi  
flessibili.

Si ricorda che l'unificazione relativa alla trasmissione a cinghia riguarda due categorie in funzione del mezzo cinematico della trasmissione:

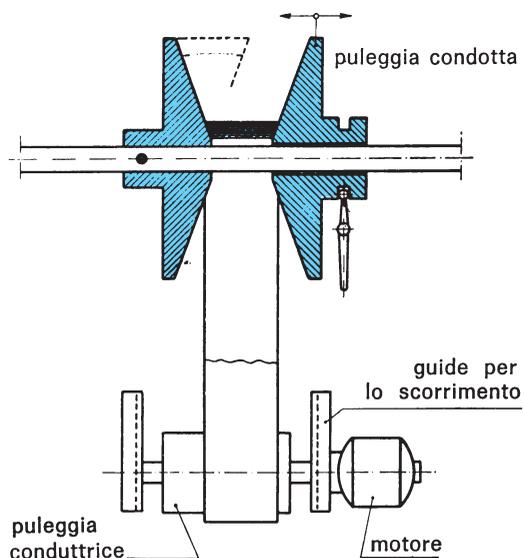
- *trasmissioni del tipo tradizionale* mediante cinghie piatte, trapezoidali o con profilo particolare (esagonali, scanalate) basate sull'aderenza fra la cinghia e la corona della puleggia con inevitabile scorrimento;
- *trasmissione a cinghia sincrona* (con dentatura in un solo lato o a doppia dentatura) dove la trasmissione del moto avviene per ingranamento dei denti della cinghia con quelli della puleggia senza scorrimento. La denominazione cinghia sincrona deriva dal fatto che consente un moto sincrono e corrisponde alla terminologia internazionale, ma molto spesso sono note con il nome di *cinghie dentate*.

I variatori continui di velocità a cinghia di entrambe le categorie si sono andati sempre più diffondendo in questi ultimi anni per il pregio di semplicità ed economia rispetto agli altri tipi di variatori. Citiamo alcuni fra i cambi più comuni.

#### Variatore continuo con puleggia condotta a diametro variabile

La cinghia a sezione trapezia è contenuta in una puleggia, condotta a piatti mobili (uno o ambedue), in modo che a ogni posizione corrisponde un diverso diametro primitivo (Figura 24). La puleggia conduttrice a diametro costante può essere a gola o liscia: in quest'ultimo caso si ha la correzione automatica dell'allineamento della cinghia. L'azione di una molla regola l'interasse tra i due alberi non potendo la cinghia variare la sua lunghezza.

Questi variatori si costruiscono per rapporti di trasmissione da 2 : 1 a 4 : 1 e per potenze fino a un massimo di 10 kW con velocità d'entrata di 1400 giri/min.



**Figura 24**

Variatore continuo a cinghia a interasse variabile con puleggia motrice cilindrica e puleggia condotta a diametro variabile.

**Variatore continuo con doppia puleggia a diametro variabile**

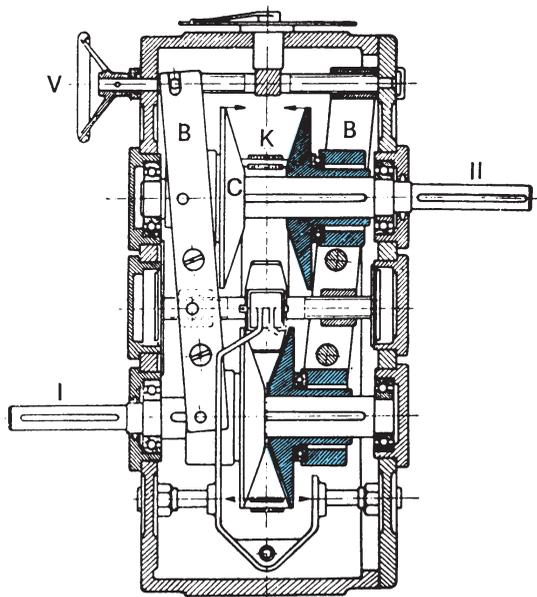
Per migliorare le prestazioni del sistema precedente si sfrutta la variazione del raggio utile di contatto tra cinghia (o catena) e pulegge coniche, per realizzare la voluta variazione del rapporto di trasmissione. Con il dispositivo rappresentato nella figura 25 si ottengono rapporti da 1 : 1 a 1 : 8 per trasmettere potenze non superiori a 10 kW.

Sugli alberi I e II sono montate le coppie di coni C uguali, sui quali s'insedia la cinghia K. La rotazione della vite, con filettature a elica destra e sinistra, mediante il volantino V costringe il componente B a ruotare attorno al punto centrale, facendo avvicinare una coppia e allontanare l'altra e viceversa.

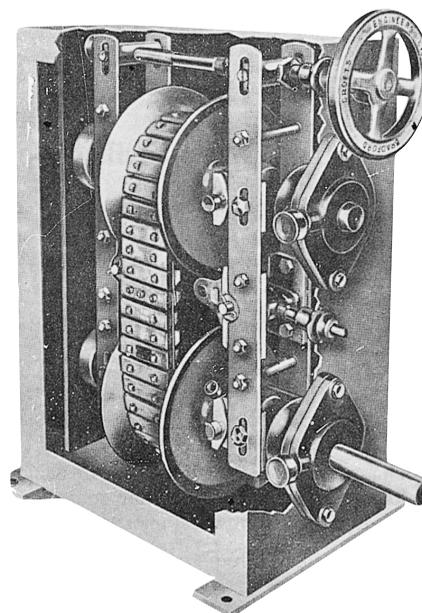
La stessa soluzione si ha con cinghie speciali rinforzate.

Il variatore riportato nella figura 26 è capace di trasmettere potenze dell'ordine di 60 kW con campi di regolazione fino a 20 : 1. A questa categoria appartiene anche il noto variatore P.I.V., caratterizzato dal fatto che la trasmissione della potenza non è affidata all'aderenza, bensì a un vincolo positivo simile a quello sussistente tra una catena e la corrispondente ruota. Ciascuna maglia della catena contiene un pacchetto di lamelle scorrevoli trasversalmente, che possono adattarsi a scanalature radiali praticate nei piatti. La profondità delle scanalature è costante, ma la larghezza della costola che le separa aumenta verso la periferia. Al momento dell'imbocco il "dente" di un piatto spinge un certo numero di lamelle entro la scanalatura prospiciente dell'altro piatto.

La catena forma quindi continuamente nuovi denti che assicurano il contatto tra le parti della trasmissione. Sotto carico le lamelle, serrate a pacchetto, non scrono l'una sull'altra e quindi praticamente non si logorano.

**Figura 25**

Funzionamento del variatore continuo a interasse costante con doppia puleggia a diametro variabile.

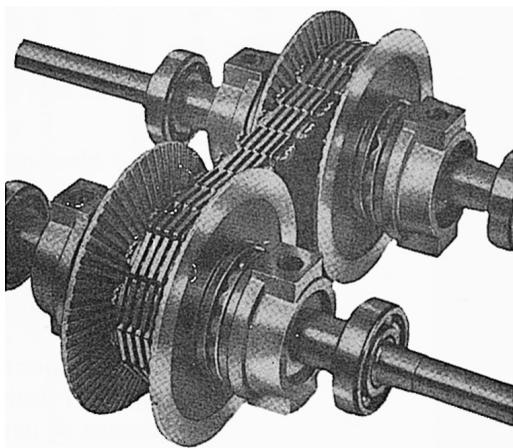
**Figura 26**

Variatore continuo con trasmissione a catena e non per attrito.

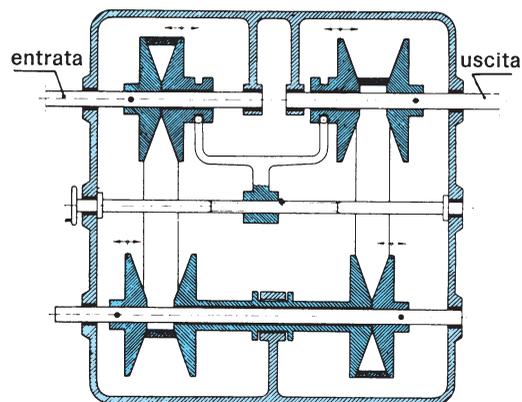
Il variatore P.I.V. (Figura 27) può trasmettere potenze fino a 18 kW con rapporti di 6 : 1. La velocità di entrata è preferibilmente di 500÷900 giri/min. Il rendimento è molto elevato (90÷95%) e pressoché costante per tutta la gamma delle velocità e dei carichi.

### Variatori continui con contralbero

Diversi sono i principi di costruzione dei variatori appartenenti a questo gruppo. Nella figura 28 è rappresentato un tipo per potenze fino a 9 kW e rapporti 10 : 1. L'entrata e l'uscita sono coassiali. In tutte e quattro le pulegge un piatto è fisso e l'altro è scorrevole assialmente. Sul contralbero i piatti esterni, scorrevoli, sono collegati rigidamente fra loro: lo stesso dicasi per i piatti interni delle pulegge montate sugli alberi di entrata e uscita. Detti piatti sono spostabili mediante vite azionate da un volantino. Quelli scorrevoli sul contralbero si appostano automaticamente sotto la spinta delle cinghie.



**Figura 27**  
Variatore continuo P.I.V.



**Figura 28**  
Variatore continuo con contralbero.

### Sistemi idromeccanici delle macchine utensili

I sistemi idromeccanici sono dispositivi che impiegano un liquido (generalmente olio) per trasmettere, variare, trasformare e automatizzare i movimenti degli organi operatori di una macchina utensile.

Questi dispositivi consentono:

- realizzazioni semplici anche se le funzioni loro affidate sono di notevole complessità;
- funzionamento privo di vibrazioni;
- ingombri limitati;
- assenza di usura;
- facilità di comando;
- regolazione continua della velocità periferica o della velocità di traslazione dell'organo comandato tra il valore massimo e quello minimo consentiti;
- possibilità dell'autoregolazione, dell'automatismo e del telecomando.

Si distinguono in *comandi idrostatici* e *comandi idrodinamici*.

I *comandi idrostatici* effettuano la trasmissione della potenza dalla pompa all'organo operatore per mezzo della pressione che si stabilisce nel liquido in quiete.

I *comandi idrodinamici* funzionano mediante variazione di energia cinetica fatta subire al liquido in movimento.

### Comandi elettrici delle macchine utensili

I comandi in oggetto realizzano le più moderne concezioni per le multiformi applicazioni e per le insostituibilità con altri sistemi. Si citano alcuni tra i più importanti comandi applicati alle macchine utensili:

- variazione continua di velocità dei moti di taglio e di alimentazione (*variatori elettrici*);
- automazione parziale o totale di un ciclo operativo con illimitate possibilità, dal semplice posizionamento in coordinate piane, alla programmazione lineare o spaziale di qualsiasi legge del moto (*comandi numerici ecc.*);
- misurazione continua durante la lavorazione e autocontrollo dei dispositivi di comando per la regolazione degli spostamenti (*visualizzatori di quote ecc.*).

La vastità dell'argomento e le cognizioni particolari di discipline che esulano dall'indirizzo programmatico del testo permettono di dare solamente una elementare informazione degli argomenti citati.

### Variatori elettrici continui

Con questo nome si indicano tutte le apparecchiature in cui la variazione di velocità è ottenuta sfruttando le caratteristiche degli equipaggiamenti.

I variatori elettrici possono funzionare con motori a corrente alternata o con motori a corrente continua.

#### *Variatori elettrici con motori a corrente alternata*

La regolazione di velocità dei motori asincroni è ottenuta variando la tensione applicata ai morsetti del motore o cambiando la frequenza di alimentazione.

Nel primo caso si modifica la tensione di alimentazione per mezzo di reattori saturabili, causando di conseguenza una variazione corrispondente della coppia sviluppata dal motore, ossia a parità di coppia resistente una variazione di velocità entro intervalli abbastanza ampi.

Nel secondo caso le frequenze variabili di alimentazione sono ottenute con un gruppo convertitore o con un'apparecchiatura statica a diodi controllati al silicio (tiristori).

Questi tipi di variatori sono scarsamente impiegati nelle macchine utensili.

#### *Variatori elettrici con motore a corrente continua*

Costituiscono la soluzione più adatta per le macchine utensili in quanto il motore a corrente continua è la macchina più flessibile che la tecnica abbia concepito e sviluppato nel settore elettromeccanico.

### Motori a corrente continua

La velocità di rotazione può essere modificata variando la tensione di alimentazione  $V$ , oppure il flusso induttore  $F$ , agendo rispettivamente sul reostato  $R_v$  o sul reostato  $R_\phi$  posto in serie con la bobina

eccitatrice dell'avvolgimento statorico (Figura 29) o, infine, variando convenientemente sia la tensione sia il flusso di eccitazione.

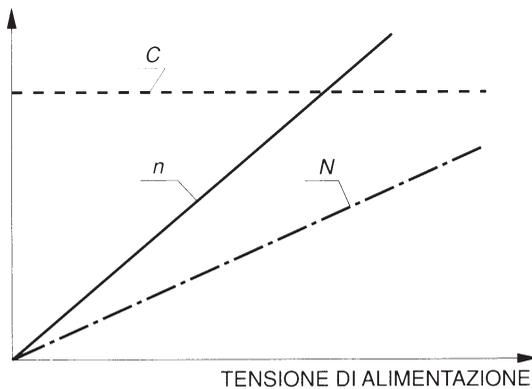
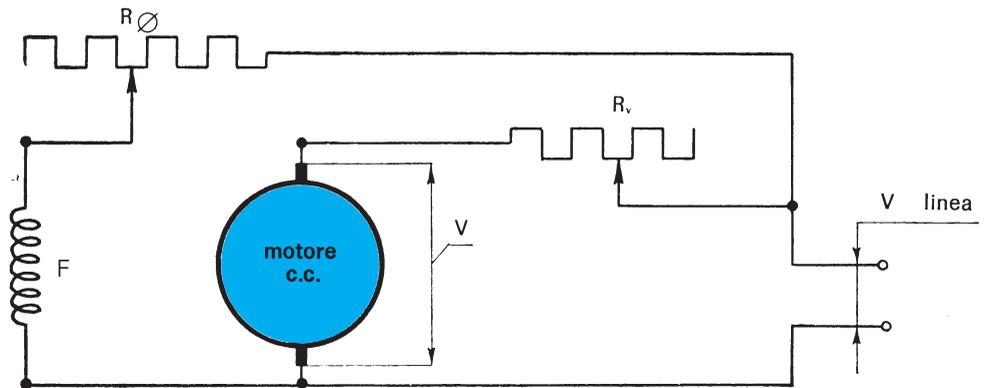
La regolazione della sola tensione di alimentazione mediante il reostato  $R_V$  provoca la variazione proporzionale del numero di giri  $n$  e della potenza  $N$ , mentre la coppia motrice  $C$  rimane costante (Figura 30).

La regolazione della sola tensione di eccitazione (e quindi del flusso) mediante il reostato  $R_\Phi$  provoca la variazione proporzionale della coppia motrice, mentre il numero di giri decresce iperbolicamente e la potenza si mantiene costante (Figura 31).

Nelle macchine utensili nella maggior parte dei casi si lavora a potenza costante, in pratica assorbendo dal motore lo stesso lavoro per unità di tempo (in tal modo il motore è messo nelle migliori condizioni di resa). Con questo sistema di regolazione non è conveniente scendere sotto 800÷1000 giri/min

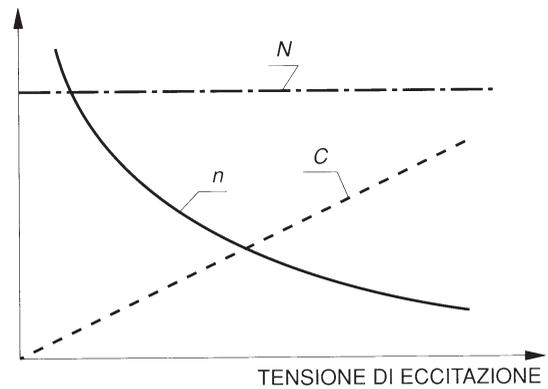
**Figura 29**

Schema del circuito di un motore elettrico a corrente continua con doppia regolazione della tensione di alimentazione con reostato  $R_V$  o dell'eccitazione di campo con reostato  $R_\Phi$ .



**Figura 30**

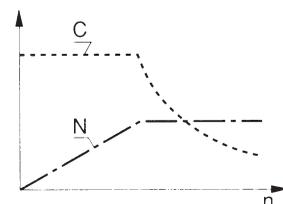
Regolazione con variazione della tensione di alimentazione ( $C$  coppia motrice in  $N \cdot m$ ;  $n$  numero di giri/min;  $N$  potenza in watt).



**Figura 31**

Regolazione con variazione della tensione di eccitazione.

poiché, come si nota nella figura 32, riducendo il numero di giri  $n$  si ha un aumento della coppia motrice  $C$  e di conseguenza del flusso di eccitazione  $F$ , il quale può essere variato solamente nel rapporto da 1/3 a 1/5. In questo caso si procede con regolazione mista: a coppia costante fino a 800-1000 giri/min e quindi a potenza costante per valori superiori.



**Figura 32**  
Regolazione mista: a coppia  $C$  costante fino a  $n = 800 \div 1000$  giri/min e quindi a potenza  $N$  costante per i valori superiori.

### Gruppi Ward-Leonard (ad alimentazione rotante)

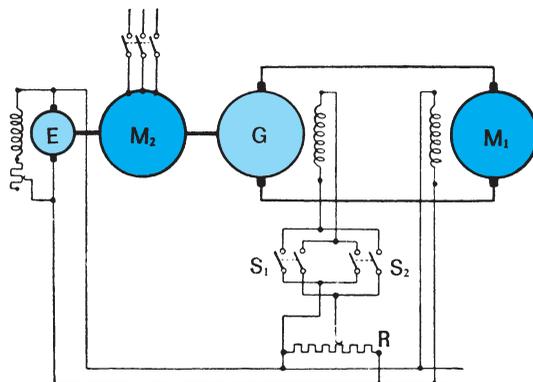
Per utilizzare i vantaggi offerti dai motori a c.c. e dai motori a c.a., si impiegano i gruppi in oggetto adatti per macchine utensili che richiedono elevate potenze (15-25 kW).

Nel sistema Ward-Leonard (Figura 33) un motore asincrono di trascinamento ( $M_2$ ) a corrente alternata trifase riceve la corrente dalla normale rete di distribuzione e, invece di trasmettere il moto direttamente alla macchina operatrice, aziona una dinamo ( $G$ ) a eccitazione indipendente, la quale a sua volta alimenta un motore ( $M_1$ ) a corrente continua a eccitazione indipendente, destinato ad azionare l'albero principale della macchina operatrice. Coassiale con  $M_2$  e con  $G$  vi è una dinamo eccitatrice ( $E$ ) destinata a generare la tensione occorrente per l'eccitazione del motore  $M_1$  e della dinamo  $G$ . Applicando, per mezzo del reostato ( $R$ ), al circuito di eccitazione della dinamo  $G$  una tensione variabile da zero al valore massimo si ottiene corrispondentemente la variazione lineare di rotazione del motore  $M_1$  con caratteristica limite di lavoro a *coppia costante*.

Se, viceversa, si desidera effettuare il funzionamento a *potenza costante* si opererà la regolazione del circuito di eccitazione del motore  $M_1$ .

Se necessita l'inversione di marcia del motore  $M_1$ , basta agire sui teleruttori  $S_1$  ed  $S_2$ , i quali non fanno altro che cambiare il senso della corrente eccitatrice di  $G$ . Il variatore Ward-Leonard trova convenienti applicazioni in tutte le macchine utensili e in particolar modo nelle macchine a moto principale rettilineo alternativo.

Con "teleruttore" si intende il nome commerciale del componente che realizza il contatto; questo apparecchio è destinato ad aprire e chiudere un circuito elettrico sotto carico ed è caratterizzato da una sola posizione in cui può rimanere in assenza di azioni esterne, manovra che viene effettuata a distanza mediante un elettromagnete.



**Figura 33**  
Schema del variatore elettrico Ward-Leonard semplice.

Il variatore Ward-Leonard offre i seguenti vantaggi:

- regolazione facile e continua della velocità entro limiti sufficientemente ampi (compresi normalmente da 1/1 a 1/20), cosicché è possibile adattare esattamente la velocità di taglio alle diverse condizioni di lavoro;
- possibilità di inversioni rapide e frequenti del senso di rotazione;
- possibilità di mantenere costante la velocità anche con variazioni di carico;
- possibilità di variare la velocità mantenendo costante la coppia;
- possibilità di frenatura rapida e senza scosse;
- adattabilità a qualsiasi ciclo di funzionamento a programma.

Le prestazioni possono essere completate qualora si vari il sistema di controllo utilizzato per l'alimentazione dei circuiti di regolazione: i campi della dinamo e del motore a c.c. possono infatti essere controllati con reostati comandati a mano, con comando motorizzato, con regolatori a tiristori, potendo perciò soddisfare qualsiasi esigenza operativa.

#### Ward-Leonard statici

Dal sistema di regolazione Ward-Leonard tradizionale a *conversione rotante* sono derivati tutti i variatori con motore a corrente continua con sistema di *alimentazione statica* che esplica le funzioni del gruppo convertitore rotante.

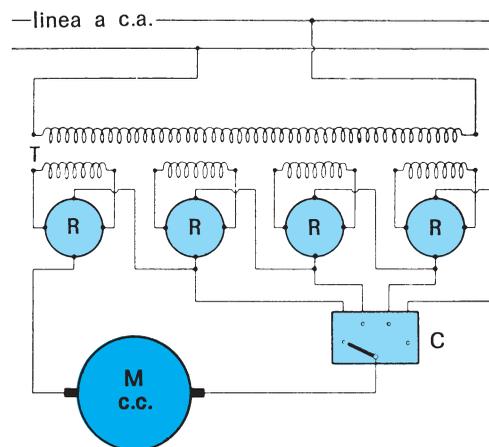
#### Gruppi con raddrizzatori

Il gruppo è sostanzialmente costituito da un motore a corrente continua alimentato da un complesso alimentatore-regolatore statico. La tensione alternata di alimentazione è convertita in continua per mezzo di *raddrizzatori*.

I raddrizzatori a secco di materiali semiconduttori impiegati per le macchine utensili sono a *ossido di rame* o *al selenio*. I raddrizzatori a ossido di rame sono elementarmente costituiti da un disco di rame ossidato su di una faccia: tra il rame e l'ossido di rame (*strato di sbarramento*) si forma uno stato fisico particolare che presenta una conduttività molto diversa secondo che la corrente attraversi il disco in un senso o nel senso opposto. I raddrizzatori al selenio, da un punto di vista costruttivo, sono analoghi ai precedenti con la differenza che lo strato di sbarramento è formato dal contatto fra il selenio cristallino e il cadmio. I raddrizzatori sono alimentati separatamente da un avvolgimento secondario del trasformatore (Figura 34).

#### Gruppi con comando elettronico

La regolazione della corrente di eccitazione e della tensione di armatura dei motori a c.c. si può fare con apparecchi ad amplificazione elettronica. I *diodi* e i *triodi*, comune-



**Figura 34**

Schema del circuito di alimentazione di un motore a c.c. da linea a c.c. con raddrizzatori in serie e trasformatore (T: trasformatore; C: commutatore; R: raddrizzatori metallici; M: motore a c.c.).

mente impiegati a questo scopo, si basano sulla emissione termoionica di un catodo (di W oppure di Ni e Co ricoperti da ossido di bario) riscaldato dalla corrente elettrica, mentre la placca (anodo) è costituita, di solito, da un cilindretto di nichel o di molibdeno. Il catodo e l'anodo sono racchiusi in un'ampolla di vetro in cui è praticato un vuoto spinto. Per la nota attrazione esistente fra cariche elettriche di segno contrario, gli elettroni (cariche negative), liberati dal catodo incandescente, sono attratti dall'anodo che ha carica positiva. Fra gli elettrodi si stabilisce una corrente elettrica unidirezionale e, qualora la corrente di alimentazione sia alternata, solo la semionda positiva genera una conduzione di elettroni dal catodo all'anodo.

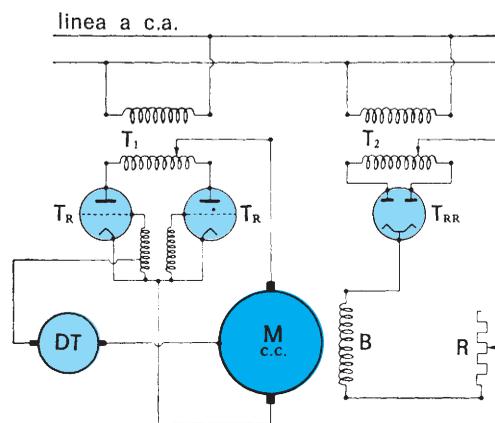
Nel *diodo* si ha solamente il catodo e l'anodo, e la corrente passa solo in tale senso. Nel *triode* è inserita una griglia metallica (di molibdeno o di nichel-manganese) fra l'anodo e il catodo e il senso della corrente è ancora unico, ma con possibilità di regolare la quantità di elettroni. Infatti, se la griglia assume, per mezzo del circuito a cui è collegata, un potenziale negativo rispetto al catodo, essa respinge gli elettroni emessi dal catodo, impedendo loro di raggiungere l'anodo. Se, viceversa, la griglia assume un potenziale positivo, attirerà gli elettroni, i quali, passando attraverso le maglie della griglia, verranno attratti dall'anodo e inviati da questo nel circuito esterno di utilizzazione sotto forma di corrente anodica. Si comprende quindi come variando il potenziale positivo o negativo della griglia si possono amplificare dei segnali debolissimi e ottenere nei circuiti elettronici correnti anodiche variabili secondo cicli determinati per prefissate funzioni.

Per il comando delle macchine utensili si usano triodi contenenti gas inerti (vapori di mercurio, argo, neon) a una pressione dell'ordine di 0,15 Pa. Se la griglia è costituita da un disco munito di un foro (*thyatron*) e se a detta griglia viene applicata un'appropriata tensione si può modificare la tensione d'innesco e quindi il valore della tensione raddrizzata.

Un esempio di circuito elettronico è riportato nella figura 10.50; si distinguono tre circuiti:

- per la regolazione della tensione di armatura;
- per la regolazione della corrente di eccitazione;
- per la regolazione automatica.

Per il primo si hanno due *thyatron* regolabili i cui anodi sono collegati a un trasformatore. Per il secondo si ha un *thyatron* doppio alimentato da un altro trasformatore e collegato alla bobina di eccitazione con un reostato di regolazione. Per il terzo si ha una *dinamo tachimetrica* collegata meccanicamente al motore in modo che la corrente erogata proporzionalmente alla velocità di rotazione. La dinamo tachimetrica (DT) serve a regolare la griglia del *thyatron* così da compensare efficacemente le variazioni di velocità del motore al variare del carico. Per potenze elevate si usa, al posto dei *thyatron*, dei



**Figura 35**

Schema del circuito elettronico per il comando di un motore a c.c. con regolazione automatica. Per la regolazione della tensione di armatura:  $T_1$  trasformatore;  $T_R$  thyatron; M motore a c.c. Per la regolazione della corrente di eccitazione:  $T_2$  trasformatore;  $T_{RR}$  thyatron doppio; R reostato; B bobina di eccitazione. Per la regolazione automatica: M motore a c.c.; DT dinamo tachimetrica;  $T_R$  thyatron (valvola ad alta tensione e debole corrente, di piccole dimensioni e per modeste potenze).

tiristori (o diodi controllati al silicio), semiconduttori a doppia giunzione derivati direttamente dai diodi al silicio e aventi rendimento elevatissimo (99,5%).

### Motori passo-passo

Sono costituiti da uno statore avente un numero di coppie polari  $n_p$  diverso da quello  $n_r$  del rotore (Figura 36). Inviando corrente continua alternativamente e in successione nelle coppie di poli contrapposti, si crea il campo magnetico rotante che imprime al rotore una rotazione a ogni impulso pari all'angolo di disassamento  $\alpha$  delle coppie polari, ricavabile dalla relazione:

$$\alpha = 360^\circ \left( \frac{1}{n_r} - \frac{1}{n_p} \right)$$

Il funzionamento di un motore passo-passo impiegato per azionare comandi oleodinamici, slitte per macchine utensili ecc., avviene tramite commutatori elettromeccanici o elettronici che provvedono a inviare nei poli statorici contrapposti gli impulsi con la frequenza e nella successione necessaria per effettuare il movimento del rotore nei due sensi.

Collegando il rotore a una slitta comandata da una vite di passo  $p$ , lo spostamento  $s$  che si realizza a ogni impulso è dato da:

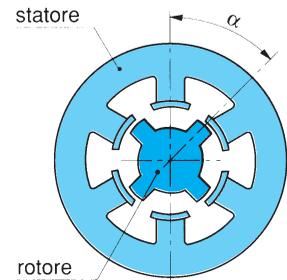
$$s = \frac{p\alpha}{360^\circ}$$

Per effettuare la corsa  $c$  preventivata della slitta occorre il seguente numero di impulsi:

$$n_i = \frac{c}{s}$$

La velocità di avanzamento  $v$  della slitta dipende dal numero di impulsi  $i$  inviati nell'unità di tempo (frequenza degli impulsi):

$$v = i \cdot s$$



**Figura 36**

Motore passo-passo.