

PROGRAMMAZIONE TORNIO CNC (controllo Olivetti)

Il **programma** è l'insieme di istruzioni in codice necessari al controllo di una macchina utensile equipaggiata con controllo numerico.

Il **codice** è l'insieme di convenzioni con le quali si trasformano i dati di programmazione per renderli "comprensibili" alla macchina.

Programmazione-Funzioni ed esempi

Codice delle informazioni.

Il codice delle informazioni perforate su nastro può essere : EIA RS 244 o ISO 1113. Il riconoscimento del codice delle informazioni da parte della unità di governo, è automatico a partire dal primo codice di fine blocco. La figura riportata nella pagina seguente indica la perforazione secondo tali standard, dei caratteri utilizzati da controllo. Come si vede, il numero dei fori per ogni carattere è sempre pari o dispari a secondo del codice. Se tale condizione non è rispettata, l'unità in fase di lettura segnala ERROR 3 e la lettura si interrompe.

Formato delle informazioni

Carattere- Carattere è un numero, lettera o simbolo utilizzato per esprimere una informazione.

Esempio: l, G, %, LF

Indirizzo- L'indirizzo è rappresentato da una lettera che identifica il tipo di istruzione.

Esempio: G, X, Z, F

Parola- Una parola è costituita da un indirizzo seguito da un valore numerico.

Esempio: G1, X50.5, Z-3, 15, F.2, T101.

Tutti i valori numerici da attribuire alle singole parole sono espressi nella loro unità di misura senza alcun formato, tralasciando cioè di mettere gli zeri in testa e in coda. Se questi valori hanno una parte decimale, questa va scritta dopo il punto decimale.

Blocco- Il blocco è un insieme di parole che identificano le operazioni da seguire.

Esempio: N1 G1 X20.1 Z-30 . L'indirizzo ed il fine blocco è definito da un carattere particolare determinato end of block (fine del blocco).

Funzioni

Numero di sequenza N- Il numero di sequenza è identificato

dall'indirizzo N seguito da un massimo di 4 cifre. Esempio: N1 ÷ N9999

Funzioni preparatorie (G) disponibili

Codice	Gruppo di funzioni autoesclusive	Valida solo nel blocco	Funzione	Presente alla accensione
G00	a		Posizionamento rapidi assi X e Z	no
G01	a		Interpolazione lineare	si
G02	a		Interpolazione circolare oraria	no
G03	a		Interpolazione circolare anti-oraria	no
G04		x	Attesa	no
G09		x	Decelerazione a fine passo	no
G28	g		Funzionamento in continuo	no
G29	g		Funzionamento punto a punto	si
G33			Filettatura passo costante	no
G53	e		Disabilitazione correzioni	no
G54	e		Abilitazione correzioni X	no
G56	e		Abilitazione correzioni Z	no
G58	e		Abilitazione correzioni	si
G70	f		Programmazione in millimetri	si
G71	f		Programmazione in pollici	no
G90	b		Programmazione in assoluto	si
G91	b		Programmazione incrementale	no
G92		x	Spostamento origine	no
G94	c		Programmazione in mm/min	no
G95	c		Programmazione in mm./giro	si
G96	d		Programmazione in m/min	si
G97	d		Programmazione in giri/min	no

Se non c'è il dispositivo "velocità di taglio costante" al momento dell'accensione della macchina è presente la funzione G97.

Funzioni preparatorie G (indicano in quale modo la macchina deve operare)

- G28** Funzionamento in continuo senza decelerazione sul punto finale. Viene annullato dal G29.
- G29** Funzionamento punto a punto con decelerazione al punto di arrivo. E' abilitato all'accensione della macchina e dal reset.
- G00** Posizionamento in rapido per i due assi X e Z con decelerazione al punto di arrivo.
- G01** Interpolazione lineare. Movimento da un punto al successivo lungo una traiettoria rettilinea alla velocità F programmata.
- G02** Interpolazione circolare oraria. Movimento da un punto al successivo lungo una traiettoria circolare alla velocità F

programmata. Richiede le coordinate del centro del cerchio I e K in incrementale.

G03 Interpolazione circolare antioraria.

G33 Filettatura cilindrica, conica o radiale a passo costante.

N.B. - Le funzioni G00-G01-G02-G03-G33 sono mutuamente esclusive cioè l'ultima data cancella la precedente e rimane in memoria. Il reset le cancella tutte e ripristina il G01.

G04 Sosta programmata a fine passo.

Questa funzione determina un tempo di sosta a fine corsa di lavoro. Il tempo di sosta viene programmato con la funzione F inserita nello stesso blocco, In secondi (G94), in giri (G95).

G92 Spostamento origine assi

Questa funzione permette di spostare l'origine degli assi mantenendo in memoria la vecchia origine. E' annullata dal reset, ossia le quote tornano ad essere riferite allo zero originario.

G29 Decelerazione a fine passo

Programmata in un blocco durante un'interpolazione genera una decelerazione sul punto di arrivo. Va utilizzata qualora si debba aggirare uno spigolo molto acuto durante l'esecuzione di un profilo.

N.B. - Le funzioni G04-G92-G09 sono valide solo nel blocco in cui sono inserite.

G91 Programmazione incrementale

Con questa funzione è possibile spostarsi da un punto ad un altro definendo la posizione del secondo rispetto al primo. E' valido per i due assi X e Z.

G90 Cancella il G91.

N.B. -Il G91 è cancellato anche dal reset.

G70 Programmazione in mm

Predispose la macchina a ricevere tutte le coordinate o altre funzioni in mm. E' presente all'accensione della macchina e dopo un reset.

G71 Programmazione in pollici

Predispose la macchina a ricevere tutte le coordinate o altre funzioni in pollici. E' annullata dal G70 o dal reset.

G94 Avanzamento F in mm/min

Predispose la macchina a ricevere la velocità di avanzamento in millimetri al minuto o in pollici al minuto. E' cancellata dal G95 o dal reset.

G95 Avanzamento F in mm/giro

Predisporre la macchina a ricevere la velocità di avanzamento in mm. Al giro o pollici al giro.

E' cancellata dal G94. E' abilitata dal reset.

G96 Velocità di taglio costante.

Predisporre la macchina a ricevere la velocità di rotazione del mandrino programmata con l'indirizzo S, in metri al minuto.

E' cancellata dal G97. E' abilitata dal reset.

G97 Velocità di rotazione del mandrino costante.

Predisporre la macchina a ricevere la velocità di rotazione del mandrino programmata con l'indirizzo S, in giri al minuto.

E' cancellata dal G96 e dal reset.

G58 Abilitazione correttori

Abilita tutti i correttori lunghezza utensili sia in X che in Z. Abilita anche gli spostamenti P e D.

E' abilitata dal reset.

G54 Come il G58 ma solo per l'asse X e P.

G56 Come il G58 ma solo per l'asse Z e D.

G53 Disabilita tutti i correttori di lunghezza. E' annullata dal reset.

N.B. - Le funzioni G58-G56-G54-G53 sono mutuamente esclusive cioè l'ultima data cancella la precedente e rimane in memoria. Il reset le cancella tutte e ripristina il G58.

E' possibile mettere più funzioni G nello stesso blocco.

Coordinate X, Z e R

Valore programmabile:

da + 0.001 a + 9999.999 millimetri- G70

da + 0.0001 a + 999.9999 pollici- G71

Le coordinate dell'asse x sono programmate sempre in diametri.

Coordinate I (X) e K (Z)

In interpolazione circolare, le coordinate del centro della circonferenza I e K devono essere programmate in incrementale e riferite al punto di partenza del cerchio.

Valore programmabile:

da + 0.001 a + 9999.999 millimetri- G70

da + 0.0001 a + 999.9999 pollici- G71

Le coordinate I (X) non sono programmate in diametri, ma in raggi.

Velocità di avanzamento degli assi F

E' programmabile con G94.

da 0.1 a 9999.9 mm/min. - G70

da 0.01 a 999.99 pollici/min. -G71

E' programmabile con G95
da 0.01 a 999.99 mm/giro - G70
da 0.001 a 99.999 pollici/giro - G71

Eccezione:

La funzione F programmata in un blocco con G04 definisce il tempo di sosta. E' programmabile:
da 0.01 a 999.99 secondi
da 0.1 a 9999.9 giri
rispettivamente se in atto G94 o G95.

Velocità di rotazione mandrino S

a) Se la macchina ha un mandrino con scatti di velocità le funzioni S sono codificate secondo una tabella dipendente dal tipo di macchina.

b) Se la macchina ha un mandrino con variazione continua di velocità, con la funzione S si devono programmare direttamente i giri al minuto del mandrino.

Es. 100 giri/min. S100

c) Se la macchina dispone del dispositivo velocità di taglio costante con la funzione S si può programmare m/min (G96) giri/min (G97).

Es. G97	S1	1 giro/min.
G97	S100	100 giri/min.
G96	S1	1 m/min.
G96	S100	100 m/min.

Funzione utensile T

La funzione T seguita da 5 cifre T12345 definisce:

- la torretta su cui è montato l'utensile nel caso le torrette siano più di una

- l'utensile richiesto per la lavorazione.

- il correttore da abbinare all'utensile.

La 1^a cifra indica la torretta su cui è montato l'utensile è può avere valore 0-1.

(0) zero se è la torretta principale.

(1) se si tratta della seconda torretta.

la 2^a e 3^a cifra indicano il numero dell'utensile, 01 utensile 1, 99 utensile 99.

la 4^a e 5^a cifra indicano il numero del correttore da abbinare all'utensile.

T01	correttore 1
T12	correttore 12

Funzioni Miscellanee M

M00 Stop programma.

Arresta lo svolgimento del programma dopo l'esecuzione delle operazioni contenute nel blocco. Cancella le seguenti informazioni: M03, M04, M07, M08 mentre le altre funzioni restano memorizzate. Arresta la rotazione del mandrino e l'erogazione del refrigerante.

- M02** Arresta lo svolgimento del programma dopo l'esecuzione delle operazioni contenute nel blocco, cancellando tutte le informazioni genera un reset.
- M03** Rotazione del mandrino nel senso del normale funzionamento. Fa ruotare il mandrino in senso orario o antiorario a seconda del cablaggio in armadio elettrico. Diventa esecutivo all'atto della lettura o dell'introduzione. Cancella M04.
- M04** Rotazione del mandrino nel senso inverso a quello di normale funzionamento. Diventa esecutivo all'atto della lettura o dell'introduzione. Cancella M03
- M05** Arresto del mandrino.
Diventa esecutivo dopo l'esecuzione delle operazioni contenute nel blocco.
- M06** Cambio utensile.
Dà il comando esecutivo di cambio utensile, vale a dire:
- per le macchine provviste di torrette automatiche, fa eseguire il cambio automatico dell'utensile.
 - per le altre macchine, provoca un arresto del programma per consentire il cambio manuale dell'utensile. Per ripartire premere CYCLE START.
- Abilita inoltre la lettura del valore impostato dei correttori.
- M07** Erogazione refrigerante seconda torretta. Diventa esecutivo all'atto della lettura.
- M08** Erogazione refrigerante prima torretta. Diventa esecutivo all'atto della lettura.
- M09** Stop refrigerante.
Diventa operante dopo l'esecuzione delle operazioni contenute nel blocco.
- M30** Riavvolgimento programma.
L'unità si posiziona all'inizio del programma, cancellando tutte le operazioni, genera cioè un reset.
- M41** Per torni con gamme di velocità le funzioni da M41 a M44 vengono utilizzate per selezionare il tipo di gamma.
- M42**
- M43**
- M44**
- M66** Cambio correttore. Questa funzione permette la lettura del valore delle correzioni lunghezza impostate su un correttore e selezionato con la funzione T.

N.B.- E' possibile mettere 4 funzioni M nello stesso blocco.

Funzioni M disponibili nella versione base

Codice	Funzione attiva		Funzione		Funzione
	a inizio blocco	a fine esecuzione blocco	memorizzata	non memorizzata	
M00		x		x	Arresto programma
M02		x		x	Fine programma
M03	x		x		Rotazione mandrino oraria
M04	x		x		Rotazione mandrino antior.
M05		x	x		Arresto rotazione mandrino
M06		x		x	Cambio utensile
M07	x		x		
M08	x		x		Refrigerante inserito
M09	x		x	x	Refrigerante disinserito
M30		x			Fine programma con riavvolgimento nastro
M66		x		x	Cambio correzioni lunghezza utensili
M41			x		
M42			x		
M43			x		
M44			x		Selezione gamme di velocità

Nota: M00,M02,M30 arrestano anche rotazione del mandrino e refrigerante.

Inizio e termine del programma

Il programma viene eseguito a partire dal primo codice "end of block" (fine blocco).

Per ottenere il codice "end of block" :

- con il perforatore occorre premere il tasto : %
- ritorno carrello CR per codice EIA
- Interlinea (LF) per codice ISO.

Affinché il programma perforato su nastro sia leggibile da una telescrivente occorre che alla fine di ogni blocco ci siano entrambi i caratteri di fine blocco (ISO e EIA).

All' inizio e alla fine del nastro occorre perforare almeno 70 mm di sola pista di trascinamento (feed-holes) seguita dal carattere "end of block" .

Nel primo blocco di informazioni generalmente si programma l'informazione di cambio utensile (T...M06). Al termine della lavorazione occorre portare gli assi in una posizione comoda per lo smontaggio del pezzo e per l'esecuzione del cambio utensile programmato all'inizio del nastro, quindi arrestare la rotazione mandrino e l'afflusso refrigerante, infine comandare il riavvolgimento automatico del programma con la funzione M30.

```
Es. N1 T101 M6 (MSG, UTENSILE DI SGROSSATURA)
     N2 G0 X75 Z10 S70 M3 M8
     N3 G1 Z-30 F.3
     .....
     .....
     N236 G0 X220 Z2.50 M5 M9
     N237 M30
```

All'interno del programma è possibile inserire un messaggio, racchiuso tra parentesi, per l'operatore macchina. Tale messaggio viene programmato con la frase triletterale MSG nel modo seguente:

(MSG,TESTO DEL MESSAGGIO)

Il testo del messaggio verrà visualizzato sul video del controllo.

La lunghezza del messaggio deve essere tale per cui, tenendo conto del numero di sequenza se programmato (5 caratteri), la lunghezza del blocco non superi i 64 caratteri.

PREPARAZIONE MACCHINA PER L'ESECUZIONE DI UN PROGRAMMA

L'operatore dopo aver montato tutti gli utensili in torretta ed aver richiamato il programma da eseguire (SPG) deve:

1) Portare gli assi sul punto di zero assoluto.

2) Portare la torretta in un punto ove possa ruotare (con spostamenti manuali).

3) Richiamare un utensile in posizione di lavoro (da tastiera) avendo cura di specificare su quale torretta è montato.

(Es. T303 M6 ; T10505 M6)

4) Tornire o posizionare la punta dell'utensile su un punto del pezzo di coordinate note (con spostamenti manuali) ed arrestare il mandrino.

5) Senza spostare gli assi impostare sul correttore abbinato all' utensile, il diametro e la coordinata Z misurata rispetto allo 0 pezzo scelto, es. 3, X20.2, Z10.

L'unità si calcola automaticamente il valore delle correzioni lunghezza.

6) Ripetere le operazioni 2,3,4 ,5 per tutti gli utensili.

7) riportare la torretta su un punto ove possa liberamente ruotare .

N.B. - Il programma inizia sempre con il blocco di cambio utensile. Prima di ogni cambio utensile ed alla fine del programma dovranno essere programmati spostamenti tali da permettere la rotazione della torretta ed il richiamo dell'utensile successivo:

E' opportuno osservare che avendo l'utensile un raccordo, le misure effettuate sono riferite ai punti A e B.

Di ciò si vedrà l'importanza nelle torniture coniche e nell'interpolazione circolare.

```
N1 T101 M6
N18 G00 X... Z...
N19 T102 M6
.....
.....
.....
N999 G00 X... Z... M30
```

Zero ciclico

Oltre allo zero assoluto ogni asse della macchina ha uno zero ciclico. Il ciclo di questo zero dipende dal passo della vite e dal rapporto del resolver.

Ogni qualvolta si spegne l'unità di governo e la macchina, all'accensione comparirà sul video una quota X e Z che è la distanza della posizione dell'asse rispetto allo zero ciclico più vicino.

Es. Se la macchina ha un passo di 5 mm e un resolver con un rapporto 1/1, lo zero ciclico avrà un passo di 5mm.

Se gli assi al momento dell'arresto si trovano rispettivamente sul punto A e B, all'accensione sul video potrebbe comparire: X1,531; Z-1,954, cioè la distanza dallo zero ciclico più vicino.

Utilizzando questa caratteristica dell'unità, se la macchina utensile è provvista di righe metriche sugli assi, è possibile definire lo zero assoluto in un punto qualsiasi effettuando le seguenti manovre:

- 1) portare gli assi su un punto qualunque;
- 2) spegnere e riaccendere l'unità di governo;

3) impostare le coordinate lette (che ora sono la distanza dallo zero ciclico più vicino) con il comando ORA, X..., Z...

La macchina assume come zero assoluto lo zero ciclico più vicino.

COMANDI DA TASTIERA

Tutti i comandi ,con la sola eccezione di quelli che riguardano le correzioni utensile, sono formati con una serie di codici mnemonici a tre lettere secondo la normalizzazione prevista dall'ISO per il linguaggio dei sistemi per Controllo Numerico.

Esempi di comandi che individuano operazioni sui programmi:

Codice	Formato	Funzione
CAT	CAT, n	Cataloga (catalogazione di un programma in memoria)
CPG	CPG,n	Cancella programma
CAC	CAC	Cancella correzioni
SPG	SPG,n	Seleziona programma
SSL	SSL,1500	(cod. EIA) Definisce il massimo numero di giri del mandrino nella gamma dichiarata. Va messo in un blocco successivo a quello di cambio gamma e vale sino ad una nuova definizione di gamma.

Esempi di comandi che individuano funzioni particolari

Codice	Formato	Funzione
ORA	ORA X...Z...	Origine assi (dichiarazione origine assi, X e Z coordinate in cui si trovano gli assi rispetto allo zero)
UQR	UQR,1	Quota rilevata (vengono visualizzate le quote effettivamente rilevate e non quelle calcolate)
UPP	UPP,1	Prova programma
UVR	UVR,1	Velocità di rapido (esecuzione programma con velocità di lavoro trasformate in velocità di rapido)
URL	URL,1	Rapidi limitati (mediante un potenziometro è possibile controllare manualmente la velocità di rapido)
UZO	UZO,0	Zero orologio (azzeramento contaminuti che misura il tempo di esecuzione del ciclo di lavoro; il tempo è espresso in minuti ed in centesimi di minuto)

PREPARAZIONE DELLA MACCHINA UTILIZZANDO LA LUNGHEZZA DEGLI UTENSILI

Le dimensioni utensili specificano le lunghezze dell'utensile che si considera, misurate rispettivamente lungo l'asse X e lungo l'asse Z, rispetto al centro della torretta. La lunghezza misurata lungo l'asse X

si programma con l'indirizzo P, quella misurata lungo l'asse Z si programma con l'indirizzo D.

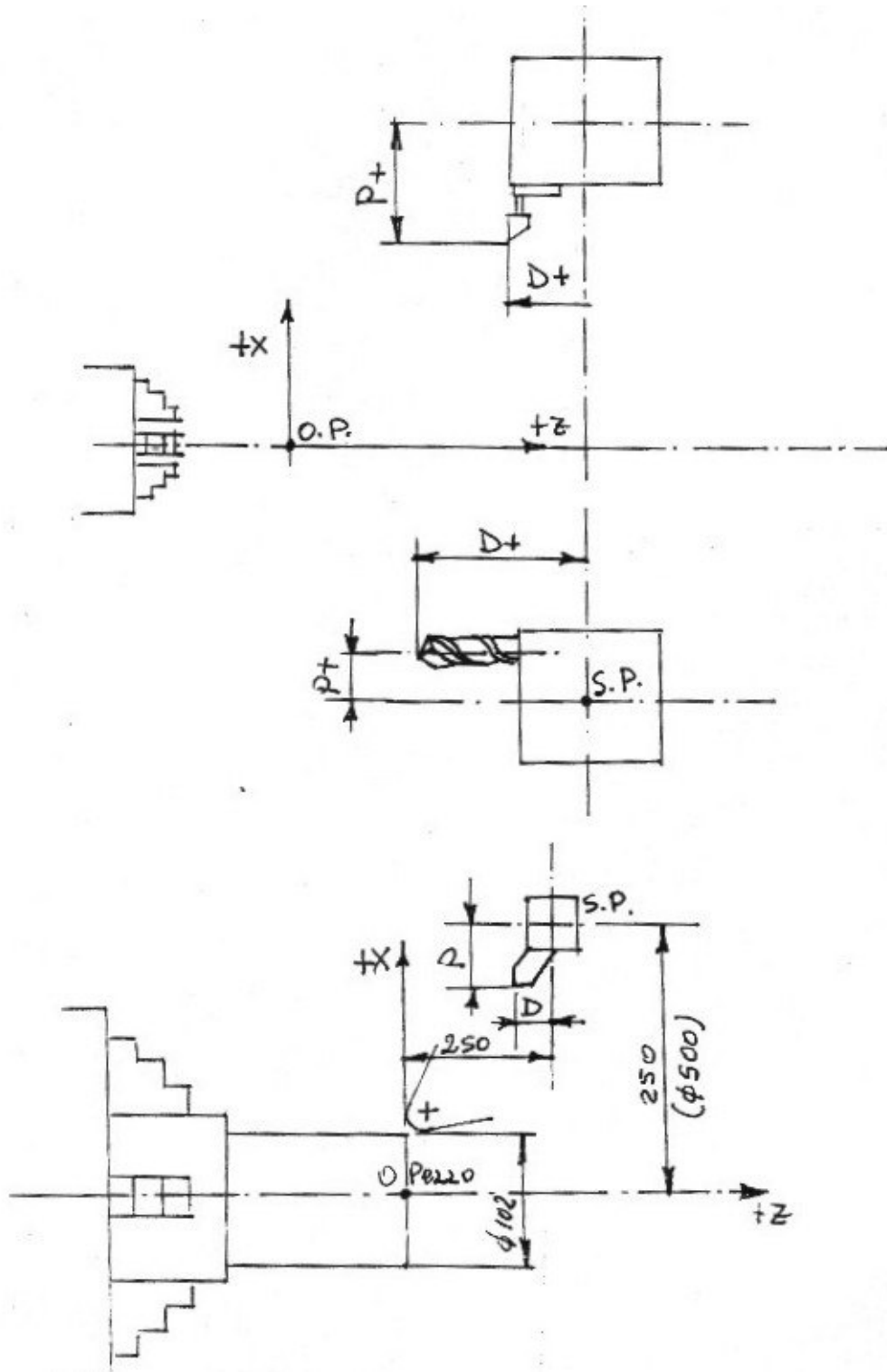
Il segno risulta positivo quando, rispetto al centro della torretta, la lunghezza dell'utensile si estende: per **P** verso l'asse di rotazione del mandrino, per la **D** verso il mandrino; negativo in senso inverso. Tali segni rimangono invariati, sia che l'utensile venga montato sulla torretta principale che sulla torretta secondaria; ciò è reso possibile in quanto, da programma, tramite la funzione T, si individua la torretta.

Le quote P e D sono misurate fuori macchina su un banco da presetting. L'operatore dopo aver montato in torretta tutti gli utensili ed aver richiamato il programma da eseguire deve effettuare le seguenti manovre:

- 1) portare gli assi sullo zero assoluto;
- 2) portare la torretta in un punto dove possa ruotare (set point) e richiamare da tastiera un utensile definendone le lunghezze. Es. T101M6P120D100
- 3) tornire o posizionarsi su un punto di coordinate note;
- 4) senza spostare gli assi impostare il diametro o la coordinata Z rispetto allo zero pezzo con la funzione G92; Es. G92X102Z0 (da tastiera)
- 5) Mandare gli assi sul set point annullando i correttori; Es. G00G53X500Z250
- 6) Eseguire un reset e rilevate le quote che compaiono sul video che sono la distanza del set point dallo zero assoluto (serviranno per la ripresa del ciclo).

RESET: interrompe un'operazione in corso di svolgimento.

E' comandato dal quadro. Dopo il RESET, l'unità di governo si predisponde ad eseguire il programma precedentemente selezionato e visualizza la posizione degli assi rispetto allo zero assoluto.



Posizionamento e interpolazione lineare

Il posizionamento consiste nel portare il vertice dell'utensile in un punto di coordinate note. Per definire la posizione ed il movimento dell'utensile rispetto al pezzo, il controllo numerico utilizza un sistema di assi cartesiani ortogonali e monometrici, la cui origine può essere fissata dal programmatore nella zona ritenuta più idonea per la

programmazione e per la lavorazione. Tali assi sono paralleli a quelli dei movimenti controllati. Il posizionamento è uno spostamento in rapido che porta l'utensile da una certa posizione ad un'altra (es. in prossimità del pezzo per iniziare la lavorazione). Viene programmato con la funzione preparatoria G00 seguita dalle coordinate del punto da raggiungere.

In tal modo l'utensile si posiziona sul punto programmato dal punto in cui si trova, seguendo una traiettoria rettilinea alla velocità di rapido che è una caratteristica della macchina. La velocità di rapido varia da una decina di m/min a 30-40 m/min nelle moderne macchine CNC.

L'interpolazione consiste nel calcolo delle coordinate di un gran numero di punti intermedi situati sul profilo programmato.

I fondamentali sistemi di interpolazione sono:

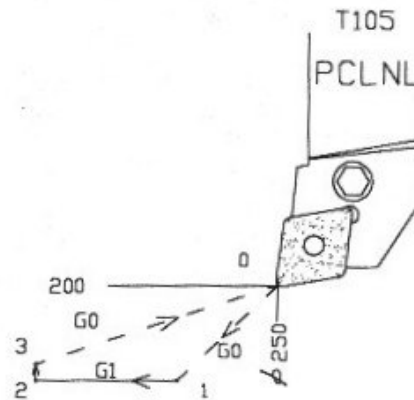
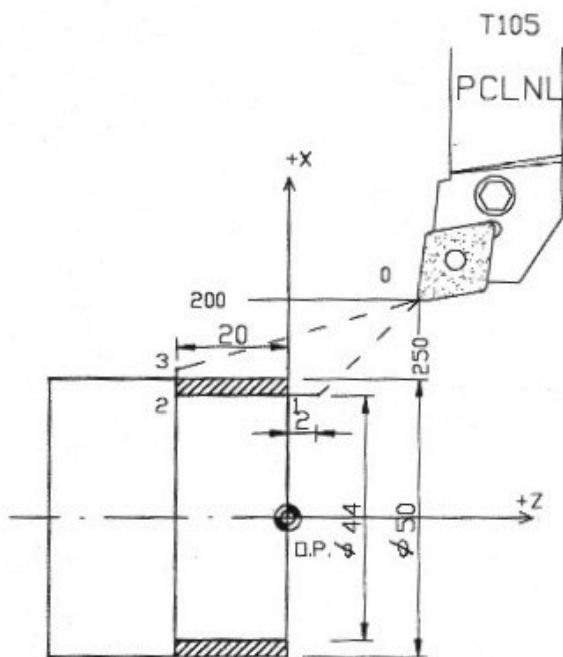
- interpolazione lineare (nel piano e nello spazio)
- interpolazione circolare (nel piano)
- interpolazione elicoidale (nello spazio)

Quando si opera in interpolazione lineare, il controllo consente all'utensile si spostarsi secondo una retta, da quello di partenza a quello di arrivo. Per mezzo dell'interpolazione lineare si eseguono le lavorazioni cilindriche e coniche. La funzione che indica tale operazione è G01 seguita dalle coordinate del punto da raggiungere, nello stesso blocco compare anche la velocità di avanzamento, il cui indirizzo è la lettera F seguita da un numero che esprime il valore della velocità di avanzamento.

Per l'interpolazione circolare la funzione preparatoria G02 o G03 a seconda che l'arco di cerchio venga percorso in senso orario o antiorario, le coordinate dei punti estremi e del centro dell'arco o in alternativa le coordinate di tre punti distinti dell'arco.

Per l'interpolazione elicoidale bisogna fornire gli elementi del cerchio e il piano assiale.

Tornitura cilindrica esterna

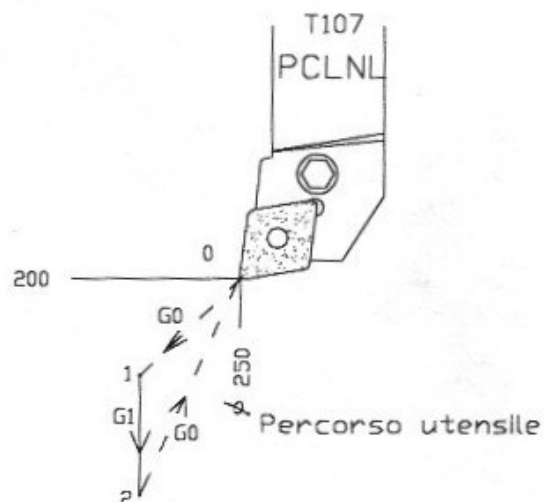
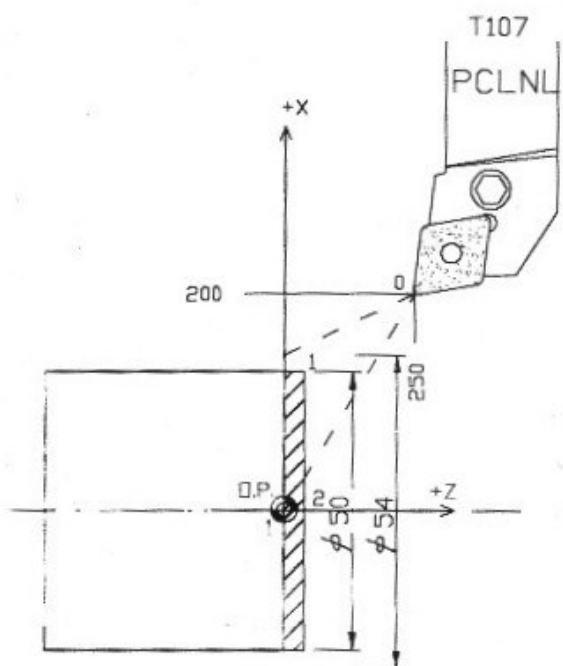


Percorso utensile

```

.....
N40 G0 X250 Z200
N50 T105 M6G95 G96
N60 G0 X44 Z2 S120 M3
N70 G1 Z-20 F.2 M8
N80 X52 F.15
N90 G0 X250 Z200
.....
    
```

Sfacciatura

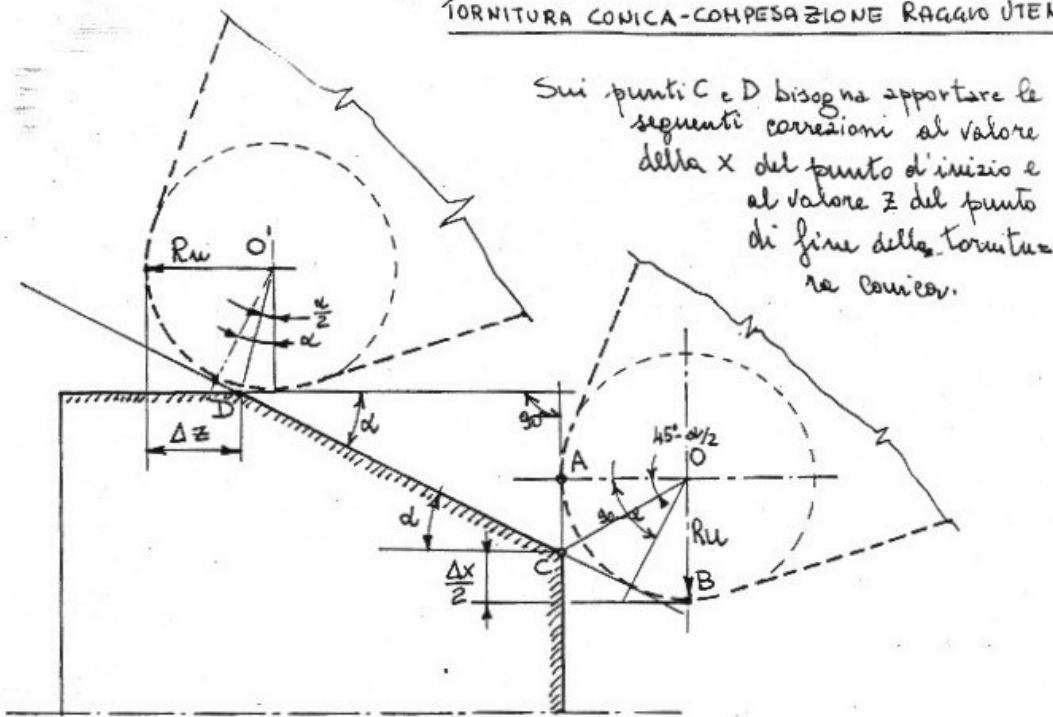


Percorso utensile

```

.....
N40 G0 X250 Z200
N50 T107 M6 G95 G96
N60 G0 X54 Z0 S80 M3 (SSL,1700)
N70 G1 X-1.5 F.1 M8
N80 X250 Z200
.....
    
```

TORNITURA CONICA-COMPESAZIONE RAGGIO UTENSILE



Sui punti C e D bisogna apportare le seguenti correzioni al valore della X del punto d'inizio e al valore Z del punto di fine della tornitura conica.

R_u = raggio utensile

α = angolo d'inclinazione del profilo

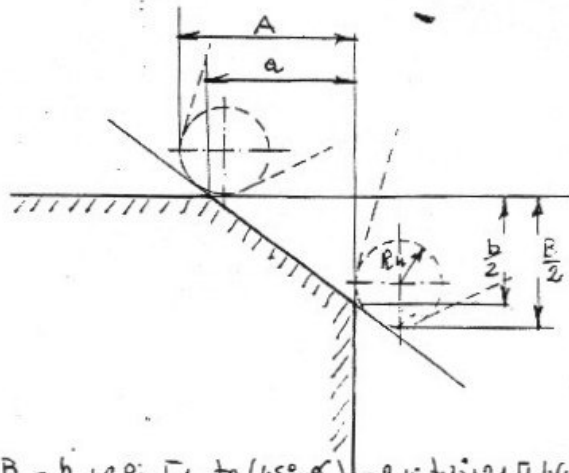
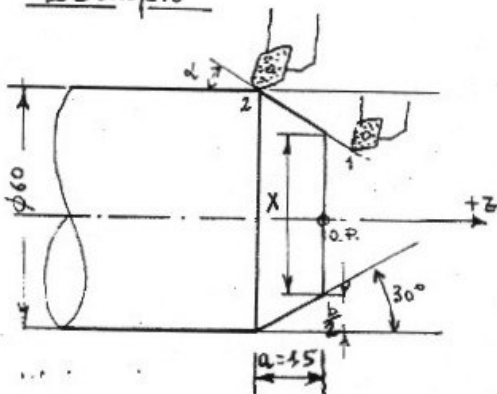
ΔX = variazione coordinata x del punto C di inizio profilo

ΔZ = variazione coordinata z del punto D di fine profilo

$$\Delta X = 2 R_u \left[1 - \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

$$\Delta Z = R_u \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$$

Esempio



$A = a + \Delta Z$; $B = (b + \Delta X)$ in diametri

$\alpha = 30^\circ$; $\Delta Z = R_u \cdot 0,7321$; $\frac{\Delta X}{2} = R_u \cdot 0,4226$

$\alpha = 45^\circ$; $\Delta Z = \frac{\Delta X}{2} = R_u \cdot 0,5858$

$\alpha = 60^\circ$

le coordinate dei punti 1 e 2 sono ottenute

$$\frac{B}{2} = \frac{b}{2} + 2 R_u \left[1 - \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \right] = 2 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + 2 \cdot 15 \cdot \left[1 - \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \right]$$

$$= 17,32 + 0,8452 = 18,1652$$

$$X = 60 - 18,1652 = 41,8348$$

$$A = a + \Delta Z = a + R_u \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$A = 15 + 15 \cdot \left(1 - \operatorname{tg} \frac{30^\circ}{2} \right) = 15 + 0,7320 = 15,732$$

