

Evoluzione della macchina utensile

Due caratteristiche fondamentali che definiscono le prestazioni di una M.U. sono la produttività e la flessibilità.

Produttività: è il numero di pezzi che la M.U. produce nell'unità di tempo. E' legata alla velocità con cui si realizza un pezzo, tenuto conto di tutte le fasi di produzione (montaggio del pezzo e degli utensili, taglio del truciolo, controllo della lavorazione, impostazione delle velocità, smontaggio..)

Flessibilità o versatilità: capacità di una M.U. di adattarsi a produrre un pezzo di forma diversa rapidamente e con basso costo. E' legata al tempo di preparazione della macchina necessario per effettuare le dovute modifiche che consentano di passare dalla lavorazione di un pezzo a quella di un altro anche molto diverso.

Macchine utensili tradizionali

Le M.U. tradizionali sono poco produttive perché l'operatore provvede manualmente all'azionamento degli organi di comando dei moti della macchina e perché ci sono molti tempi morti (controlli dimensionali, cambio utensile, staffaggio del pezzo, stanchezza e bisogni fisiologici umani..). Sono però macchine ad elevata flessibilità perché sono molto versatili: con attrezzature supplementari limitate si prestano ai più svariati impieghi. Sul comune tornio parallelo per es. si possono eseguire, oltre alle comuni operazioni di tornitura, operazioni di sfacciatura, foratura, filettatura..

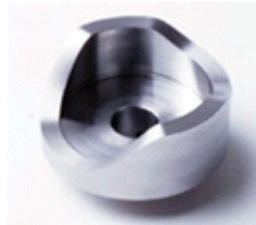
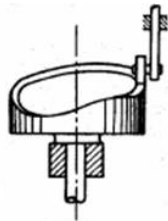
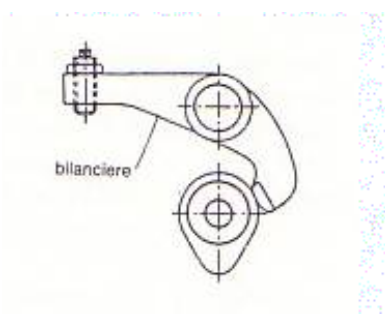
Per tali caratteristiche, le M.U. tradizionali sono impiegate in aziende di manutenzione, per la produzione di prototipi, o piccolissime commesse.

Occorre sottolineare anche il fatto che l'operatore deve essere qualificato perché deve essere in grado di leggere il disegno del pezzo, interpretarlo, definire il ciclo di lavorazione ed eseguirlo.

La quantità e la qualità del lavoro dipendono pertanto più dall'operatore che non dalla macchina.

Macchine utensili speciali (automatiche)

Prima dell'avvento dell'elettronica si sono affermate le macchine utensili speciali, cioè macchine a completa automazione meccanica, nelle quali i moti delle varie parti sono regolati mediante sistemi di camme.



Camme è un disco con un profilo particolare, in grado di muovere un altro organo meccanico secondo un moto specifico.

Nelle macchine utensili speciali collegato al motore c'è un albero che porta delle camme che, attraverso sistemi di leve, aste e bilancieri, azionano tutti i movimenti della macchina utensile (es. spostamenti della torretta). La lavorazione completa di un pezzo avviene in meno di un giro dell'albero a camme (che dura alcuni minuti) e ad ogni giro si lavora un altro pezzo in maniera perfettamente ripetitiva.

L'operatore è dequalificato in quanto provvede solo al montaggio e smontaggio del pezzo e le abilità a lui prima richieste sono trasferite alla macchina.

Queste sono macchine ad altissima produttività, ma con scarsa flessibilità (si parla di automazione rigida). Infatti i cinematismi degli organi meccanici della macchina azionano cicli ripetitivi e fissi; ogni cambio di lavorazione o modifica richiede di sostituire le camme o tutto l'albero a camme, con lunghe e costose interruzioni della produzione.

Ne consegue che precisione e ripetibilità vengono assicurate a prezzo di un elevato costo della macchina e di una sua grande rigidità produttiva, ma ripartendone l'ammortamento su un elevato numero di pezzi.

Le macchine speciali sono impiegate per la lavorazione di pezzi di forma semplice in grandissima serie (componenti commerciali come bulloneria, raccordi, minuteria, boccole..).

Macchine utensili a controllo numerico

L'avvento dell'elettronica e dell'informatica ha permesso di unire i vantaggi delle macchine utensili tradizionali (flessibilità) a quelli delle macchine utensili speciali (produttività e automazione).

Le M.U.C.N. sono macchine automatiche, in cui tutte le azioni sono comandate da informazioni numeriche, mediante una serie di istruzioni che costituiscono il *programma pezzo*, inserito e memorizzato nella macchina. La MUCNC legge le istruzioni e fa i dovuti CALCOLI MATEMATICI per azionare i motori del mandrino e degli avanzamenti alle giuste velocità e nei giusti istanti. Sono **macchine estremamente produttive e flessibili** perché per cambiare il tipo di pezzo in produzione basta cambiare il programma pezzo, e quindi il tempo di preparazione della macchina è minimo.

L'intervento dell' **operatore è ridotto al minimo** e le sue funzioni sono ridotte a:

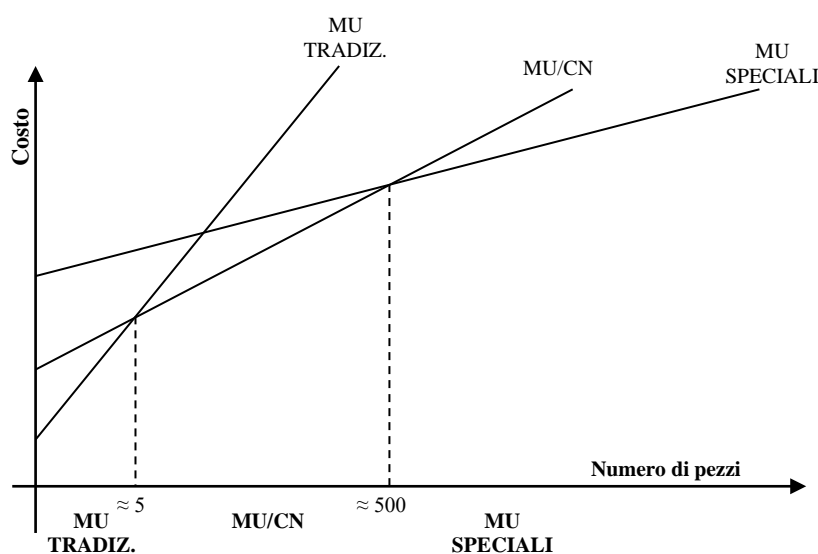
- comunicare il programma alla M.U.
- montare/smontare il pezzo (nelle macchine più moderne queste sono operazioni automatiche)
- avviare il ciclo
- controllare l'esecuzione che avviene in automatico

Le M.U.C.N. sono caratterizzate anche da una **ottima precisione e possibilità di eseguire lavorazioni complesse**.

M.U. tradizionali: basso costo di attrezzaggio; alta flessibilità; scarsa produttività

M.U. speciali: alto costo di attrezzaggio; scarsa flessibilità; altissima produttività

M.U.C.N.: costo di attrezzaggio intermedio; alta flessibilità; alta produttività



Il costo di attrezzaggio comprende l'acquisto della macchina e i costi di preparazione della stessa per il lancio di un lotto di pezzi di forma diversa. E' rappresentato dall'ordinata all'origine delle rette

L'inclinazione della retta è legata alla produttività: curve molto tendenti all'orizzontale indicano alta produttività (i costi fissi si ripartiscono); curve molto pendenti rappresentano bassa produttività

Al contrario di quello che si pensa **le M.U.C.N. sono indicate per la piccola e media produzione**

(**decine/centinaia di pezzi**), cioè per lotti piccoli e continuamente variabili tipici del mercato moderno in cui la domanda cambia continuamente e spesso in maniera imprevedibile, oltre che per pezzi complessi che le macchine tradizionali o automatiche non riescono ad eseguire (es. superfici curve 3D).

Altri vantaggi delle M.U.C.N.C, oltre a produttività e flessibilità:

possibilità di eseguire profili complessi, poiché l'utensile è guidato su traiettorie qualsiasi

bassi costi di produzione: 1) per aumento di produttività, 2) minor impiego di manodopera, dato che la lavorazione è automatica un operaio segue più macchine, 3) manodopera anche poco specializzata, 4) riduzione dei tempi morti grazie all'ottimizzazione di tutto il ciclo di lavoro

grande qualità e precisione: pezzi geometricamente complessi con tolleranze strette (fino IT5 - IT6) e rugosità basse (fino a 0.1µm sui torni più pregiati); ciò è dovuto a molti fattori tra cui 1) l'impiego di utensili a placchetta, che sono molto precisi e si usurano poco, 2) struttura della macchina utensile molto rigida, 3) elevata precisione del posizionamento delle slitte, grazie alla presenza di trasduttori molto precisi, 4) ridotto numero dei piazzamenti, grazie ai molti assi controllati che la macchina possiede e alle attrezzature di fissaggio speciali di cui è dotata

garanzia di qualità costante nel tempo: la precisione è la stessa per tutti i pezzi e dipende dalla macchina, non tanto dall'operatore.

riduzione degli scarti: prima del lancio in produzione dell'intero lotto si esegue un pezzo prototipo, lo si controlla, si effettuano le dovute correzioni al programma pezzo e, solo dopo aver ottenuto un primo pezzo accettabile, si avvia la produzione degli altri pezzi. Ciò limita fortemente la difettosità dei pezzi.

possibilità di lanciare altri lotti a distanza di tempo: basta riprendere il programma che è già memorizzato

riduzione delle scorte in magazzino: data le alte flessibilità e produttività, si produce la quantità giusta al momento giusto

ecologia del lavoro: con la lavorazione automatica si eliminano le azioni ripetitive e pericolose per l'operatore, che funge solo da supervisore della lavorazione

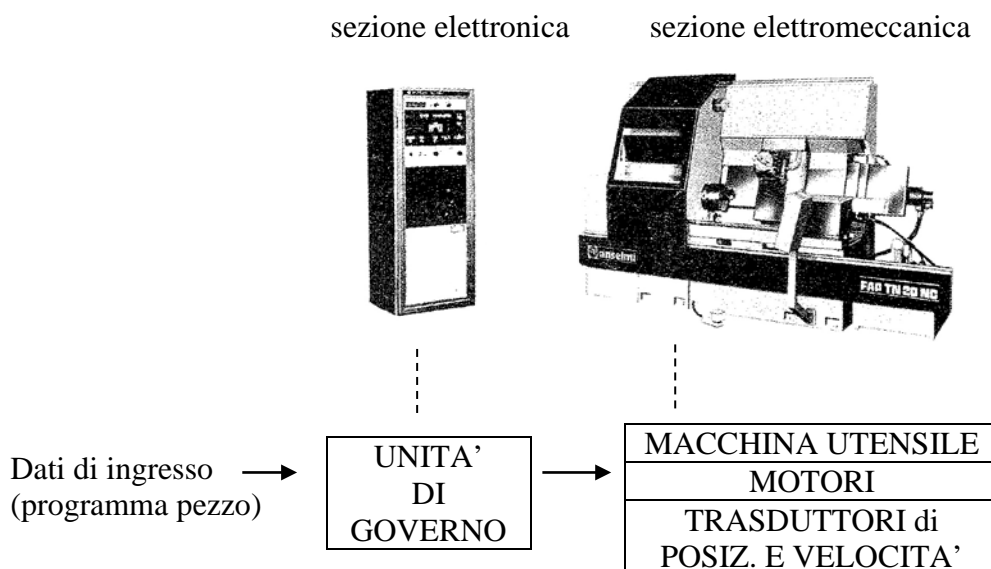
Le MUCN: generalità

Si definisce M.U.C.N. una macchina utensile nella quale tutte le azioni e tutti i movimenti sono **comandati e controllati** mediante dati numerici (controllo numerico).

Una M.U.C.N. è una macchina utensile comandata per mezzo di istruzioni compendiate in un programma scritto in apposito *linguaggio di programmazione alfanumerico*.

La M.U.C.N. è costituita essenzialmente da due parti principali, separate strutturalmente, ma collegate nel funzionamento:

la *sezione elettromeccanica*, che lavora il pezzo ed è essenzialmente simile a quella della M.U. tradizionale
 la *sezione elettronica*, costituita dall'unità di governo U.d.G e preposta al governo di tutti i movimenti e gli azionamenti che si rendono necessari durante la lavorazione.



La **sezione elettromeccanica** è formata da *basamento, organi di trasmissione, guide, slitte, portautensili, mandrino*... in grado di sostenere e conferire all'utensile e/o al pezzo in lavorazione i moti di taglio e di alimentazione, e da componenti elettromeccanici che producono i movimenti (*motori elettrici*) e che ne rilevano l'attuazione (*trasduttori di posizione e velocità*).

La **sezione elettronica** è costituita dall'**UdG**: si compone di un *microprocessore* (calcolatore elettronico in grado di elaborare tutti i dati che gli giungono dal programma e dai trasduttori), di *memorie* che contengono sia il programma di gestione sia quello di lavorazione, e di *unità periferiche di input e output*, quali video e tastiera alfanumerica.

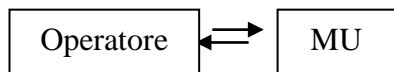
In pratica l'UdG è un vero e proprio computer che gestisce la MU: **memorizza** il programma, lo **elabora** (ossia calcola posizioni e velocità continuamente), **comanda** tutti i motori, visualizza la **simulazione del percorso utensili**, permette di **azionare manualmente** la macchina.

AZIONE DI COMANDO: l'UdG riceve *dal programma pezzo*, redatto dal programmatore, e *dai sensori* le informazioni fondamentali che descrivono con precisione e completezza il processo di lavorazione, le elabora e quindi coordina e **mette in azione tutti gli organi della macchina** (avanzamento assi, rotazione del mandrino, cambio utensili, erogazione refrigerante..) inviando i giusti valori di tensione elettrica ai motori interessati.

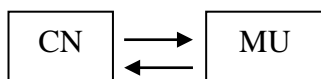
AZIONE DI CONTROLLO: inoltre l'U.d.G. è dotata di dispositivi in grado di ricevere le informazioni provenienti *dai trasduttori (di posizione del pezzo o dell'utensile, di velocità del mandrino o degli assi ..)*, **confrontarle con i dati teorici** che aveva precedentemente calcolato e **comandare eventuali correzioni**.

L'UdG e il CN sostituiscono pertanto l'operatore delle MU tradizionali, svolgendone le stesse funzioni: si può pensare all'U.d.G. come al cervello dell'operatore, agli attuatori (motori elettrici) come alle sue mani e ai trasduttori come ai suoi occhi.

MU tradizionale



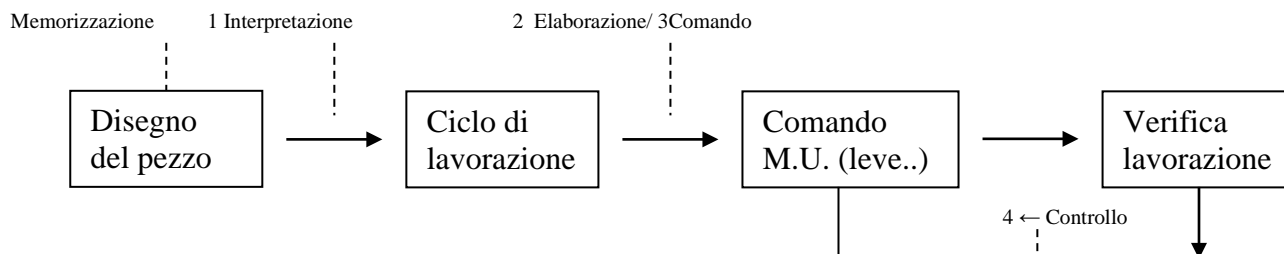
MUCNC



CONFRONTO TRA PROCEDURA ALLE MU TRADIZIONALI E ALLE MUCNC

In entrambi i casi l'operatore o il CN devono eseguire 4 azioni: **lettura e interpretazione** (del disegno nelle M.U. tradizionali o del programma nelle MUCNC), **elaborazione** (impostare la macchina per eseguire una certa lavorazione), **comando** (azionare i dispositivi), **controllo** (visionare e provvedere che la lavorazione proceda correttamente).

MU tradizionali



Nelle MU tradizionali il disegno del pezzo funge da memoria.

L'operatore **legge ed interpreta il disegno**, ricavando le informazioni necessarie per l'elaborazione del ciclo di lavorazione. **Il ciclo di lavorazione è costituito dalla sequenza ordinata delle fasi di lavoro corredata dalle informazioni geometriche, tecnologiche ed ausiliarie.**

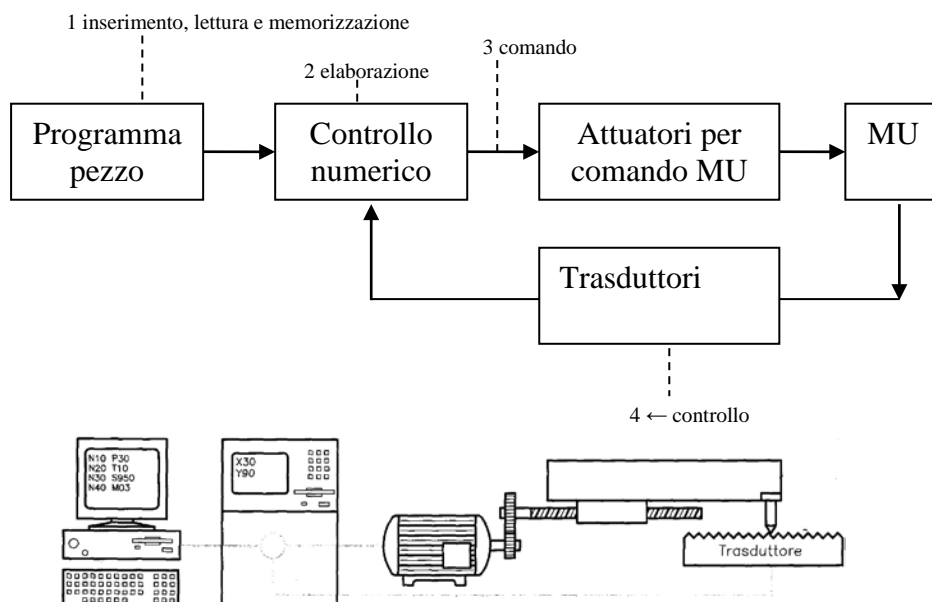
Le **informazioni geometriche** sono ad es. il diametro di lavoro, la profondità di un foro, l'angolo di uno smusso.. e definiscono i movimenti e la posizione degli utensili per realizzare la forma geometrica del pezzo.

Le **informazioni tecnologiche** definiscono le condizioni di lavoro quali i parametri di taglio, la scelta dell'utensile .., che si traducono in velocità di rotazione del mandrino e di spostamento delle slitte...

Le **informazioni ausiliarie** sono quelle che aiutano la lavorazione alla MU, quali la refrigerazione, la lubrificazione, il cambio pezzo, avanzamento della contropunta, l'apertura/chiusura dello schermo di sicurezza... Successivamente l'operatore **predispone la macchina** alla lavorazione (monta il pezzo, sceglie e fissa l'utensile, imposta le velocità..) e **governa manualmente** la MU durante la lavorazione agendo su leve e volantini. Infine esegue il **controllo visivo** della lavorazione e alla fine disattiva il comando.

MUCNC

Nelle MUCNC il CN prende il posto dell'operatore ed esegue le stesse operazioni di lettura e memorizzazione, elaborazione, comando e controllo della MU.



Il CN svolge le stesse funzioni dell'operatore con estrema precisione e sicurezza. L'operatore deve solo inserire il programma pezzo, avviare il ciclo e controllarne l'esecuzione automatica.

La prima fase di **lettura e interpretazione** avviene con l'inserimento del programma pezzo.

Il programma pezzo si può considerare il ciclo di lavoro tradotto in linguaggio ISO (in cui ogni istruzione rappresenta una fase di lavoro) e deve contenere pertanto tutte le informazioni geometriche, tecnologiche e ausiliarie necessarie.

La memorizzazione del programma pezzo nell'UdG può avvenire mediante digitazione da tastiera, per mezzo di supporti magnetici (cd, pen drive...) o trasferimento da PC con cavo seriale.

Di solito la tastiera viene usata solo per modificare il programma in fase di collaudo (per evitare i tempi di fermo macchina e facili errori di copiatura) e **il programma si scrive nell'ufficio tecnico su PC**.

Successivamente si invia il programma pezzo al CN mediante interfaccia seriale.

Il programma può essere elaborato:

- manualmente dal programmatore (**programmazione manuale**), specialmente in caso di pezzi piuttosto semplici. In questo caso il programmatore conosce il linguaggio ISO, **calcola** percorsi e coordinate degli spostamenti, imposta utensili e comandi ausiliari e **scrive il programma blocco dopo blocco**
- oppure le aziende più evolute possiedono sistemi CAD-CAM che producono in automatico il programma pezzo (**programmazione automatica**). Il disegno del pezzo viene realizzato con software CAD, mentre il **software CAM preleva dal disegno CAD tutte le informazioni geometriche** (per calcolare le coordinate degli spostamenti utensili) e il **PROGRAMMATORE SCEGLIE lavorazioni, utensili, velocità di lavoro .. e aggrega tali informazioni tecnologiche e ausiliarie nel CAM** per poter elaborare il programma pezzo. La programmazione automatica è utilizzata soprattutto in caso di pezzi molto complessi, come gli stampi e le conchiglie, soprattutto di superfici tridimensionali curve, per le quali la programmazione manuale è impossibile, oltrechè lunghissima.

CAM = computer aided manufacturing = produzione assistita al computer

CAD = computer aided design = progettazione assistita al computer

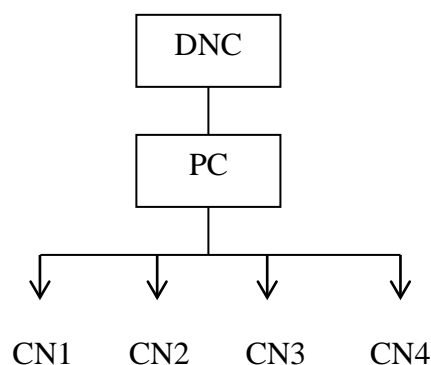
Le UdG possono essere di 3 tipi ed originano 3 gruppi di MU:

1. a CN controllo numerico convenzionale
2. a CNC controllo numerico computerizzato
3. a DNC controllo numerico diretto

CN: è il tipo più vecchio. L'UdG è in grado solo di memorizzare, elaborare ed eseguire il programma pezzo immesso dall'esterno su nastro perforato, ma **non può modificarlo** interattivamente. Per qualsiasi piccola modifica serve un altro programma; per questo motivo è il sistema meno flessibile, ormai non più utilizzato.

CNC: l'UdG **contiene un microprocessore** in grado di risolvere operazioni e problemi geometrici (determinare coordinate di traiettorie rettilinee o circolari, calcolare e coordinare tra loro le velocità degli assi ..). In tali sistemi un programma può essere simulato graficamente sul video ed è **modificabile** da tastiera. E' un sistema molto flessibile e quindi **solitamente adottato**.

DNC: è un sistema integrato in cui **un unico computer centrale** controlla più MUCNC (**sono abolite le singole UdG**). E' utilizzato nelle aziende più grandi.



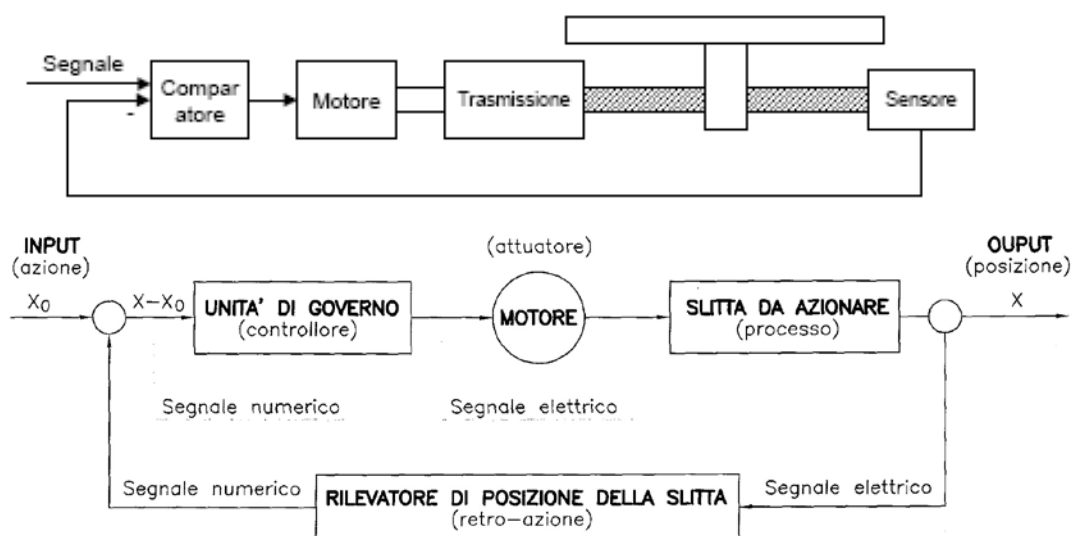
Il PC centrale è collegato ai PC terminali dell'ufficio tecnico e funge da banca dati, tiene nella sua memoria i programmi pezzo di tutti i CNC e li distribuisce alle varie macchine. Tra i vantaggi di questo sistema:

- si possono effettuare modifiche dall'ufficio

- si possono interconnettere varie MUCNC tra loro, e anche con altri sistemi produttivi (macchine di lavaggio, macchine di misura per il collaudo, sistemi di trasporto automatico dei pezzi..) per effettuare così lavorazioni diverse in un unico processo.
- il DNC centrale riceve informazioni dalle MUCNC relative a: durata degli utensili e vita residua, tempi di lavorazione, misure e collaudo per il controllo qualità...

Le fasi di *elaborazione, comando e controllo* vengono invece effettuate **contemporaneamente e con continuità** nel tempo dal CN. Per ogni centesimo di secondo il CN esegue un'elaborazione per calcolare le coordinate di un nuovo punto in cui posizionare l'utensile e le velocità dei motori interessati a tale spostamento, invia i segnali elettrici di comando ai servomotori (per azionarli alle giuste velocità), predisposti alla movimentazione degli organi mobili della macchina ed effettua, tramite i trasduttori di posizione e di velocità, il controllo della posizione.

Il sistema di controllo è pertanto un **sistema in retroazione**, cioè comprende dei trasduttori in grado di rilevare e comunicare all'UdG i valori reali ed attuali delle posizioni e delle velocità degli assi controllati, permettendo così all'UdG di **correggere eventuali errori** e di adeguare in tempo reale tutti i parametri di comando e di velocità della macchina ai valori programmati. Tutto ciò (comando dei servomotori, rilevamento dei trasduttori, correzione ad opera dell'UdG) si ripete con una frequenza di più di cento volte al secondo.



X_0 è la **posizione istantanea teorica** (o la velocità) istantanea da raggiungere, **calcolata** dall'UdG in base ai dati immessi nel programma

X è la **posizione** (o la velocità) **istantanea reale** misurata dai trasduttori

$X - X_0$ è il **segnale di errore**, calcolato dall'UdG, **in base al quale l'UdG comanda i motori**. Ad per es. finché l'errore $X - X_0$ è grande, cioè la slitta non si trova dove dovrebbe essere, l'UdG accelera i motori, ma quando l'errore di posizione è piccolo l'UdG rallenta i motori, se poi la posizione teorica viene superata l'UdG comanda l'inversione del senso di moto, e tutto ciò finché l'errore non diventa nullo, ovvero finché la slitta non arriva in posizione, istante in cui l'UdG non invia più impulsi ai motori. In pratica è come se il controllo in retroazione attirasse come una calamita la slitta sulla corretta posizione da raggiungere.

In un sistema di controllo in retroazione ci sono quindi sempre due flussi di informazioni tra MU e UdG:

1. **dall'UdG (controllore) alla MU (attuatori):** è questa l'azione di comando di azionamento dei motori
2. **dalla MU (trasduttori) all'UdG (controllore):** è questa l'azione di controllo per effettuare le dovute correzioni

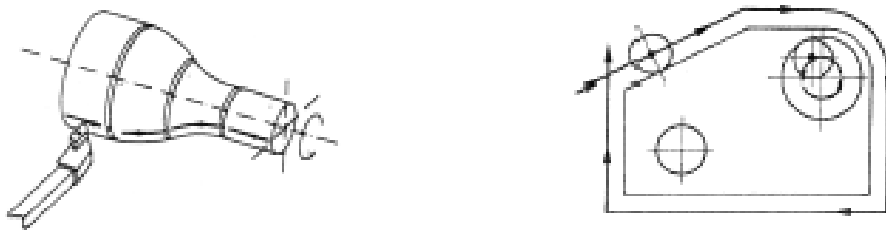
dove l'azione di comando dipende anche dall'azione di controllo.

E' proprio questa doppia azione di comando e controllo che contraddistingue **il concetto di automazione rispetto a quello precedente di meccanizzazione** (semplice esecuzione automatica senza controllo) caratteristico delle MU speciali ad automazione meccanica (camme).

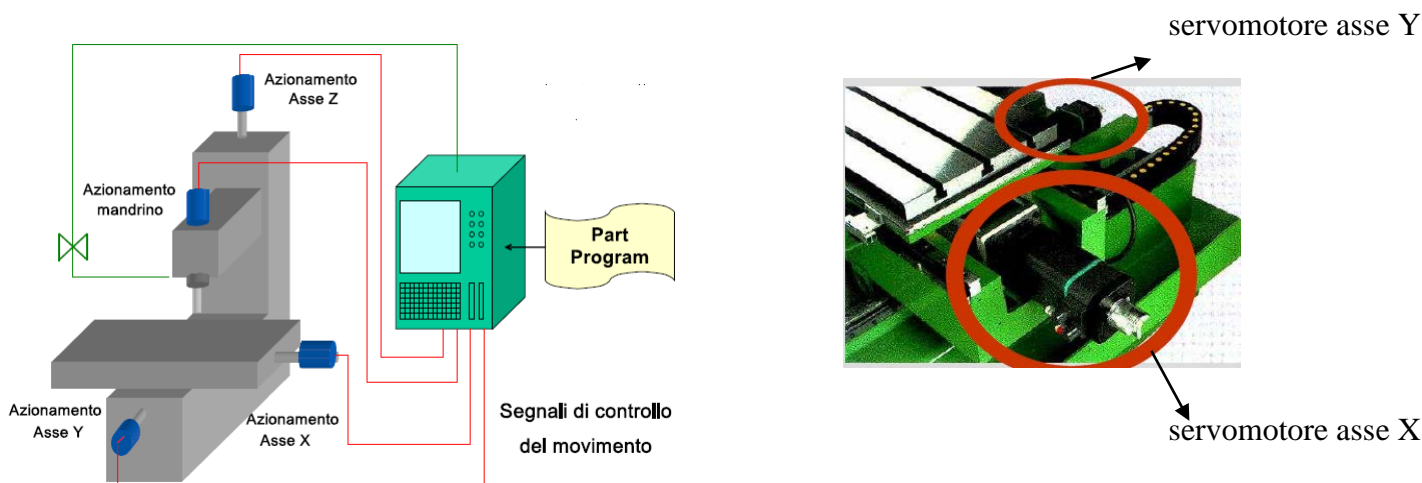
Ogni asse controllato presenta **due anelli di retroazione** (con suoi appositi sensori): uno per il controllo della **posizione** della slitta, un altro per il controllo della sua **velocità**, che permette **correggere più velocemente** anche la posizione.

COORDINAMENTO DEGLI ASSI PER ESEGUIRE PROFILI QUALSIASI

La più importante caratteristica delle MUCNC è poter guidare l'utensile con precisione centesimale su un qualsiasi profilo: ciò rende possibile **la lavorazione di profili qualsiasi**, purchè ne sia nota l'equazione matematica $f(x)$. Ciò consente di effettuare alla fresatrice pezzi curvi tridimensionali. Analogamente al tornio smussi, conicità, raccordi circolari e tornitura sferica si eseguono con i normali utensili da passata, facendo avanzare l'utensile lungo il profilo della generatrice.



Per poter muovere l'utensile nel generico piano XY secondo una traiettoria qualsiasi, l'UdG deve comandare **contemporaneamente e in modo sincronizzato i singoli servomotori** degli assi X e Y, **coordinando opportunamente tra loro le relative velocità di avanzamento v_x e v_y** .



Per poter fare ciò occorrono le seguenti condizioni:

1. il **software** deve essere in grado di **calcolare in ogni istante le velocità degli assi X,Y,Z..** necessarie per generare la traiettoria (compito eseguito dalle funzioni di interpolazione G01, G02, G03)
2. **ogni asse** controllato (X, Y, Z..) **deve avere un proprio motore indipendente** dagli altri (per muovere insieme più assi)
3. i motori devono essere **servomotori**, cioè con **numero di giri regolabile** a piacere, per potersi muovere con le velocità calcolate precedentemente dalle funzioni di interpolazione (cioè devono poter assumere valori qualsiasi e continuamente variabili).

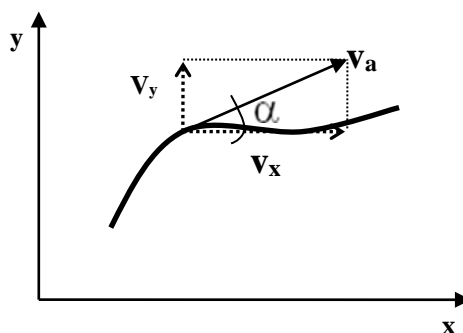
Le velocità v_x e v_y .. cambiano continuamente lungo la traiettoria da seguire e vanno ricalcolate continuamente.

Calcolo delle velocità v_x e v_y

Sia nota l'equazione della funzione $y=f(x)$ corrispondente al profilo lungo cui muovere l'utensile. In pratica noi programmeremo il profilo come una successione di tratti rettilinei (G01) e circolari (G02, G03).

Si ricorda che:

- Il vettore **velocità è tangente alla traiettoria**
- La derivata di una funzione $f(x)$ in un punto x , corrisponde alla tg della retta tangente alla funzione nello stesso punto x : **$f'(x) = \text{tg } \alpha$**



L'UdG per prima cosa calcola la derivata del profilo $f'(x)$

Graficamente si nota che la derivata del profilo $f'(x)$ corrisponde al rapporto tra le velocità v_y e v_x

$$f'(x) = v_y/v_x$$

In questo modo è noto il rapporto in cui devono stare le velocità dei due motori. Se ad es. $f'(x) = 1$ si avrà $v_x = v_y$ e, attivando i motori con la stessa velocità, l'utensile si muoverà lungo una retta a 45° .

Se $n = 500$ rpm per entrambi i motori, la traiettoria sarà a 45° e verrà percorsa con una certa velocità di avanzamento v_a . Se invece $n = 1000$ rpm per entrambi i motori, la traiettoria sarà ancora a 45° e verrà percorsa con una velocità di avanzamento v_a doppia rispetto a $n = 500$ rpm.

In pratica ci sono infinite possibilità di percorrere lo stesso profilo, ma con velocità diverse.

Tuttavia il programmatore assegna anche la velocità di avanzamento della lavorazione; tale velocità non è altro che la somma vettoriale delle velocità v_x e v_y dei singoli assi.

Per determinare univocamente le velocità v_x e v_y l'UdG deve pertanto risolvere il seguente sistema:

$$f'(x) = v_y/v_x$$

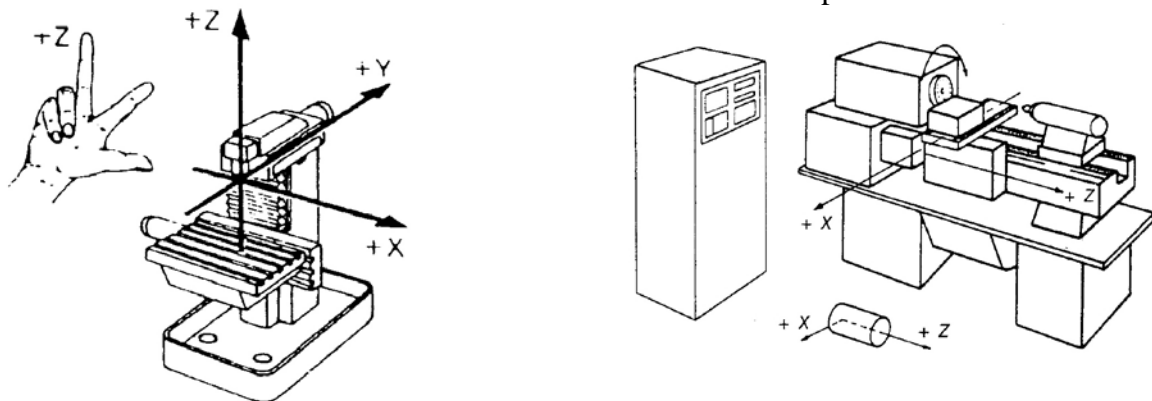
$$v_a = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)}$$

Osservando poi che l'inclinazione α del profilo cambia in ogni punto, ne segue che anche v_x e v_y devono cambiare lungo il profilo e quindi l'UdG deve ripetere il calcolo del precedente sistema man mano che la slitta si sposta lungo il profilo, con una frequenza di **cento volte al secondo**, per poter comandare gli assi X e Y con le giuste velocità in ogni posizione.

STRUTTURA DI UN ASSE CONTROLLATO

Gli assi di una MUCNC rappresentano le **direzioni di spostamento o di rotazione** delle sue parti mobili, principalmente le direzioni di spostamento delle slitte porta pezzo e porta utensile.

Non tutti i **movimenti** delle MUCNC sono però degli **assi controllati**, ma solo **quelli misurati dai trasduttori di posizione** e comandati dal CN attraverso servomotori, in modo tale che sia possibile posizionare la slitta con precisione in un punto arbitrario della sua corsa disponibile.

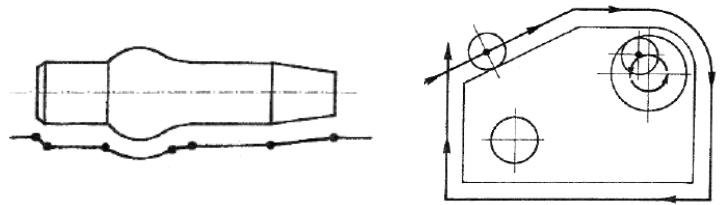


Per esempio: una generica fresatrice CN, che può muovere l'utensile e il pezzo in tre direzioni (x, y, z), ha tre assi controllati, cioè tre direzioni di moto controllate dal computer attraverso i motori e di cui si può programmare l'arresto in un punto a piacere lungo queste tre direzioni (entro i limiti della corsa massima meccanica); **la rotazione del mandrino invece di solito non è un asse controllato**, perché il computer di controllo non può comandarne il posizionamento esatto in un punto qualsiasi, ma si limita a impostare e mantenere una data velocità di rotazione; tanto meno sono assi controllati eventuali movimenti accessori di tipo on/off (pompe per acqua o aria, apertura della schermo protettivo ecc.). **La rotazione di una tavola portapezzo o l'inclinazione del mandrino sono invece assi controllati.**

Per definire le prestazioni delle MUCNC sono fondamentali il numero e le corse degli assi controllati. Più lunghe sono le corse degli assi e **più grandi sono i pezzi** che si possono lavorare con lo stesso piazzamento.

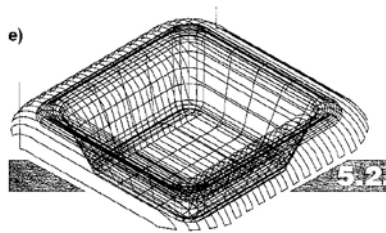
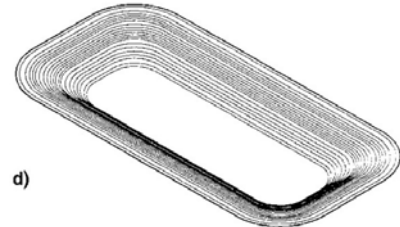
Più alto è il numero di assi controllati e **maggiore è il numero di lavorazioni eseguibili** con lo stesso piazzamento: si hanno **meno piazzamenti** e quindi maggior velocità e precisione di lavoro.

Controllando **2 assi** contemporaneamente l'utensile può essere guidato secondo un percorso qualsiasi in un piano. Sono possibili **lavorazioni nel piano** (fresatura) o di superfici di rivoluzione (tornio)



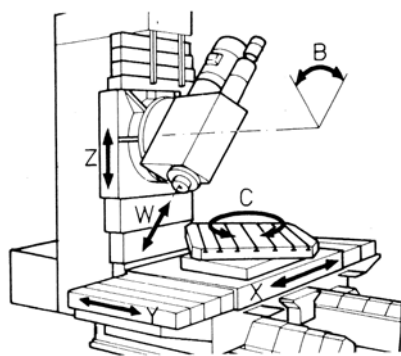
Con **2½ assi** controllati sono possibili **lavorazioni a terrazze (fresa)**, che danno una parvenza di tridimensionalità.

Controllare 2½ assi significa poter controllare il percorso dell'utensile su un piano (lavorazione di superfici piane) e usare il terzo asse prima, solo per impostare la profondità di passata.



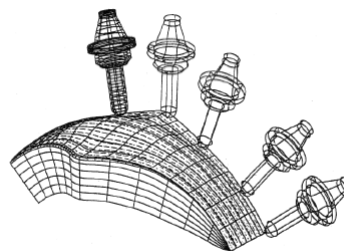
Con **3 assi** controllati diviene possibile la lavorazione di **superfici tridimensionali**. L'utensile può essere guidato lungo un percorso qualsiasi nello spazio. Tuttavia non si possono lavorare superfici con sottosquadri, per le quali occorre poter inclinare l'utensile. La lavorazione a 3 assi viene usata solo per la **sgrossatura** di superfici molto complesse. Usando **frese raggiate** è possibile anche la **finitura (la fresa è tangente alla superficie)**.

La fresatura a **4 o più assi** consente di lavorare in **finitura anche superfici tridimensionali molto complesse** (es. stampi o pale di turbine), anche con sottosquadri. Con tre assi (X,Y,Z) si controlla il percorso dell'utensile nello spazio; con un altro asse si controlla anche **l'inclinazione ottimale dell'utensile**. In questo caso si riesce a mantenere l'utensile (non raggiate) sempre tangente alla superficie.



Centro di lavoro a 6 assi

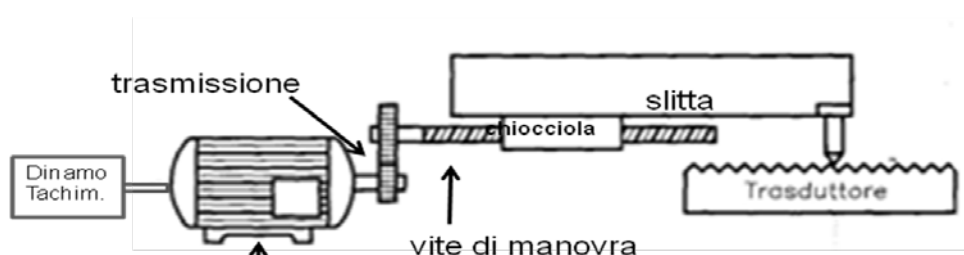
Tipo di controllo: 3/5 assi



Passando da 2 a 3 o più assi controllati si rende possibile la lavorazione di superfici complesse.

Un altro dato importante è la **velocità di rapido** con cui le slitte si muovono quando l'utensile non è a contatto col pezzo, ma in avvicinamento o allontanamento da esso (**da 10 fino a circa 30 m/min**): ciò consente lavorazioni più veloci, soprattutto in quelle macchine in cui le corse degli assi sono molto lunghe. Naturalmente **durante la lavorazione**, quando l'utensile è a contatto col pezzo, la velocità di avanzamento è molto inferiore: **50/500 mm/min**.

Per ogni asse controllato ci sono 4 organi fondamentali: **servomotore, trasmissione a cinghia dentata, vite di manovra a ricircolo di sfere, trasduttori di posizione e di velocità**.



SERVOMOTORI

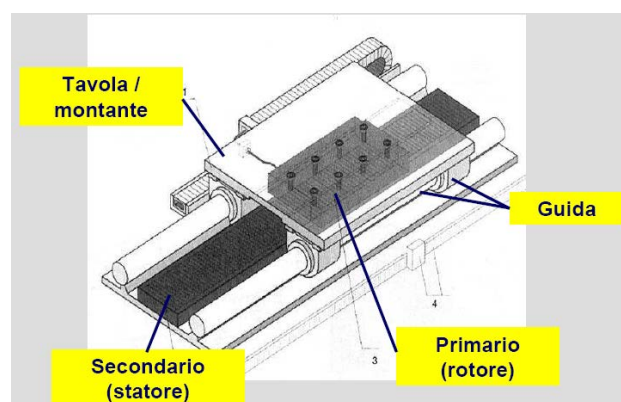
Per servomotori si intendono i motori elettrici **regolabili**, corredati dai dispositivi elettronici (azionamenti) preposti al controllo della **velocità, della coppia e della potenza**, necessari per una buona resa della lavorazione.

Gli **azionamenti** elettronici (SCR, PWM, inverter) oltre a regolare i motori, devono anche amplificare i segnali a bassa energia (digitali), che provengono dall'UdG in segnali a più alta energia, necessari per azionare i motori. Solitamente anche i motori sono di tipo digitale e quindi non occorre l'interfaccia.

Motori per avanzamenti: sono quelli di bassa potenza. Nelle prime applicazioni, data la semplicità di regolazione, venivano utilizzati motori a c.c.; ultimamente sono invece preferiti i **motori a c.a. senza spazzole** perché più robusti ed affidabili, o per le macchine più pregiate i **motori lineari** che danno migliori prestazioni.

Il motore lineare ha lo stesso principio di funzionamento di quello rotante, ma lo statore esterno viene reso rettilineo e su di esso trasla il rotore anch'esso rettilineo. Lo statore è fissato al bancale ed è a magneti permanenti, il rotore è un pacco lamellare con l'avvolgimento elettrico ed è solidale alla slitta.

Il motore lineare permette **elevate velocità di rapido e grandi accelerazioni, grande precisione di posizionamento e semplificazione della trasmissione** poiché mancano la cinghia dentata e la vite di manovra. Per contro è più costoso e sofisticato, nonché più esposto a trucioli e sporco.



Anche il motore del mandrino, che di solito non è un asse controllato, è comunque un servomotore.

Motori per mandrino: è il motore di potenza e **spesso è a c.c.** Per le macchine più potenti e precise si utilizzano inoltre **elettromandrini**, che, essendo accoppiati direttamente al mandrino senza organi intermedi, riducono notevolmente le vibrazioni del mandrino e permettono maggiore precisione di lavoro.

TRASMISSIONE A CINGHIA DENTATA

All'asse del motore è collegato direttamente (con ingranaggi o cinghia dentata) la vite di manovra che, tramite la chiocciola fissata sulla slitta, ne consente la traslazione.

La trasmissione a cinghia dentata è molto usata perché garantisce la costanza del rapporto di trasmissione: occorre **evitare pericolosi slittamenti**, che farebbero perdere il controllo della posizione.

Più raramente si usano trasmissioni a ingranaggi, che pur generando maggiori vibrazioni a causa degli urti tra denti durante l'ingranamento, restano comunque indispensabili in caso di alte potenze.

VITE A RICIRCOLO DI SFERE

La vite a ricircolo di sfere garantisce il **posizionamento delle slitte con ottima precisione e ripetibilità**. Ciò grazie alla **minimizzazione dei giochi e degli attriti** che essa realizza rispetto alle tradizionali viti di manovra a strisciamento. Inoltre le viti a ricircolo di sfere presentano **buona rigidezza**.



Tra la vite e la chiocciola, che hanno lo stesso passo, sono interposte sfere di acciaio temprato che trasformano l'attrito radente (vite-madrevite) in attrito volvente (vite-sfere-chiocciola).

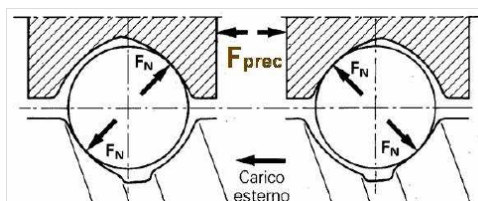
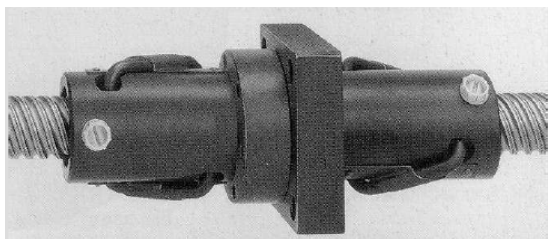
Le viti a ricircolo di sfere offrono i seguenti vantaggi:

- drastica riduzione del coeff. di attrito tra le parti a contatto
- alto rendimento (95% contro 30% di viti a strisciamento), quindi bastano servomotori di minore potenza
- eccellente resistenza all'usura e lunga durata
- annullamento dei giochi mediante precarico e quindi alta precisione di posizionamento
- eliminazione dello stick-slip (funzionamento a strappi durante l'avvio)

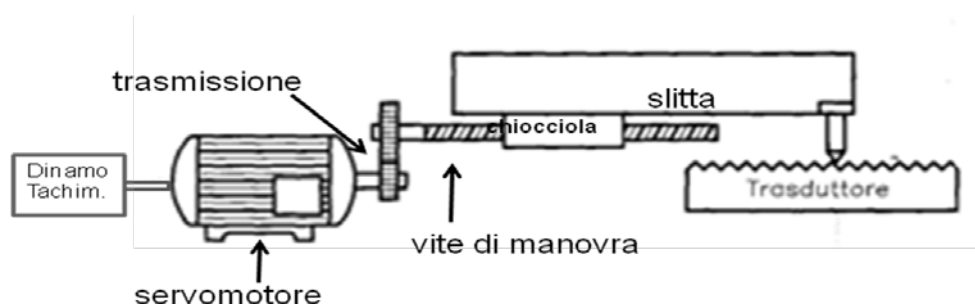
Il gioco si elimina usando viti con due semichioccioline contrapposte e un anello distanziatore intermedio. L'anello distanziatore è regolabile e spinge sulle sfere che vengono pressate contro la sede ricavata tra i filetti, annullando il gioco.

Semichioccioline

Anello distanziatore



La vite è supportata alle estremità da **due coppie di cuscinetti**. Una delle due coppie deve essere lasciata libera di scorrere assialmente, per compensare le dilatazioni termiche ed elastiche della vite che, se fossero impedito, causerebbero grandi sollecitazioni sui cuscinetti, rischiando di romperli. L'altra coppia di cuscinetti è a contatto obliquo (montaggio a X o a O) per poter reggere sia ai carichi assiali sia a quelli radiali.



Quando le corse degli assi sono molto lunghe (es. piallatrice) per la traslazione degli assi si impiega la coppia rochetto cremagliera invece della vite di manovra che, se troppo lunga, è soggetta a vibrazioni.

GUIDE

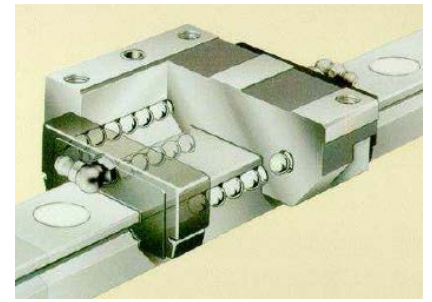
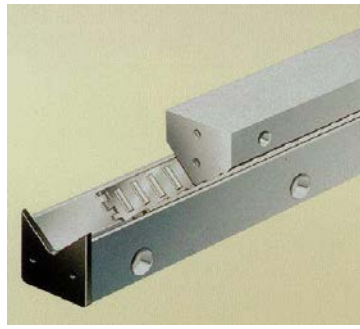
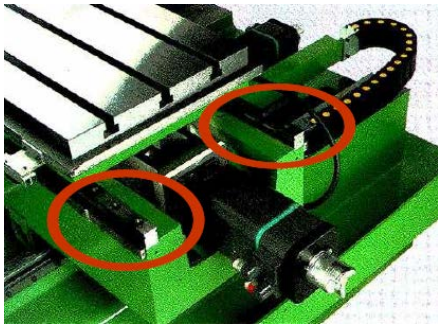
Mantengono la giusta direzione dello spostamento e perciò dalla **precisione delle guide** dipende la precisione di lavorazione.

Le guide devono essere **scorrevoli** per avere bassi coefficienti d'attrito, **dure** per resistere ad usura, **rigide** per evitare dannose vibrazioni.

Per ridurre l'attrito, oltre a lubrificarle, spesso si utilizzano guide di tipo volvente, oppure per le macchine più pregiate si usano guide a sustentazione idrostatica.

Le guide di tipo volvente riducono l'attrito da 10 a 400 volte rispetto alle guide a strisciamento tradizionali in ghisa, ma hanno il difetto che smorzano poco le vibrazioni e sono quindi inadatte per le grandi potenze.

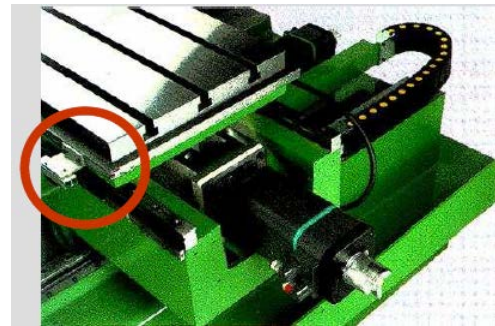
guida con gabbia di stanziatrice guida con pattini a sfere



Le guide a sustentazione idrostatica (olio in pressione tra guida e slitta) o pneumostatica (aria compressa tra guida e slitta) hanno i coefficiente d'attrito più basso di tutte e sono molto rigide, ma sono costose. Per macchine di grandi potenze, come i centri di lavoro, solitamente le guide sono a strisciamento di tipo prismatico in acciaio temprato, rettificato e ricoperte con materiale plastico antifrizione (turcite).

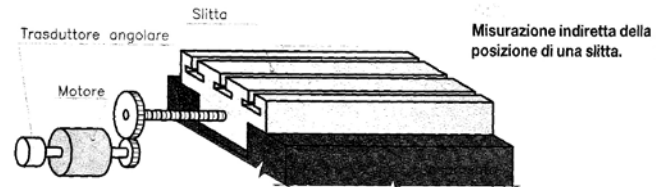
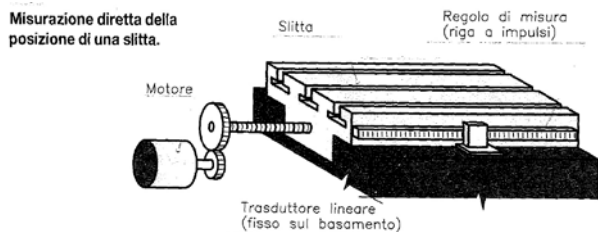
TRASDUTTORI

Sono gli elementi chiave del controllo numerico in quanto permettono di **rilevare la posizione e velocità delle slitte** con precisione almeno centesimale, affinché l'UdG possa correggerle in caso di errore. L'affidabilità della macchina, la precisione di lavorazione e la ripetibilità dei posizionamenti dipendono fortemente dalla **precisione dei trasduttori e dalla posizione** in cui essi vengono montati.



Ogni asse controllato presenta un trasduttore di posizione e uno di velocità. Il trasduttore di velocità è la dinamo tachimetrica, che fornisce in uscita una tensione elettrica proporzionale al numero di giri del motore. I trasduttori di posizione possono essere di due tipi: di tipo lineare, quando misurano una posizione o uno spostamento su un asse rettilineo, oppure di tipo rotativo, quando misurano una posizione o uno spostamento angolare.

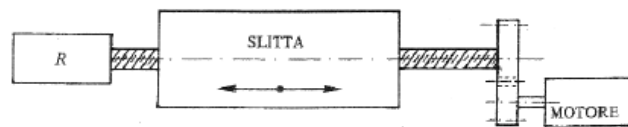
I trasduttori di tipo lineare (riga ottica o inductosyn lineare) sono molto più precisi perché sono montati direttamente sull'organo da controllare e quindi misurano direttamente la posizione della slitta (si parla di *misura diretta* della grandezza). Presentano però il problema di polveri, truciolo e fluidi da cui vanno protetti e sono più costosi.



I trasduttori di tipo rotativo (encoder a disco, resolver, inductosyn) sono molto meno precisi perché sono montati su un organo diverso da quello da controllare (sulla vite di manovra o sul motore) e misurano la posizione angolare di quell'organo. Risalgono poi alla posizione della slitta attraverso calcoli, essendo noti il numero di giri del motore, il rapporto di trasmissione con cinghia dentata e il passo della vite (*misura indiretta* della grandezza).

Tale sistema di misura è economico (un encoder rotativo può costare 50€ contro i 500€ di una riga ottica), ma è poco preciso perché risente di giochi, slittamenti, deformazioni termiche ed elastiche di tutti gli organi di trasmissione che si trovano tra il trasduttore e la slitta.

Il trasduttore rotativo può essere montato nella MU in varie posizioni a seconda dello spazio disponibile: è comunque preferibile inserirlo in asse con la vite piuttosto che col servomotore, per limitare le cause d'errore suddette.



Un'altra classificazione dei trasduttori li distingue in *assoluti o incrementali*.

I **trasduttori assoluti** danno il valore della misura attuale e della successiva sempre in riferimento ad una stessa origine prefissata. In pratica rilevano in qualsiasi momento la **posizione** della slitta rispetto ad un punto di riferimento fisso e predeterminato della macchina (*zero macchina*).

I **trasduttori incrementali** danno la misura attuale in riferimento alla precedente. In pratica rilevano lo **spostamento** effettuato a partire dalla posizione precedente: per conoscere la posizione della slitta occorre sommare lo spostamento misurato alla posizione precedente.

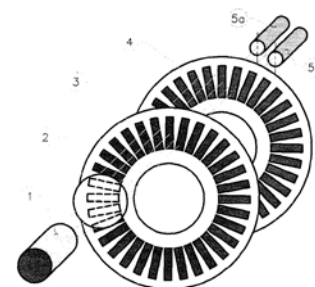
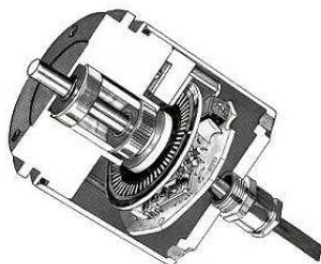
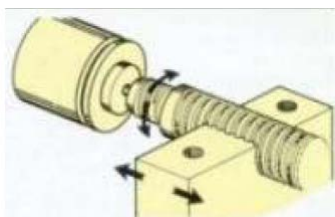
Utilizzando dei trasduttori incrementali, quando si accende la MUCNC il sistema non è in grado di stabilire l'esatta posizione della slitta perché non conosce la sua posizione di partenza. Nelle MUCNC che utilizzano trasduttori incrementali la prima operazione da effettuare è la procedura di azzeramento degli assi detta *zero home*: digitando un'apposita sequenza di tasti, le slitte si portano automaticamente sempre sullo stesso *punto di riferimento* della loro corsa, dove c'è un microinterruttore che invia al CN il segnale di presa origine. Da questo momento il CN conosce la posizione della slitta e può elaborare i segnali dei trasduttori.

I principali *trasduttori di posizione* usati sulle MUCNC sono: **encoder, inductosyn e revolver**. Mentre l'encoder è un trasduttore ottico, invece l'inductosyn e il revolver si basano sulle leggi dell'induzione magnetica.

I più diffusi sono gli encoder, che possono essere sia di tipo assoluto sia di tipo incrementale, sia rotativi, sia lineari (riga ottica).

Encoder a disco di tipo incrementale

encoder



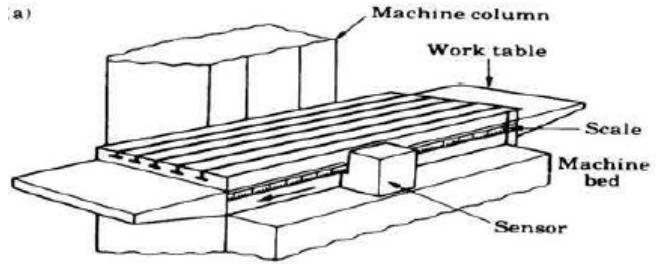
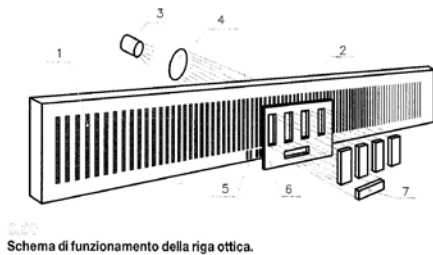
E' costituito da un disco trasparente (2) collegato al rotore del motore o alla vite di manovra. Il disco porta delle tacche annerite disposte in maniera regolare lungo la sua circonferenza alternate a tacche trasparenti di uguale larghezza. C'è una fotocellula fissa composta da una sorgente luminosa 1 (led) che invia fasci di luce ad un apposito ricevitore 5 (fotodiode o fototransistor) posizionato dall'altra parte del disco. Se il raggio di luce nel suo cammino intercetta una tacca annerita del disco rotante, al ricevitore non giunge alcun raggio e pertanto il fotodiode non genera alcun segnale (segnale tipo OFF); viceversa se il raggio di luce intercetta la tacca trasparente, al ricevitore giunge un impulso luminoso e il fotodiode invia un impulso di corrente (segnale tipo ON), ad un contatore di impulsi.

Contando il numero di impulsi e noto il passo angolare tra le tacche, si calcola la rotazione angolare compiuta dal disco e quindi dall'organo controllato (vite o motore).

Per poter distinguere anche il senso di rotazione, ci sono due ricevitori sfalsati di un quarto di passo angolare: a seconda del senso di rotazione l'impulso arriverà prima all'uno o all'altro fotodiode e ciò permetterà di distinguere il verso orario o antiorario della rotazione.

Riga ottica incrementale

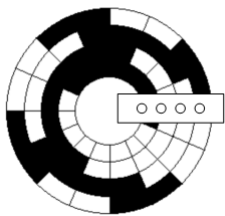
La riga ottica è la versione lineare del precedente encoder a disco. Il funzionamento lo stesso, ma il trasduttore si compone di un righello trasparente, su cui sono incise le tacche scure e quelle trasparenti, che è solidale alla guida. La fotocellula è invece solidale alla slitta della MU. Durante il moto della slitta il fascio di luce generato dal led attraversa un numero di tacche scure del righello proporzionale allo spostamento, generando un uguale numero di impulsi al ricevitore. Il contatore conta tali impulsi e risale alla posizione lineare della slitta.



Esercizio: calcolare lo spostamento della slitta corrispondente ad un solo impulso, in caso di encoder a disco montato sulla vite di manovra. Sul disco sono incise 1000 tacche, e la vite ha passo di 10 mm.

Soluzione: la filettatura è tale che alla rotazione di un giro della vite corrisponde uno spostamento lineare della slitta pari ad un passo della vite. Se il disco ha 1000 tacche scure, ad ogni impulso corrisponde una rotazione angolare di $1/1000$ di giro della vite, a cui corrisponde una traslazione della slitta pari al $\text{passo} \cdot 1/1000 = 10/1000 \text{ mm} = 0.01 \text{ mm}$. Con questo encoder la misura della posizione della slitta è centesimale.

Encoder a disco di tipo assoluto



Nella sua versione assoluta l'encoder a disco è suddiviso in piste e settori, in modo da realizzare un reticolo che viene annerito secondo una codifica binaria. Il trasduttore presenta tante fotocellule quante sono le piste: ciascuna fotocellula trasmette al contatore un segnale di tipo ON-OFF (0 o 1) a seconda che il raggio di luce corrispondente intercetti una zona trasparente o scura del disco.

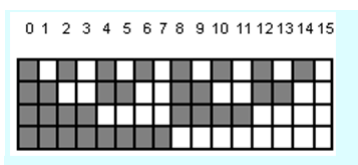
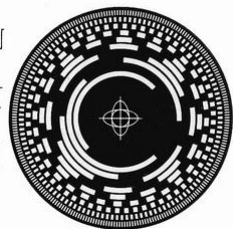
Ad es. con 4 piste e 4 fotocellule si possono generare i segnali binari di 4 bit
0000 0001 0010 0011 01001111

Ad ogni segnale binario corrisponde una certa posizione angolare del disco.

L'UdG conosce quindi direttamente la posizione del disco, indipendentemente dalla posizione precedente (trasduttore assoluto).

Con 4 piste si possono codificare 2^4 posizioni; più in generale con n piste e n fotocellule si codificano 2^n posizioni. Più piste e fotocellule ci sono più alta è la risoluzione dell'encoder (usati fino a 14 bit pari a 16384 posizioni angolari, per una risoluzione di circa 0.02°).

L'encoder assoluto ha il vantaggio di non perdere informazioni in caso di mancanza dell'alimentazione, ma è più costoso di quello incrementale e non può essere usato per misure di velocità



Esiste anche la versione assoluta della riga ottica. La riga è divisa in un reticolato annerito secondo codifica binaria, letta otticamente da un numero di fotocellule pari al numero delle righe del righello (in fig. n=4)

Designazione ISO degli assi controllati

Gli assi di una MUCNC rappresentano le direzioni di avanzamento o di rotazione delle sue parti mobili (slitte e tavole rotanti) e costituiscono il sistema di riferimento Oxyz utilizzato per le **coordinate di programmazione**.

Gli assi principali di traslazione sono designati con le lettere maiuscole X Y e Z.

Gli assi principali di rotazione sono designati con le lettere maiuscole A, B, C.

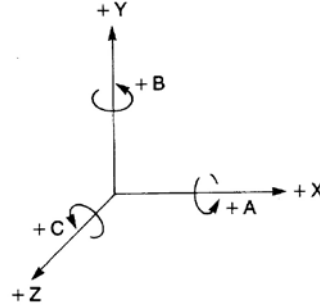
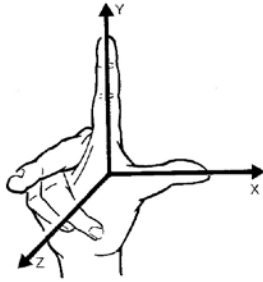
I costruttori indicano con targhette apposte sulle MU le direzioni ed i versi di tutti gli assi di traslazione e rotazione disponibili nella macchina.

La designazione degli assi controllati è riportata nella norma **UNI ISO 841**.

1° regola ISO: il primo asse che si individua è l'asse **Z** e corrisponde all'asse di traslazione **parallelo a quello del mandrino** (portapezzo nei torni, portautensili nelle fresalesatrici, portamola nelle rettificatrici...). Il verso positivo è quello che provoca un allontanamento tra il pezzo in lavoro e l'utensile.

2° regola ISO: l'asse **X** è **orizzontale** e parallelo alla superficie di fissaggio del pezzo; qualora ci siano due assi orizzontali, l'asse X è quello principale. Il verso positivo è ancora quello di allontanamento tra il pezzo e l'utensile (ad es. nel tornio è la direzione di spostamento trasversale della torretta, mentre nella fresatrice è la direzione dell'avanzamento longitudinale della tavola).

3° regola ISO: l'asse **Y** è perpendicolare a X e a Z. Il verso è quello che genera una terna destrorsa. Si determina con la regola delle 3 dita della **mano destra** (disposte perpendicolarmente tra loro): il pollice si dispone lungo l'asse X, il medio lungo l'asse Z e l'indice risulterà diretto secondo Y.



Il tornio è una MUCN a 2 assi adatta alla lavorazione di pezzi assialsimmetrici. Il moto di taglio è conferito al mandrino portapezzo, il moto di avanzamento e di registrazione sono posseduti dall'utensile.

Nel tornio l'asse **Z** è la **direzione dell'avanzamento longitudinale della torretta** portautensili, mentre l'asse **X** è la **direzione dello spostamento trasversale** della torretta. Solitamente la torretta è dalla parte opposta rispetto all'operatore per rendere la macchina più accessibile all'operatore.

Tutta la macchina è contenuta da una carteratura che, oltre a migliorare l'aspetto estetico, protegge l'operatore da schizzi di trucioli e di liquidi di lavoro.

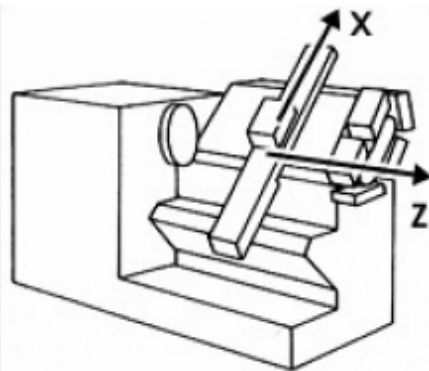
Il basamento è inclinato per favorire lo smaltimento dei trucioli nella vasca: data l'alta produttività se i trucioli abbondanti non venissero smaltiti velocemente riscalderebbero la struttura deformandola.

La torretta portautensili è a disco e può caricare contemporaneamente anche più di 20 utensili. Ogni utensile è bloccato sul suo portautensile, che a sua volta è fissato sul disco della torretta.

La torretta ha una sua motorizzazione indipendente gestita dall'UdG per il cambio utensile automatico.

Il mandrino portapezzo può essere a morsetti o a pinza; solitamente è di tipo idraulico o pneumatico per il serraggio automatico del pezzo. I morsetti vengono stretti o allargati da un cilindro oleodinamico azionato dal CN, che adegua la forza di serraggio alla v_t .

La contropunta avanza sulle guide del bancale con un proprio servomotore azionato dall'UdG, fino ad avvicinarsi al pezzo in lavoro. Per bloccare il pezzo avanza il cannotto della contropunta, mosso da un cilindro oleodinamico: può essere azionato con pulsante dall'operatore in caso di fissaggio del pezzo manuale, oppure comandato direttamente dal programma in caso di fissaggio del pezzo automatico.



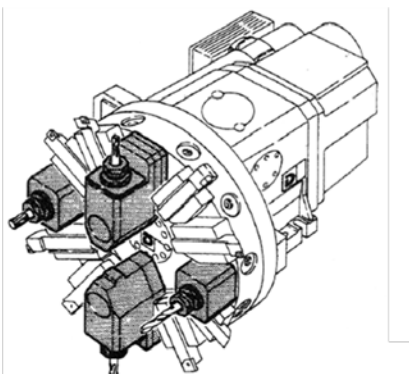
TORNIO



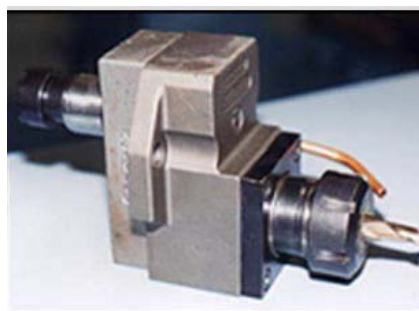
mandrino



torretta con 12 utensili di cui 4 motorizzati



utensile motorizzato



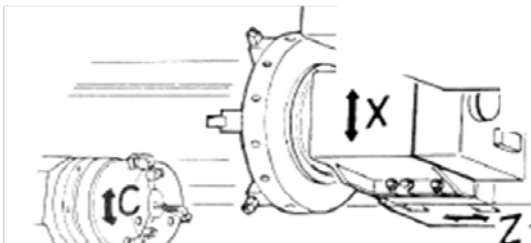
Un tornio CNC può essere dotato di utensili motorizzati: punte elicoidali, frese, maschi, creatori, alesatori, barenì... **Con gli utensili motorizzati è possibile realizzare al tornio fresature, scanalature e fori in qualsiasi posizione.**

Quando lavorano gli utensili motorizzati il pezzo deve essere fermo in una posizione angolare ben precisa. Perché ciò sia possibile occorre che il mandrino sia un asse controllato, ovvero che ci sia un encoder montato sul mandrino.

4° regola ISO: gli assi principali di rotazioni si indicano con A, B, C.

A è l'asse di rotazione parallelo a X, B è parallelo a Y e C è parallelo a Z.

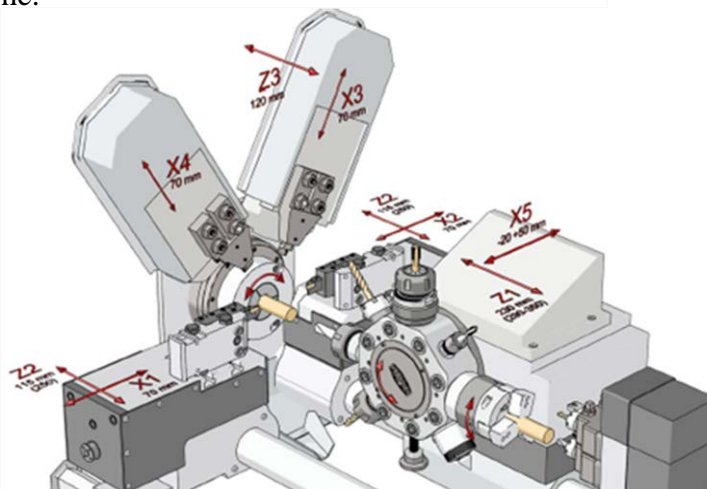
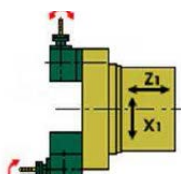
Per quanto detto **il mandrino di un tornio con utensili motorizzati è l'asse C.**



Rispetto ad un tradizionale ciclo di lavoro che richiederebbe più piazzamenti (ad es. prima al tornio e poi alla fresatrice), con gli utensili motorizzati si riducono i tempi di lavoro ed aumenta la precisione, perché la lavorazione si completa in un solo piazzamento.

Il centro di tornitura rappresenta l'evoluzione del tornio CNC. Rispetto al tornio è più produttivo e più preciso perché ha molti assi controllati e permette di finire pezzi anche molto complessi con un unico piazzamento. Un centro di tornitura presenta le seguenti caratteristiche:

- ✓ almeno due torrette
- ✓ un contromandrino
- ✓ magazzino con centinaia di utensili
- ✓ utensili motorizzati
- ✓ sostituzione utensile automatico
- ✓ cambio pezzo automatico
- ✓ elettromandrino



Con 2 o più torrette: più utensili possono lavorare contemporaneamente il pezzo. Ciò consente di aumentare la produttività, perché diminuiscono i tempi morti, e di disporre di più utensili sulle torrette.

Naturalmente **tutti gli avanzamenti di tutte le torrette sono assi controllati**.

5° regola ISO: gli assi di traslazione secondari si indicano con U (//X), V (//Y), W (//Z).

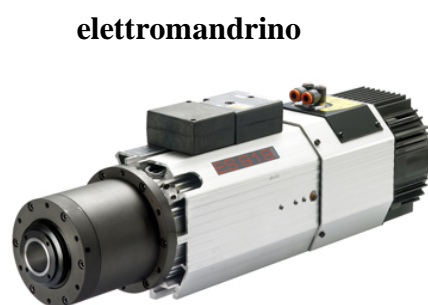
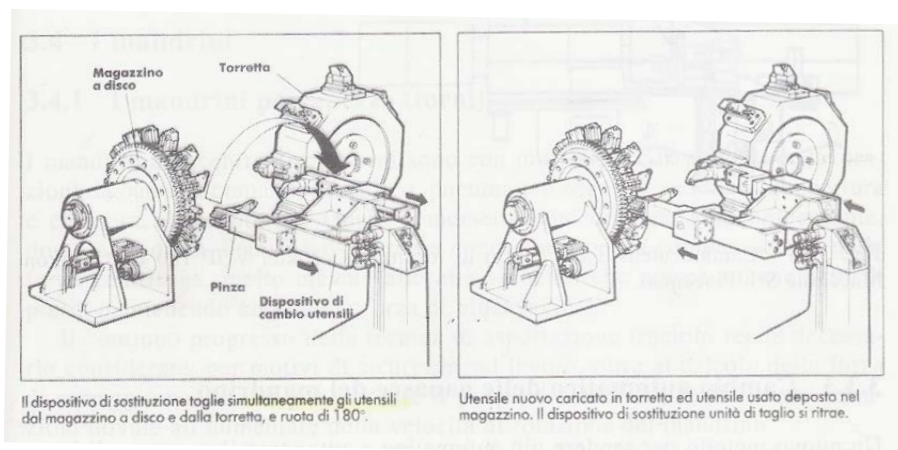
Il **contromandrino** permette di lavorare sullo stesso piazzamento un pezzo con **diametro a scalare da tutte e due le parti**: prima il pezzo è bloccato sul mandrino a sinistra e viene lavorato a destra, poi il contromandrino avanza (**l'avanzamento del contro mandrino è un asse controllato**) fino al pezzo, lo aggancia, quindi il pezzo si sgancia dal primo mandrino, il contromandrino col pezzo arretra e il pezzo viene lavorato a sinistra. Sincronizzando le rotazioni dei due mandrini è possibile la presa al volo del pezzo (senza fermarlo).

Se le rotazioni di entrambi i mandrini sono assi controllati, è possibile il passaggio con posizione angolare del pezzo controllata. Questo è importante nel caso che il pezzo richieda lavorazioni con utensili motorizzati da tutte e due le parti.

I centri di tornitura sono dotati di magazzini con anche più di 100 utensili. Il magazzino è disposto accanto, sopra o dentro alla macchina. La sostituzione degli utensili avviene in modo automatico mediante un braccio robotizzato a due pinze.

Alcuni magazzini sono dotati di memoria, altri no. Se il magazzino non ha memoria, gli utensili dopo essere stati utilizzati vanno riposti sempre nella stessa posizione numerata e riconosciuta dal CN.

Se il magazzino è dotato di memoria gli utensili possono invece scambiarsi di posto all'interno del magazzino (gestione random). Questo è il caso più diffuso.

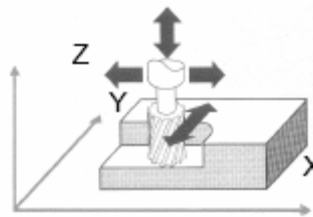


L'**elettromandrino** è un mandrino ad accoppiamento diretto con il motore elettrico: il rotore del motore è attaccato all'albero mandrino mediante adesivi o opportuni accoppiamenti. Ciò semplifica la struttura della MUCNC perché mancano alcuni organi di trasmissione, permettendo di ottenere **grande rigidità della testa motrice**, con conseguente buona precisione di lavoro. L'elettromandrino è sempre indispensabile per lavorazioni ad alta velocità ($n > 10000$ rpm).

La **fresatrice** è una MU in cui il moto di taglio è rotatorio e affidato all'utensile montato sul mandrino, mentre il moto di avanzamento è dato alla tavola portapezzo. Nelle fresatrici a CNC l'avanzamento verticale è posseduto dalla testa motrice, a differenza di quanto avviene sulle fresatrici tradizionali, dove è la tavola portapezzo a spostarsi lungo guide verticali. Alla fresatrice si eseguono varie lavorazioni: spianatura,



profilatura, fori, maschiatura, alesatura, svasatura, cave, scanalature, utensili e anche ruote dentate e profili scanalati.



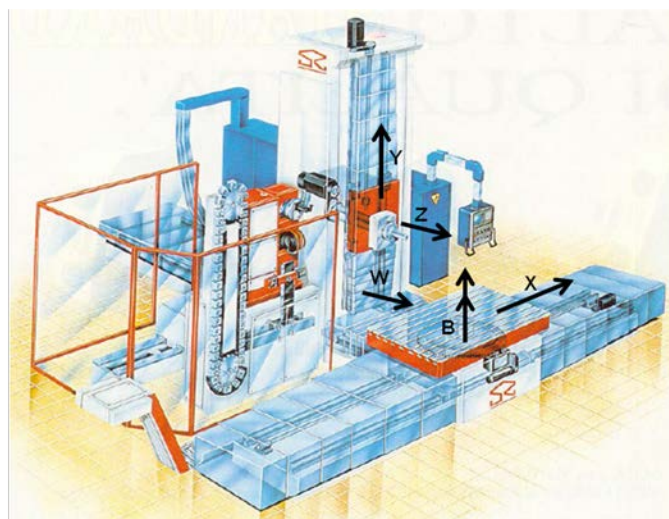
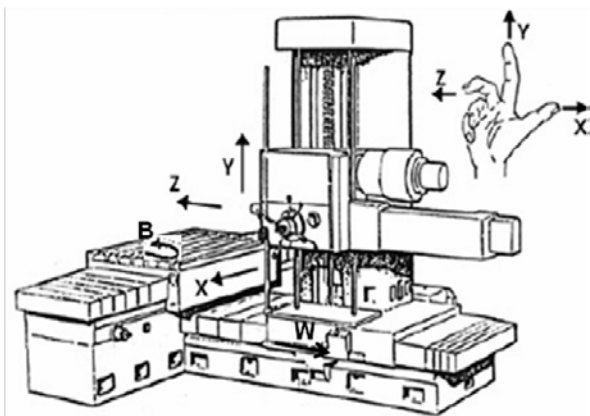
La fresatrice ha **3 assi controllati**. Applicando le regole ISO si assegna il nome ad ogni asse.

L'asse Z (traslazione // mandrino) è la direzione dello spostamento verticale della testa motrice; l'asse X (traslazione principale orizzontale) è la direzione dell'avanzamento longitudinale della tavola portapezzo, l'asse Y (regola mano destra) è la direzione dello spostamento trasversale della tavola.

Alcune fresatrici (fresatrici a 3 assi) possono controllare contemporaneamente tutti e tre gli assi, e quindi possono comandare l'utensile su una qualsiasi traiettoria nello spazio eseguendo lavorazioni in 3D con frese raggiate.

Altre fresatrici (fresatrici a 2 e ½ assi), durante il taglio controllano simultaneamente solo due assi, mentre utilizzano il terzo per definire la profondità di passata. Con tale tecnica si possono effettuare lavorazioni a terrazze ottenendo una parvenza di tridimensionalità.

L'alesatrice



L'alesatrice è una MU **molto versatile e molto precisa**: oltre a tutte le lavorazioni di **fresatura** (frese frontali) si eseguono anche tutte le lavorazioni dei **fori** (**barenatura**, alesatura..) con estrema precisione. La grande precisione di lavorazione dell'alesatrice è dovuta anche ai molti assi controllati, che permettono di minimizzare il numero di piazzamenti del pezzo.

L'alesatrice CNC presenta **5 assi** controllati.

Applicando le prime 3 regole ISO ne segue che l'asse Z è l'avanzamento del mandrino; l'asse X è l'avanzamento longitudinale della tavola, l'asse Y è la traslazione verticale della testa motrice.

La **tavola rotante** (asse B perché // Y) permette di lavorare il pezzo su tutte le facce laterali con lo stesso piazzamento.

L'**avanzamento del mandrino** (asse Z) permette di lavorare anche zone in sottosquadro.

L'avanzamento trasversale del montante, essendo // asse del mandrino (Z) è l'asse W. Altre volte il montante è fisso e l'avanzamento trasversale è dato alla tavola portapezzo.

Centro di lavoro

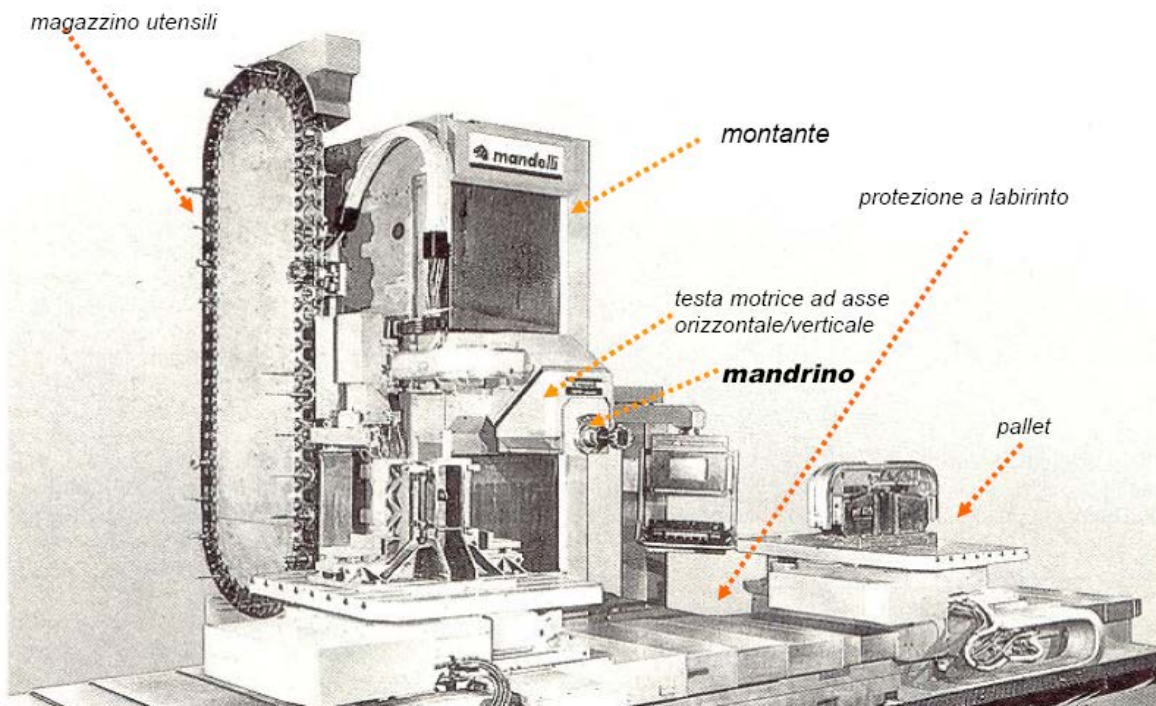
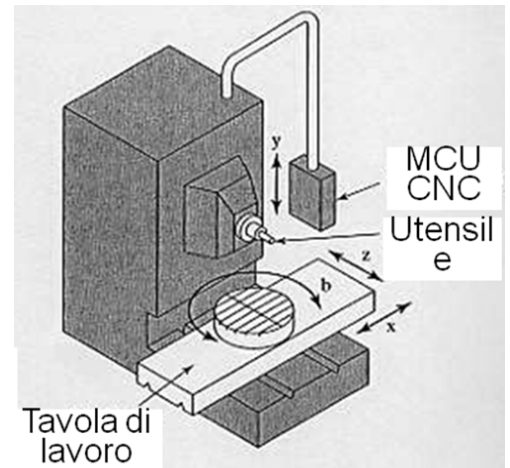
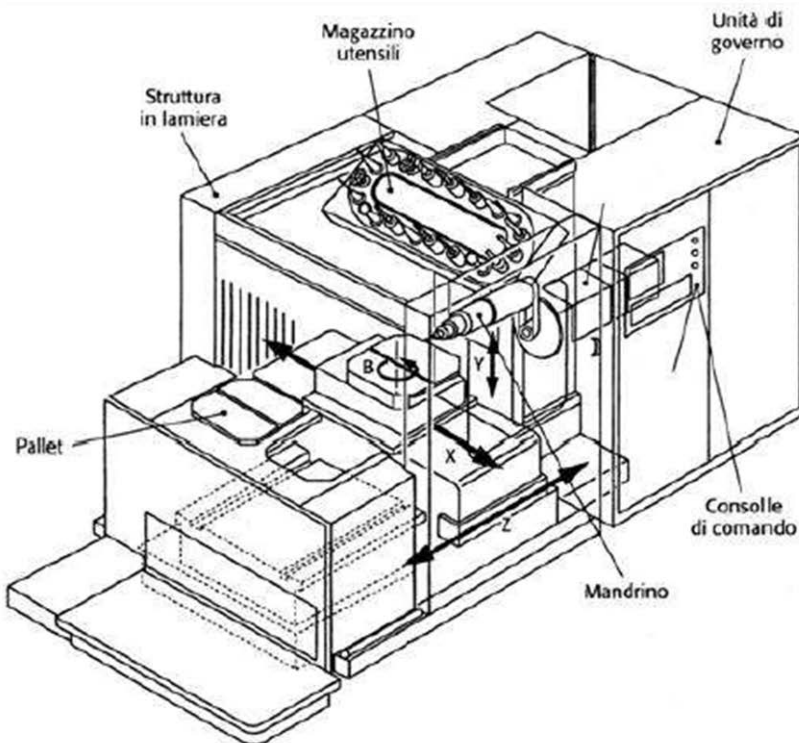
Il centro di lavoro rappresenta l'evoluzione di una fresatrice/alesatrice: è una MUCNC multifunzione in grado di spianare, fresare, forare, alesare, filettare..

Un centro di lavoro completa un pezzo di forma molto complessa con un solo piazzamento, perché possiede una **tavola rotante** ed una **testa "over"** (cioè ribaltabile per poter lavorare sia col mandrino orizzontale sia col mandrino verticale), che insieme permettono di lavorare il pezzo su 5 facce (quelle laterali più quella superiore). Inoltre ha un grande **magazzino utensili** (da qualche decina fino a max 200 utensili) che permette le più svariate lavorazioni. A volte è presente un secondo magazzino per la sostituzione degli utensili usurati senza bisogno di interrompere la lavorazione.

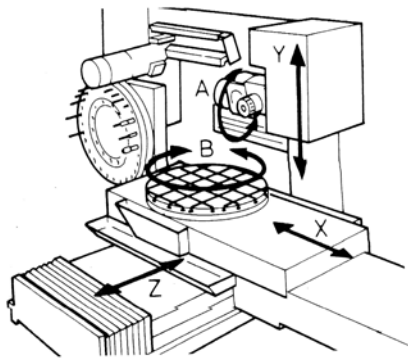
I tempi morti di sostituzione dell'utensile e di carico e scarico del pezzo sono quasi completamente eliminati mediante **dispositivi automatici di cambio utensile e di cambio pallet** (il pallet è una tavola su cui viene fissato il pezzo con attrezzature ad hoc).

La potenza disponibile al mandrino è molto alta (7/40 kW). Il mandrino può essere orizzontale (più comune) o verticale. A volte la testa motrice è semplicemente ribaltabile e quindi a due sole posizioni (mandrino orizzontale, mandrino verticale); altre volte anche la rotazione della testa motrice è un asse controllato e si può inclinare l'utensile in maniera ottimale (centro di lavoro a 5 assi). Altre volte ancora è la tavola portapezzo ad essere inclinabile (tavola basculante).

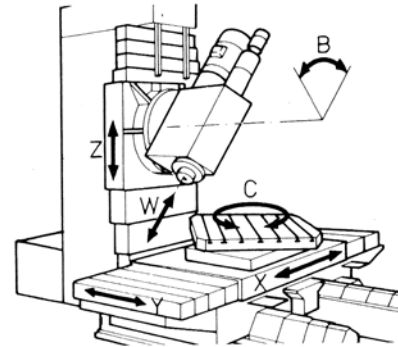
Un centro di lavoro ha almeno **4 assi**.



Un centro di lavoro può avere 5, 6 o più assi.

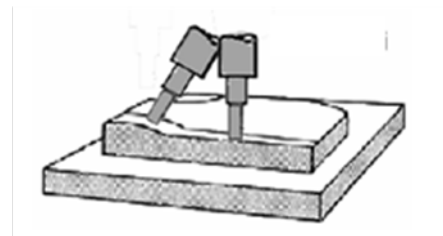
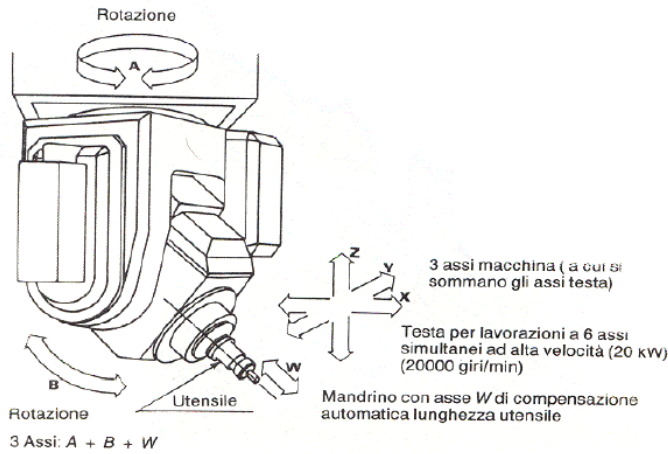


Centro di lavoro a 5 assi



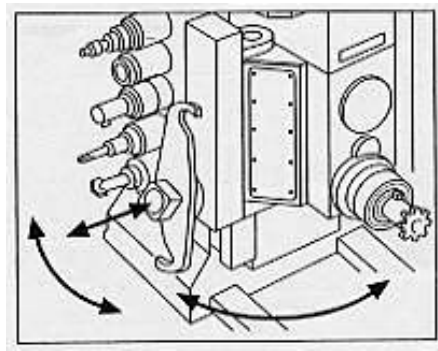
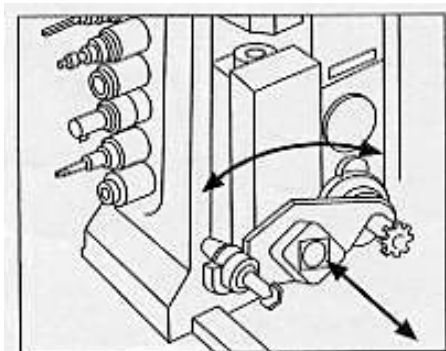
Centro di lavoro a 6 assi

Con una testa motrice orientabile si può disporre l'utensile tangente alla superficie in lavoro



Il centro di lavoro è sempre dotato di un grande **magazzino utensili** che contiene decine/centinaia di utensili (max 150-200 utensili). Ciò garantisce grande produttività e flessibilità perché **si minimizzano i tempi morti** di lavorazione dovuti alla sostituzione dell'utensile sia nella lavorazione di pezzi complessi sia nelle lavorazioni di pezzi molto diversi tra loro.

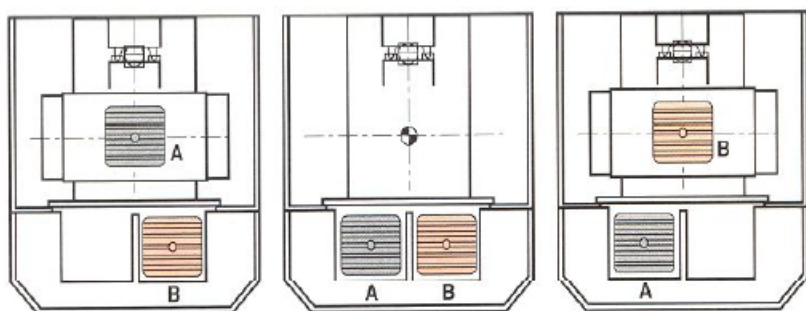
Con i sistemi ATC (**cambio utensile automatico**) il tempo di sostituzione dell'utensile presente sul mandrino con quello necessario alla lavorazione successiva e presente in magazzino possono ridursi fino a 5 secondi. Il sistema ATC prevede un braccio scambiatore dotato di vari movimenti e di due pinze che afferrano gli utensili da scambiare.



Dopo aver sostituito il nuovo utensile sul mandrino, il braccio scambiatore deposita il vecchio utensile in magazzino.

Il centro di lavoro è dotato anche di un sistema di **cambio pezzo automatico**. Ciò consente di minimizzare i tempi morti e di eseguire la lavorazione in turni non presidiati. I pezzi sono montati su tavole di lavoro standardizzate (*pallet*) che possono essere manipolate da un sistema automatico di movimentazione. Il caricamento di un nuovo grezzo su pallet viene fatto da operatore o robot, in tempo mascherato.

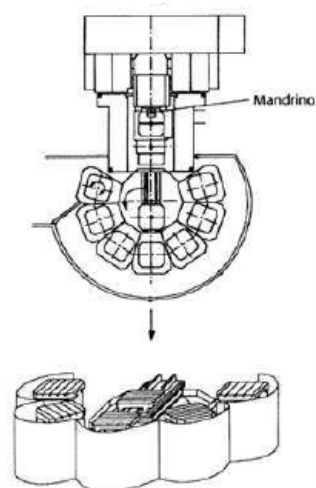
Il centro di lavoro è dotato di due tavole portapezzo, che possono lavorare in pendolare. Esistono anche sistemi a giostra con 3-6 pallet, che consentono un maggior tempo di autonomia alla MUCNC.



Lavorazione su pallet A
Pallet B stazione di attesa con carico e scarico

Cambio pallet da A a B

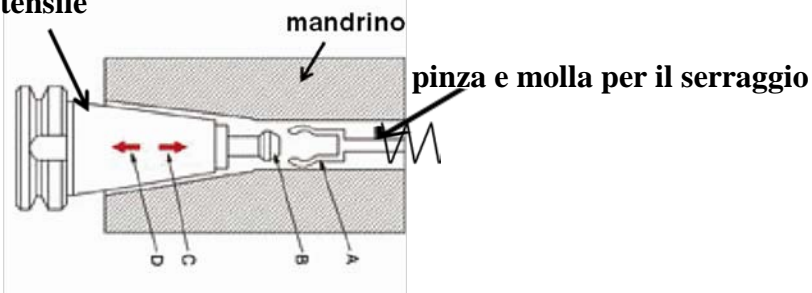
Lavorazione su pallet B
Pallet A stazione di attesa con carico e scarico



Quando un pezzo è molto ingombrante i due pallet possono essere sincronizzati e utilizzati come una tavola unica più grande.

Il **mandrino** di un centro di lavoro deve fornire prestazioni elevatissime in quanto deve lavorare sia con elevate coppie a basse velocità sia con basse coppie ad elevate velocità. È realizzato in acciaio legato ad alta resistenza (niturato) e montato su cuscinetti di spinta e radiali di elevatissima precisione. Ha una **sede conica che fa da guida per l'innesto del portautensile**. All'interno del mandrino c'è un dispositivo a pinza per il bloccaggio automatico del portautensile, con una forza di tenuta di 10/15 kN. Lo **sbloccaggio** dell'utensile è di solito **idraulico o pneumatico**.

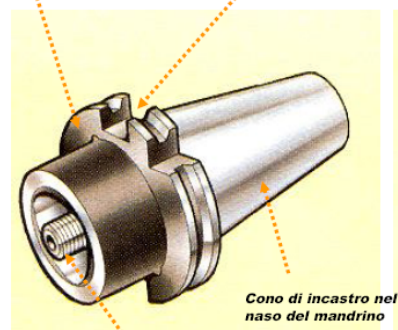
portautensile



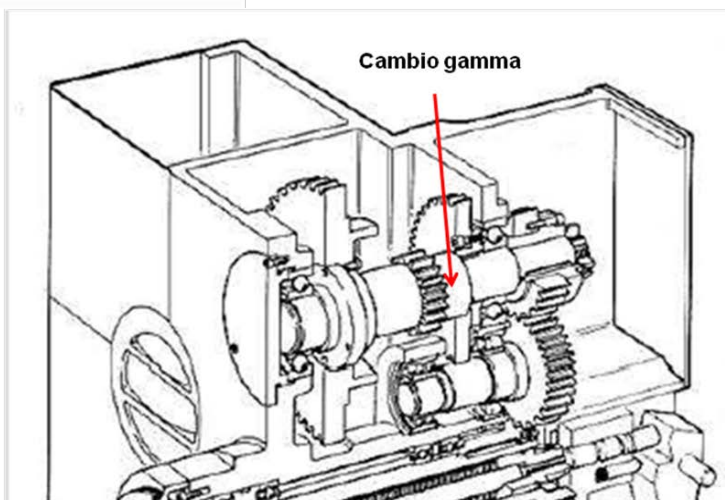
Collare di aggancio per la pinza del cambio utensile

dispositivo di bloc

incastro di traino



Cambio gamma

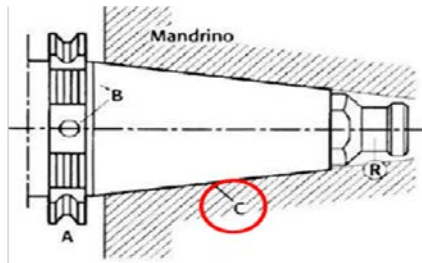


L'utensile viene montato sul portautensile, che è la parte che:

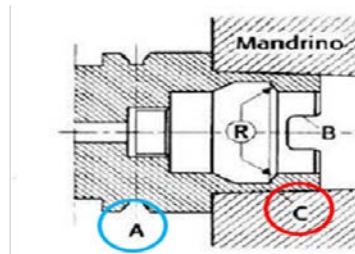
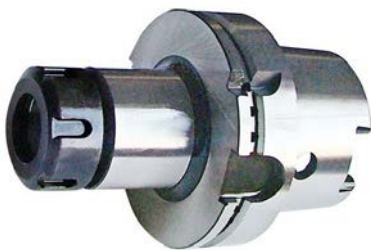
- viene manipolata dallo scambiatore di utensili
- regge l'utensile nel proprio magazzino
- permette l'inserimento nel mandrino
- contiene chip o etichette con codici a barre per la memorizzazione dei dati dell'utensile stesso (lavorazione eseguibile, nome identificativo, dimensioni effettive, vita residua)

E' disponibile in due versioni standardizzate: **ISO (basse velocità), HSK (alte velocità)**

Tipo ISO



Tipo HSK



In entrambi i casi si distinguono due parti principali: una tronco conica con flangia, per il collegamento al mandrino (a destra); un'altra (a sinistra) per alloggiare l'utensile.

La parte tronco-conica C si adatta al foro conico presente sul mandrino e permette un corretto centraggio dell'utensile rispetto all'asse mandrino.

La flangia A ha una scanalatura a V che facilita la manipolazione del portautensile nel magazzino.

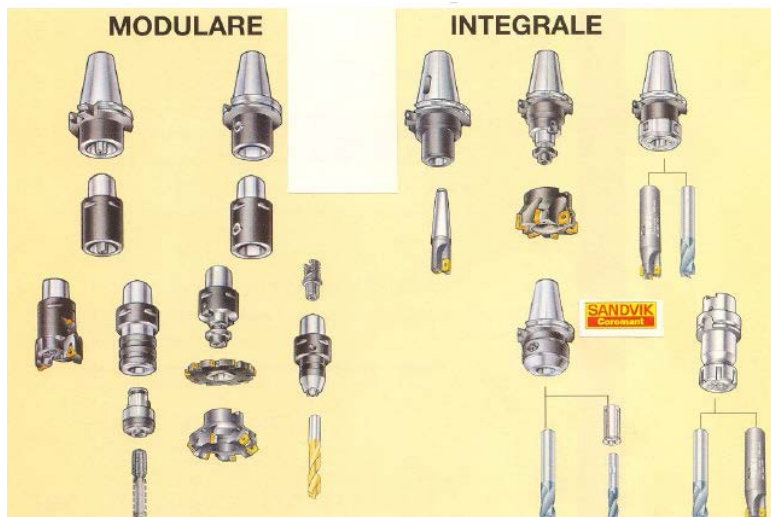
Tipo ISO: è il tipo più comune per velocità fino max 10000 rpm

Tipo HSK si utilizza sulle macchine ad alta velocità fino a circa 40000 rpm, perché più rigido, più leggero e più sicuro rispetto all'attacco ISO.

La maggior parte di **portautensili** è di **tipo modulare** (composti da più elementi combinabili in maniere diverse, per ottenere portautensili di diametri e lunghezze differenti).

Ciò consente di diminuire il numero complessivo di utensili presenti in magazzino.

Alcuni utensili per grossatura sono di tipo integrale, perché più rigidi.



Spesso sui centri di lavoro si impiegano **elettromandrini**, che sono più rigidi e precisi dei comuni mandrini.

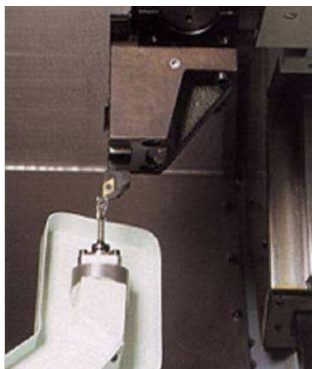
Presetting

Presetting è l'operazione di misura e/o regolazione degli utensili.

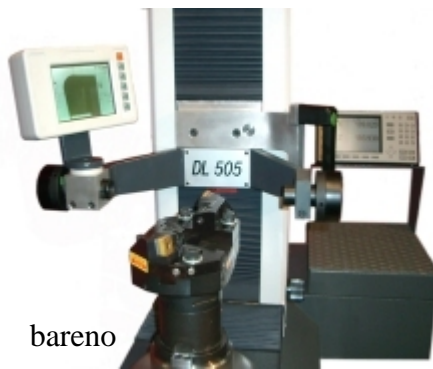
Il presetting va eseguito prima di depositare l'utensile in magazzino.

Può essere effettuato in sala utensili (tool room) su specifiche macchine di misura, oppure direttamente sulla macchina prima di iniziare la lavorazione utilizzando appositi utensili tastatori.

registrazione in macchina



presetting in tool room



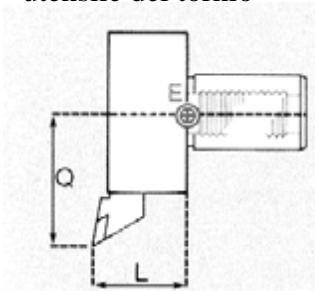
bareno

Nel presetting si misurano le **sporgenze dell'utensile** dal punto E del portautensile, detto punto di zero utensile (tool setting point).

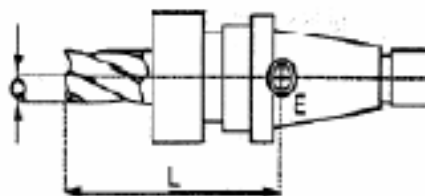
Con gli utensili del tornio si misurano le sporgenze lungo X e lungo Z.

Con gli utensili montati sul mandrino (frese, punte..) si misurano il raggio e la lunghezza dell'utensile.

utensile del tornio



utensile sul mandrino (punte, frese, alesatori..)



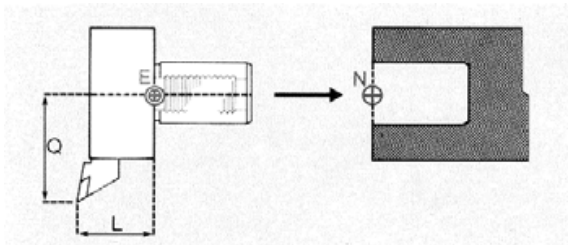
Tali dati vengono registrati nella memoria del CN e recuperati nel momento del loro utilizzo, durante l'esecuzione del programma pezzo.

Tale inserimento dati può essere effettuato manualmente (sconsigliato perché è facile incorrere in errori), da rete o con floppy disk, con un **chip** inserito nella flangia del portautensile o mediante etichette sul portautensile con codici a barra lette otticamente in macchina.

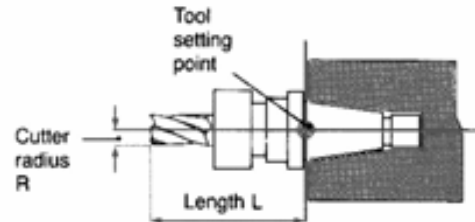
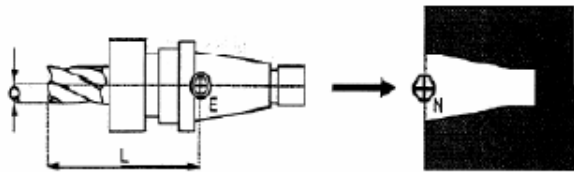
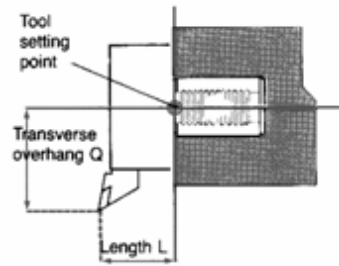


Il punto E del portautensile è quel punto che, quando il portautensile è montato, si sovrappone al **punto N** controllato dal CN sulla torretta (tornio) o sul mandrino (fresatrice).

Al tornio il punto N controllato dal CN è posizionato sulla superficie del disco della torretta, in corrispondenza dell'asse del foro per il portautensili.



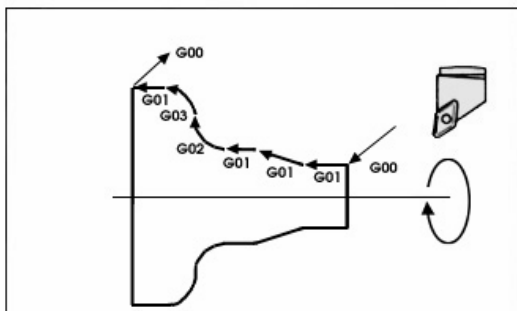
Alla fresatrice il punto N controllato dal CN è posizionato sul naso del mandrino, in corrispondenza dell'asse di rotazione.



Il presetting viene eseguito per poter **rendere il programma pezzo indipendente dalle dimensioni degli utensili impiegati** (che anche per lo stesso utensile cambiano in seguito ad usura).

Infatti il programmatore programma il percorso della *punta dell'utensile*, senza conoscere le dimensioni degli utensili impiegati.

Il CN va a leggere tali dimensioni negli appositi indirizzi di memoria (detti **correttori utensili**) e adegua di conseguenza gli spostamenti delle slitte degli assi di avanzamento, per tener conto della diversa lunghezza dei vari utensili.



Perché la punta dell'utensile si sposti secondo lo stesso percorso, le slitte devono muoversi in maniera diversa a seconda della lunghezza dei vari utensili. Il CN deve quindi conoscere tali dimensioni.

Presetting in sala utensili

Si effettua in apposito locale detto tool room su macchine a proiettori di profili, e comprende:

- Il montaggio nel portautensile
- La misura delle sporgenze dell'utensile
- Il controllo dello stato dell'utensile (usura e vita residua)
- La memorizzazione dei correttori.

Vantaggio: no tempi morti

Svantaggio: meno preciso, perché lo stato di usura dell'utensile non è aggiornato prima di ogni lavorazione.

Registrazione in macchina

L'operazione di misura e/o regolazione degli utensili si esegue direttamente in macchina, prima di iniziare ogni nuova lavorazione.

Si utilizzano utensili tastatori montati su apposita sonda.

Esistono anche tastatori senza contatto fisico, che utilizzano un fascio laser.

Svantaggio: **tempi morti**

Vantaggi:

- **molto preciso**, perché lo stato di usura dell'utensile è aggiornato prima di ogni lavorazione: il CN esegue automaticamente la correzione della quota impostata nel programma per tener conto del consumo degli utensili
- si può tenere in memoria il tempo di utilizzo dell'utensile e programmare così la **sostituzione automatica dell'utensile per esaurimento del tagliente**;
- si possono usare gli stessi utensili tastatori anche per **misurare il pezzo**, grezzo o finito

➤ si possono usare gli stessi utensili tastatori anche per la funzione di **autoapprendimento**: un pezzo di geometria complessa e non nota viene “scansionato” per generare in automatico il percorso utensili.

Specifiche fornite dal costruttore (SPECIFICHE X ACQUISTO)

Cubo di lavoro corrispondente alle dimensioni della zona dove il mandrino può operare secondo gli assi X, Y e Z.

Posizione del mandrino (orizzontale o verticale).

Numero di assi controllati e max velocità di avanzamento in rapido.

Precisione di posizionamento e ripetibilità.

Potenza al mandrino e campo dei regimi di rotazione.

Tipo e dimensioni di attacco portautensili.

Tipo di magazzino e le sue caratteristiche tecniche.

Presenza o meno del dispositivo per cambio pallet.



Spark

(clicca sulla foto)

Mandrino: testa orizzontale / orizzontale-verticale / continua

pallet 630x800 ÷ 800x800 mm

tavole girevoli 800x1.000 ÷ 1.000x1.250 mm

longitudinale (X): 1.300 ÷ 1.600 ÷ 2.000 mm

verticale (Z): 1.050 ÷ 1.400 ÷ 1.800 mm

trasversale (Y): 1.100 ÷ 1.400 ÷ 1.700 mm

CNC: Fanuc o Siemens

potenza mandrino 63 ÷ 70 kW

rapidi assi: 50 m/1'

giri max mandrino: 8.000 (cono ISO) ÷ 12.000 ÷ 14.000 ÷ 24.000 rpm HSK 100

magazzino utensili: rack da 100 ÷ 200 ÷ 290 ÷ 316 posti

Confronto tra la struttura meccanica di una MU tradizionale e di una MUCN

La struttura elettromeccanica di una MUCN si è modificata rispetto a quella di una MU tradizionale, soprattutto relativamente al sistema di posizionamento dell'utensile. La differenza più evidente è costituita dall'assenza di meccanismi di intervento umano (leve, volantini, maniglie..).

MU TRADIZIONALE

- potenza max di circa 5kW
- velocità di rotazione del mandrino 2500 rpm
- spostamenti manuali con leve, volantini..
- motore unico più cambio discreto a ingranaggi
- guide in ghisa temprate a induzione e rettificate

- viti di manovra strisciamento
- utensili in HSS e widia
- cambio e registrazione manuale di utensili

- cambio manuale del pezzo
- bancale a guide orizzontali

- controllo manuale dimensioni del pezzo
- lavorazione a vista con schermo protettivo solo nella zona di taglio

MUCNC

- potenza max di circa 40 kW
- velocità di rotazione 5000 rpm
- spostamenti automatici motorizzati
- un servomotore indipendente per ogni movimento
- guide volventi, idrauliche, a strisciamento in acciaio, rettificate e ricoperte con turcite
- viti di manovra a rotolamento
- utensili a inserti in widia o ceramici
- cambio e registrazione automatica utensili, con grande magazzino utensili
- cambio automatico o semiautomatico del pezzo
- bancale più rigido e a guide inclinate per favorire lo smaltimento dei trucioli
- controllo automatico dimensioni pezzo
- lavorazione in ambiente isolato da esterno mediante opportuna carteratura
- trasduttori per il controllo in retroazione
- presenza della sezione elettronica (UdG)

A cosa è legata la grande precisione di una MUCNC?

- ✓ Utensili a inserti: (alte velocità di taglio per miglior finitura; minor usura)
- ✓ Pochi piazzamenti, grazie ai molti assi controllati e ai grandi magazzini utensili
- ✓ Struttura molto rigida, con minime vibrazioni e giochi (basamento, viti di manovra volventi, guide volventi, elettromandrini, motori lineari..)
- ✓ Qualità dei trasduttori (precisione almeno centesimale e misurazioni dirette)
- ✓ Finezza di interpolazione delle funzioni G01, G02, G03
- ✓ Sincronizzazione degli assi

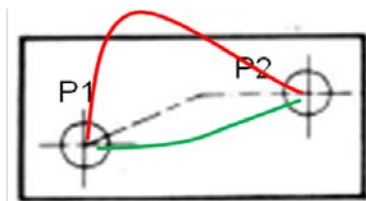
A cosa sono legati i bassi costi di produzione di una MUCNC?

- ✓ Poca manodopera, anche poco specializzata
- ✓ Grande produttività, date le grandi potenze, le alte velocità di taglio e di posizionamenti in rapido
- ✓ Ottimizzazione del ciclo di lavoro e minimizzazione dei tempi morti (cambio utensile, cambio pezzo, pochi piazzamenti, più torrette..)

Classificazione dei CN

Si distinguono tre tipi di controllo: CN Punto a punto; CN parassiale; CN continuo

CN punto a punto



La traiettoria con cui l'utensile si sposta da un punto di lavoro all'altro non è controllata. Solo i successivi punti di lavoro P1, P2, P3...sono controllati dal CN.

E' il tipo più vecchio di CN.

Oggi è usato solo su macchine che effettuano lavorazioni sullo stesso punto di lavoro: **foratura, alesatura, maschiatura, saldatura per punti, punzonatura.**

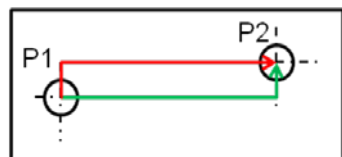
L'utensile lavora in P1, poi si stacca dal pezzo e non importa con quale traiettoria si porti in P2: è fondamentale invece la riduzione dei tempi per aumentare la produttività.

Da P1 a P2 l'utensile si sposta secondo una traiettoria qualsiasi con grande velocità, arrivato vicino a P2 decelera e poi esegue la lavorazione sul punto di lavoro.

Il controllo punto a punto è usato anche per gli spostamenti in rapido (G0).

Non è adatto alla fresatura!

CN parassiale



Oltre ai punti P1 , P2..si possono controllare anche **traiettorie parallele agli assi**

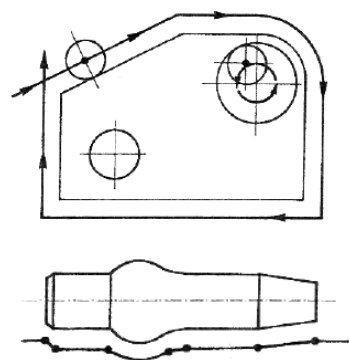
Questo perché il CN controlla la velocità di un solo asse alla volta.

Si possono effettuare lavorazioni parallele agli assi: **scanalature, spianature, forature e lavorazioni dei fori...**

Il CN parassiale estende il CN punto a punto e naturalmente consente tutte le lavorazioni del CN punto a punto.

E' usato anche su macchine che possiedono un solo motore che, tramite trasmissioni meccaniche, portino il moto ad un solo asse per volta.

CN continuo



Oltre ai punti di lavoro il CN **controlla anche la traiettoria dell'utensile** per portarsi da un punto all'altro.

Possono essere generati percorsi curvilinei di qualsiasi genere.

Questo è possibile perché gli **spostamenti di due o più assi possono essere correlati tra loro.**

L'utensile lavora mentre si sposta lungo un percorso programmato.

E' il tipo di CN utilizzato su **torni, frese, centri di lavoro, rettificatrici, macchine per saldatura, macchine per il taglio** di lamiere e tubi.....

Il CN continuo riesce a controllare il percorso dell'utensile mediante le **funzioni di interpolazione G01, G02, G03.**

G01 è la funzione di interpolazione lineare

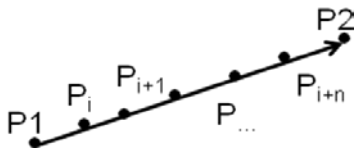
G02, G03 sono le funzioni di interpolazione circolare (G02 oraria, G03 antioraria)

Funzioni di interpolazione

Una traiettoria deve essere divisa in segmenti rettilinei o circolari.



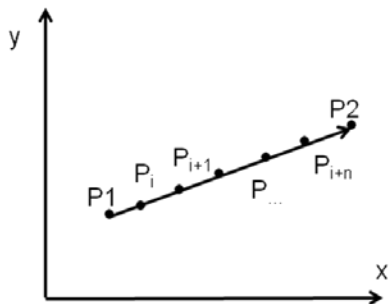
Si programmano solo i punti iniziale e finale dei vari segmenti e si specifica con quale tipo di traiettoria (lineare o circolare) l'utensile si deve spostare dall'uno all'altro, attivando la relativa funzione di interpolazione (G01, G02, G03)



- Le funzioni di interpolazione G01, G02.. calcolano:
- ✓ *i punti intermedi P_i da seguire*
 - ✓ *le velocità dei singoli assi*
- per generare la traiettoria programmata.

Maggiore è il numero dei punti intermedi calcolati (interpolazione fine) → maggiore è la precisione del tracciato → minore è lo scarto fra la traiettoria programmata e quella eseguita → **maggiore è la precisione della lavorazione**

G01 Interpolazione lineare:



- ✓ Usata per generare traiettorie rettilinee.
- ✓ Il programmatore deve specificare i punti iniziale P1, il punto finale P2 e la velocità di avanzamento.
- ✓ G01 calcola **le coordinate dei punti intermedi P_i** e **le velocità di avanzamento v_{xi} e v_{yi} su ciascun asse** necessario per ottenere la traiettoria programmata.

Calcolo dei punti intermedi

$P1 (x_1; y_1)$ e $P2 (x_2; y_2)$ sono i punti estremi del segmento, le cui coordinate sono fornite dal programmatore
 $P_i (x_i; y_i)$ sono le coordinate dei punti intermedi che devono essere calcolate dalla funzione G01

Per prima cosa il CN calcola l'equazione della retta passante per i due punti assegnati P1 e P2.

Nota la funzione $y=mx+q$ della retta (il CN si è calcolato m e q) G01 esegue un'interpolazione di tale equazione: per ogni centesimo di secondo incrementa, a partire da x_1 , la coordinata x_i di una quantità infinitesima Δx e si calcola la y_{i+1} corrispondente sostituendo la x_{i+1} appena calcolata nell'equazione della retta $y=mx+q$

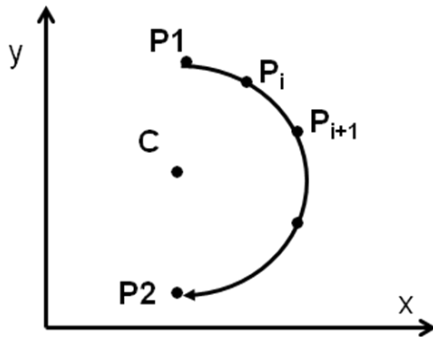
$$y_{i+1} = m (x_i + \Delta x)$$

Ripete il calcolo 100 volte al secondo e smette di calcolare le coordinate $(x_i; y_i)$ dei punti intermedi quando è arrivato a P2 $(x_2; y_2)$

G02/ G03 Interpolazione circolare:



G02 è l'interpolazione circolare oraria
G03 è l'interpolazione circolare antioraria



P1 (x₁;y₁) ; P2 (x₂;y₂) ; C(x_c;y_c) sono le cui coordinate fornite dal programmatore al CN
P_i (x_i;y_i) sono le coordinate dei punti intermedi che devono essere calcolate dalla funzione G02 o G03

Usata per generare traiettorie circolari.

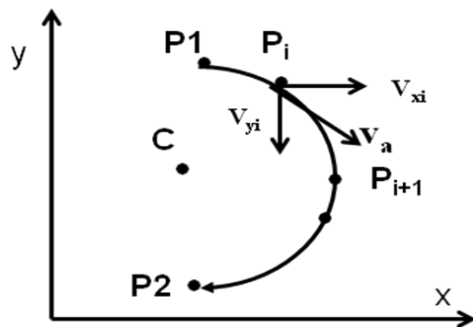
Il programmatore definisce le coordinate dei punti estremi P1 e P2 dell'arco di cerchio e del centro C, e la velocità di avanzamento.

G02/G03 provvedono al calcolo *sia delle coordinate dei punti P_i, sia delle velocità di avanzamento* su ciascun asse in ogni punto P_i.

Per il calcolo delle coordinate dei punti intermedi P_i il CN procede come si è già visto per G01, con la differenza che la funzione da interpolare non è più quella della retta $y = mx+q$, ma della circonferenza $x^2+y^2 = r^2$

Difetto di G02-G03: si possono eseguire traiettorie circolari *solo sui piani principali xy; xz; yz.*

Calcolo delle velocità degli assi nei punti intermedi P_i



Le funzioni di interpolazione, oltre a calcolare le coordinate dei punti intermedi P_i, devono calcolare **in ogni punto P_i** anche le velocità v_x e v_y, **risolvendo il sistema:**

$$\begin{cases} f'(x) = v_y / v_x \\ v_a = \sqrt{v_y^2 + v_x^2} \end{cases}$$

f(x) è la funzione matematica del profilo (retta con G01 o cerchio con G02, G03)

v_a è l'avanzamento impostato nel programma

v_y e v_x sono le incognite da calcolare, ovvero le velocità con cui devono muoversi i servomotori corrispondenti affinché l'utensile si muova sul profilo programmato

Attraverso i sensori di posizione e di velocità, i valori delle coordinate e delle velocità calcolate dalle funzioni di interpolazione, vengono confrontati coi valori reali, per un controllo in retroazione sia della posizione sia della velocità degli assi.