



# Corso di Automazione industriale

## Lezione 11

### Macchine utensili e controllo numerico – Programmazione CNC

# Introduzione

## Come si programma una macchina CNC

Come già anticipato, il cuore della CNC è il part program.

Questo codice (che può essere generato automaticamente) descrive tutte le movimentazioni e le lavorazioni che la macchina deve effettuare durante il funzionamento.

È, come per quanto riguarda il codice PLC, normato (in questo caso con una norma ISO).

# G - Code

Il G-Code è il linguaggio di programmazione utilizzato per comandare le macchine a controllo numerico (spesso chiamato semplicemente linguaggio di programmazione G, oppure RS-274).

La norma di riferimento è la ISO 6983.

I file creati hanno estensione .gcode e sono dei semplici file testuali contenenti le istruzioni da inviare alla macchina utensile.

# G - Code

Il g-code è, semplicemente, un insieme di istruzioni geometriche messe in sequenza una dopo l'altra.

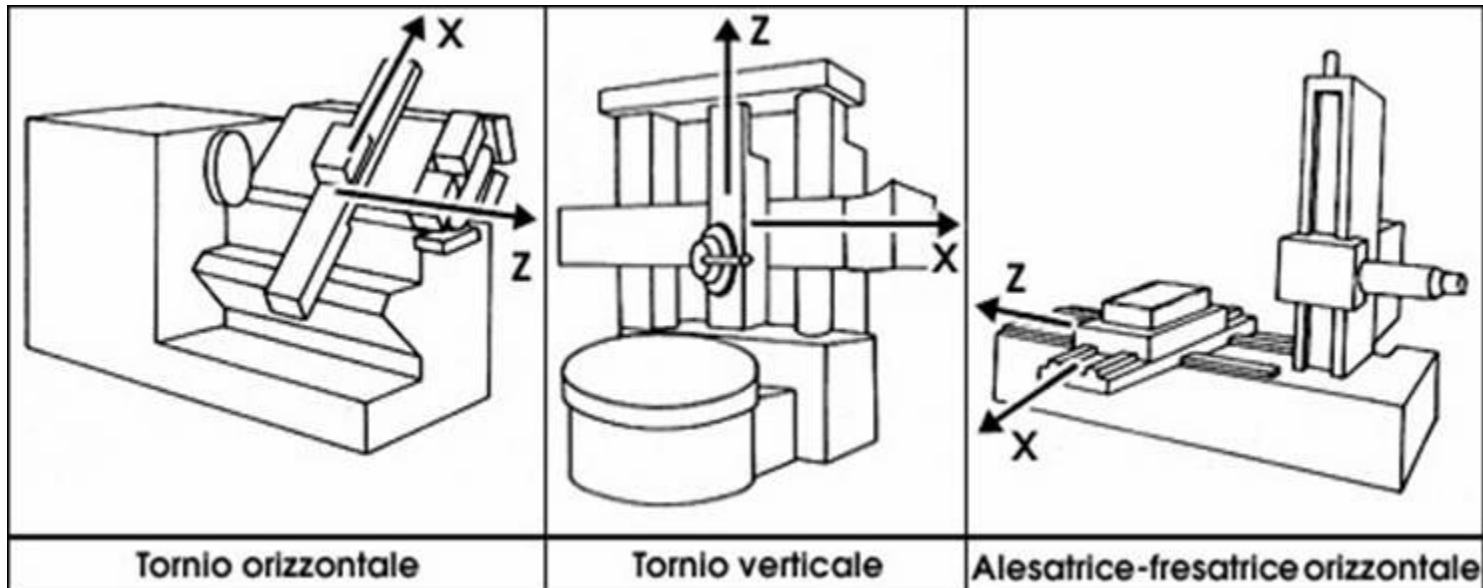
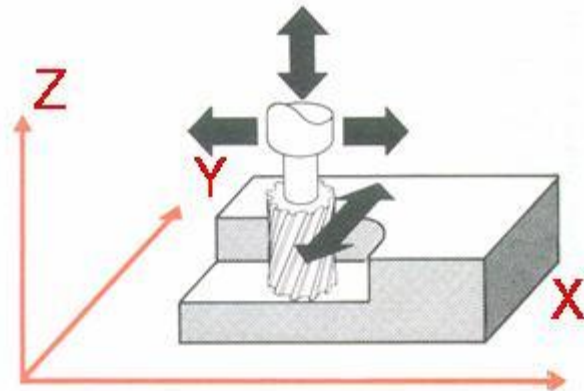
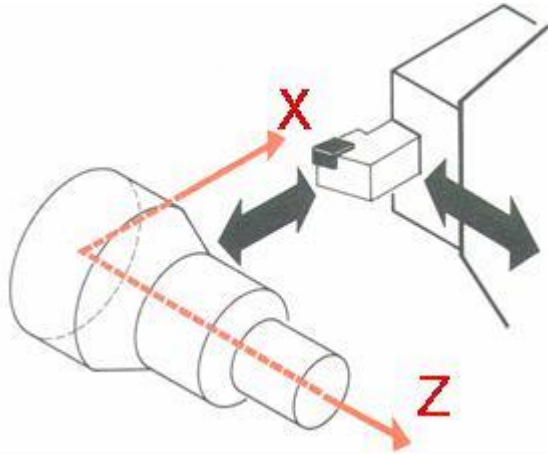
Queste istruzioni definiscono i movimenti che la macchina deve eseguire per realizzare una lavorazione meccanica.

Prima di addentrarci nei dettagli è importante chiarire alcuni aspetti geometrici che sono essenziali per la programmazione.

**N.B.: L'ordine delle diverse istruzioni è importante!!**

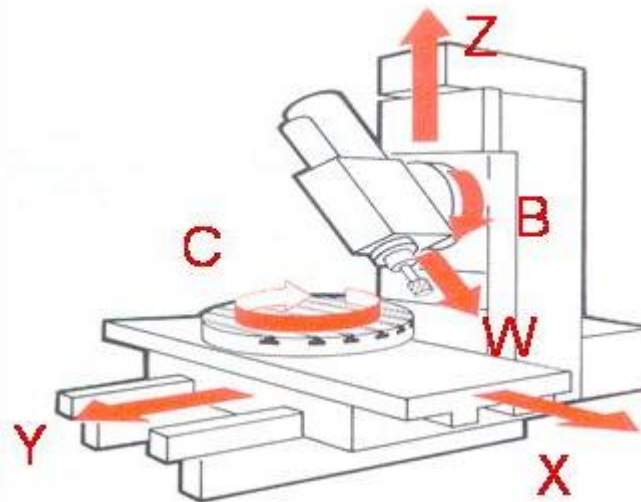
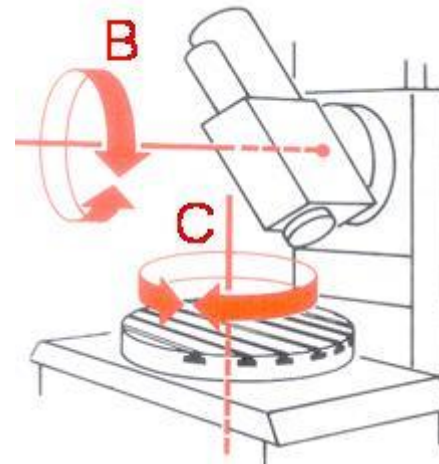
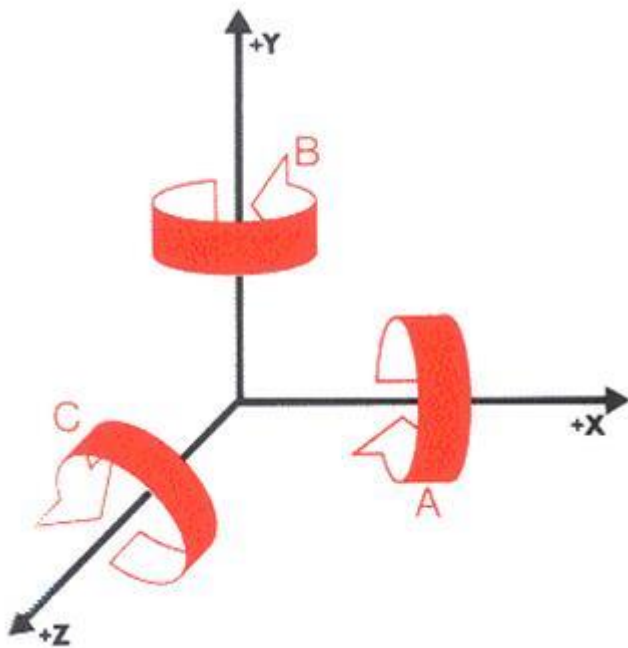
# Geometria

## Riferimenti di traslazione



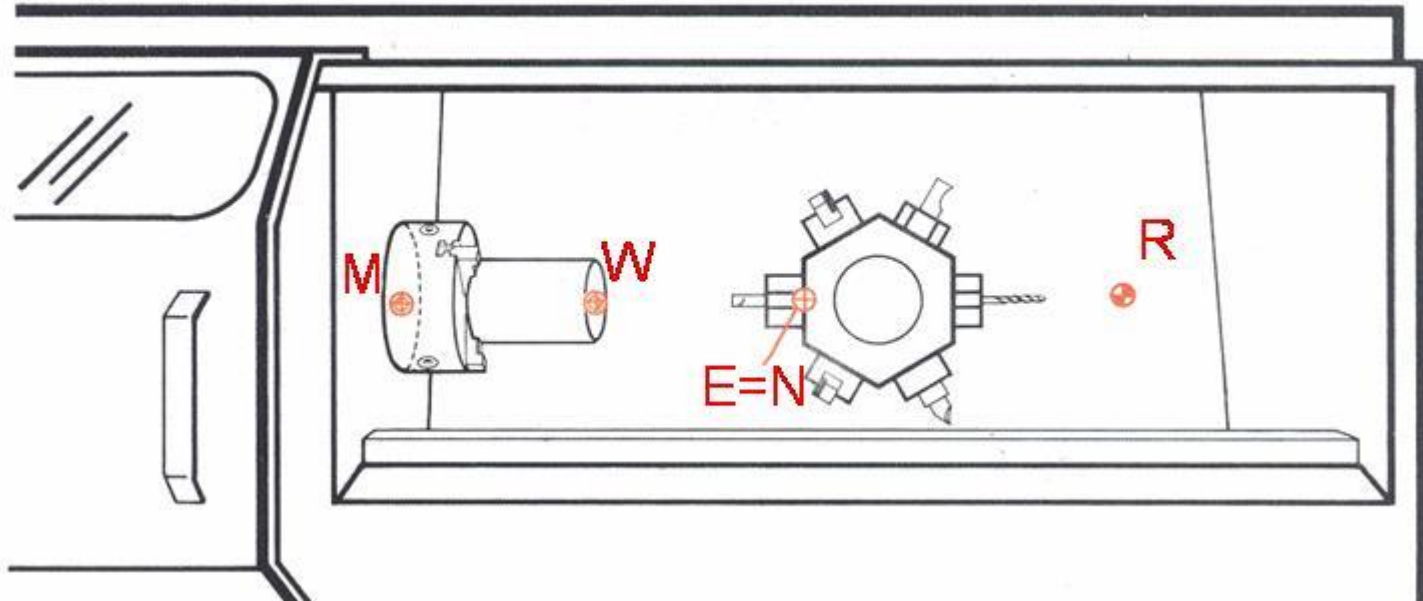
# Geometria

## Riferimenti di rotazione



# Geometria

## Punti di origine

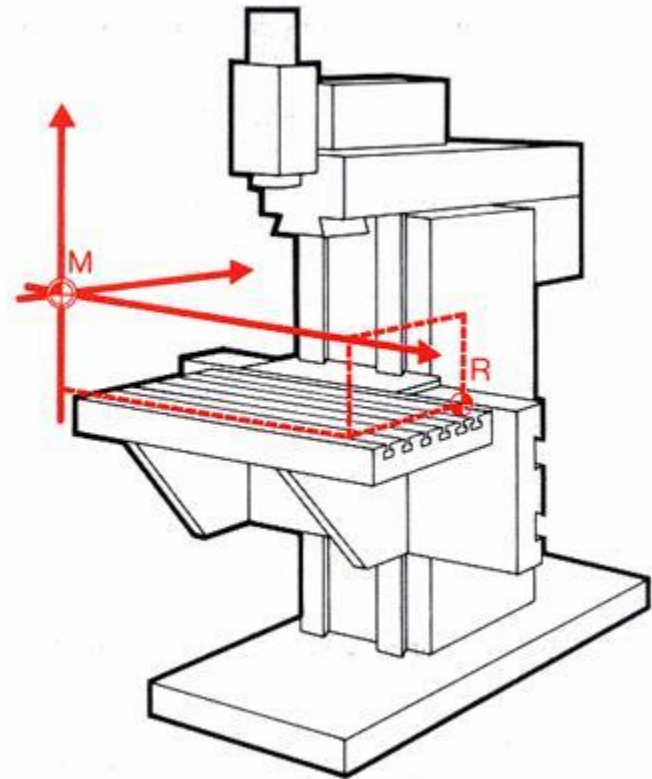
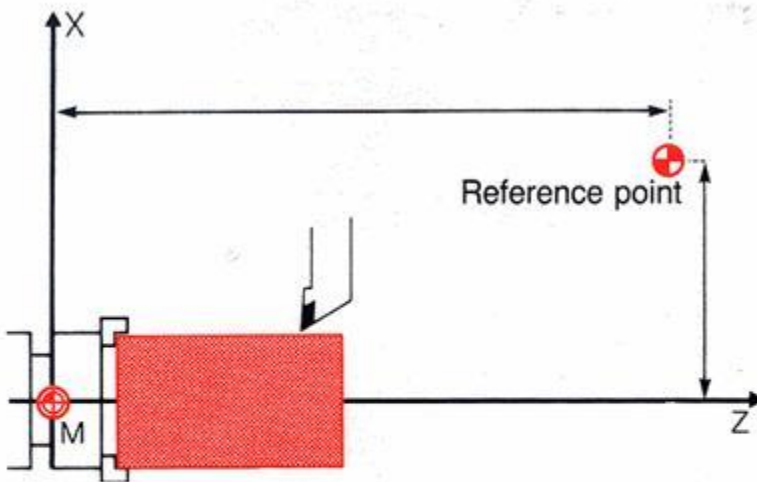


- zero macchina M
- zero di riferimento R
- zero pezzo W
- zero utensile E
- zero innesto N

# Geometria

## Punti di origine

Il controllo numerico è dotato di un proprio sistema di riferimento ed origine assoluta : **ZERO MACCHINA M**

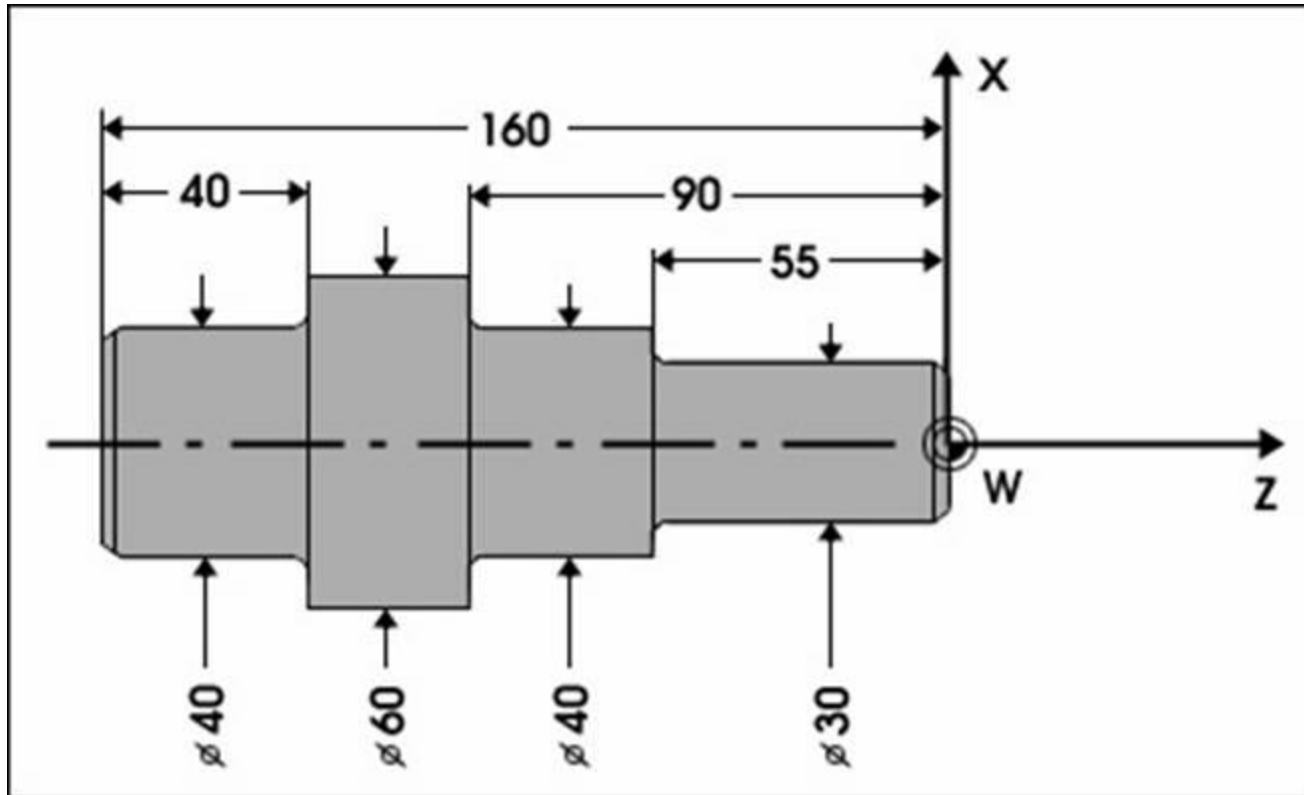




# Geometria

## Punti di origine

Il programmatore in base alla quotatura del disegno stabilisce uno **ZERO PEZZO W** rispetto al quale programma gli spostamenti.

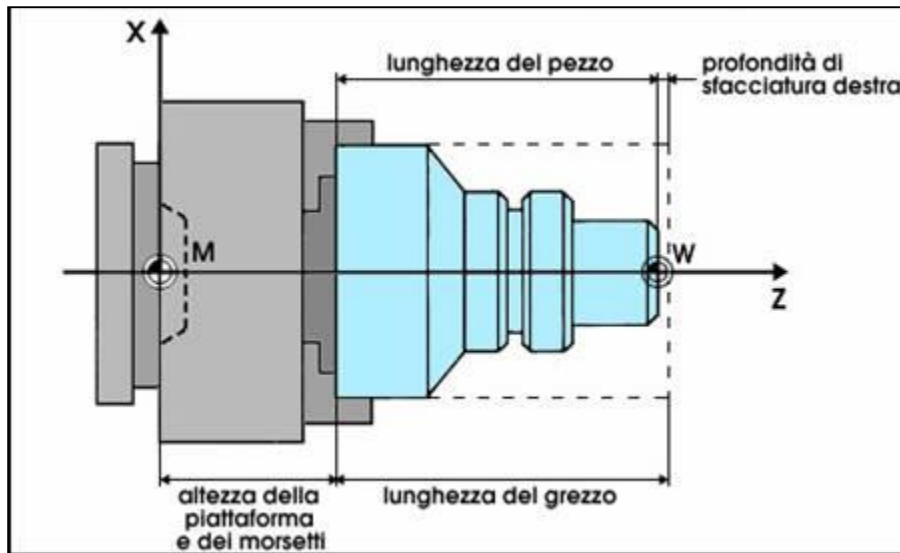


# Geometria

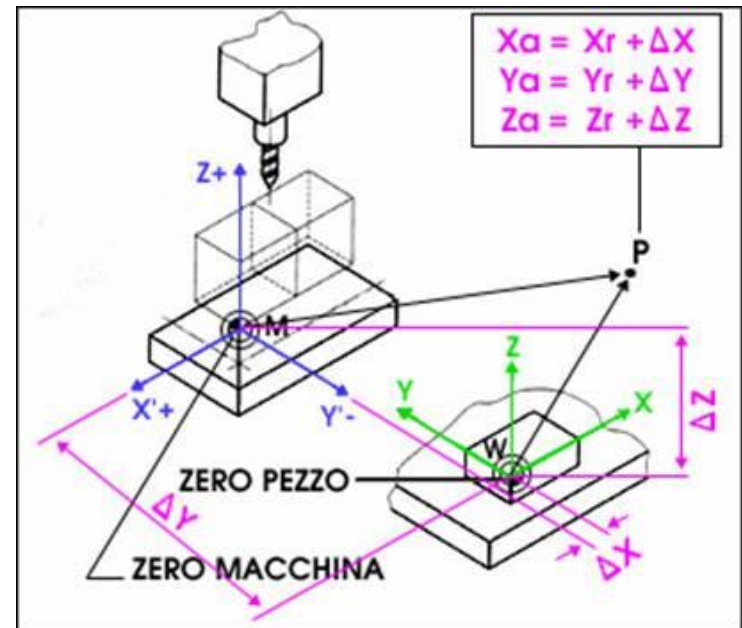
## Conclusioni

Il programmatore fornisce la distanza relativa tra i due zeri.  
La programmazione avviene riferita allo zero pezzo W.

### TORNITURA



### FRESATURA

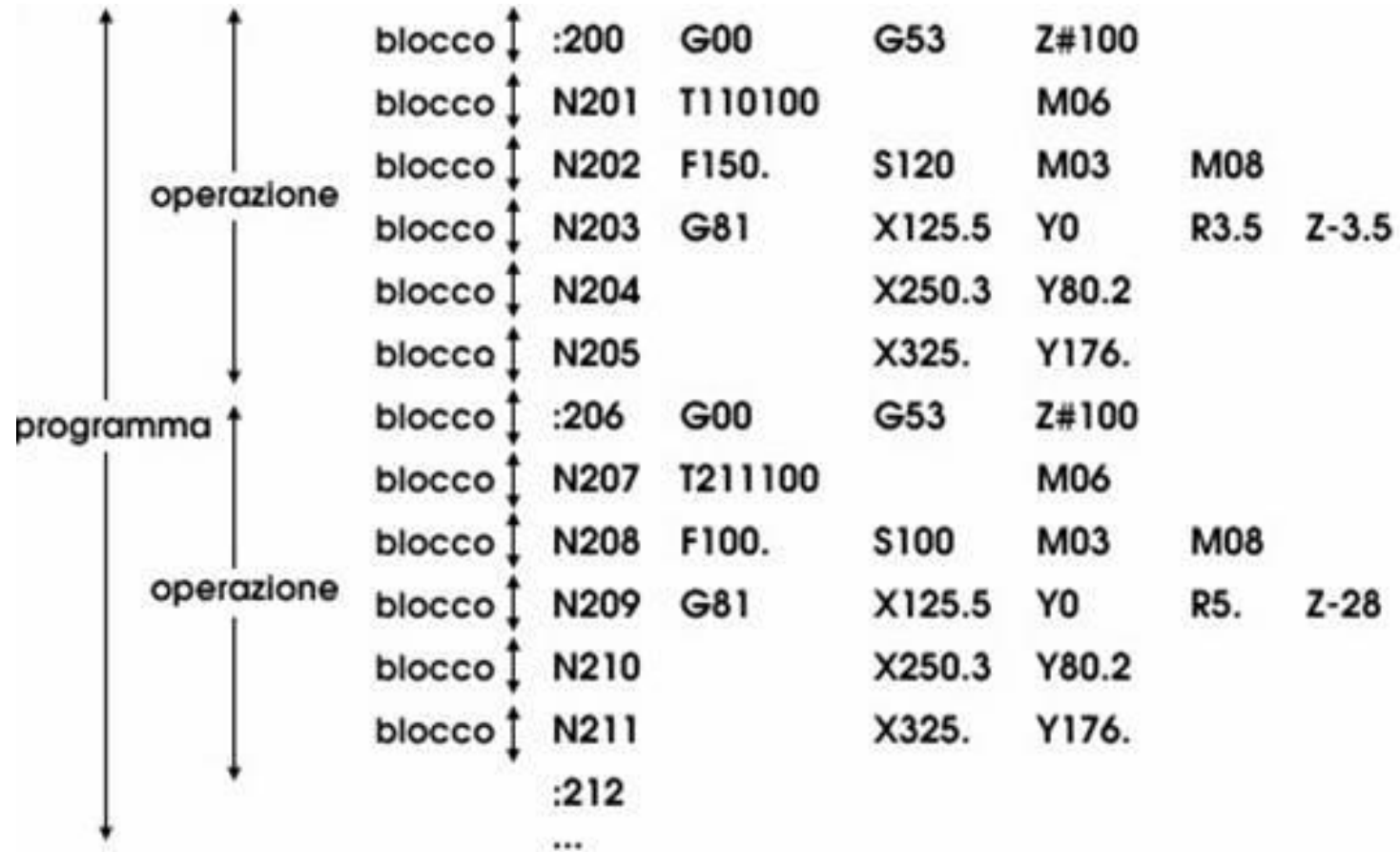


# Grammatica ISO

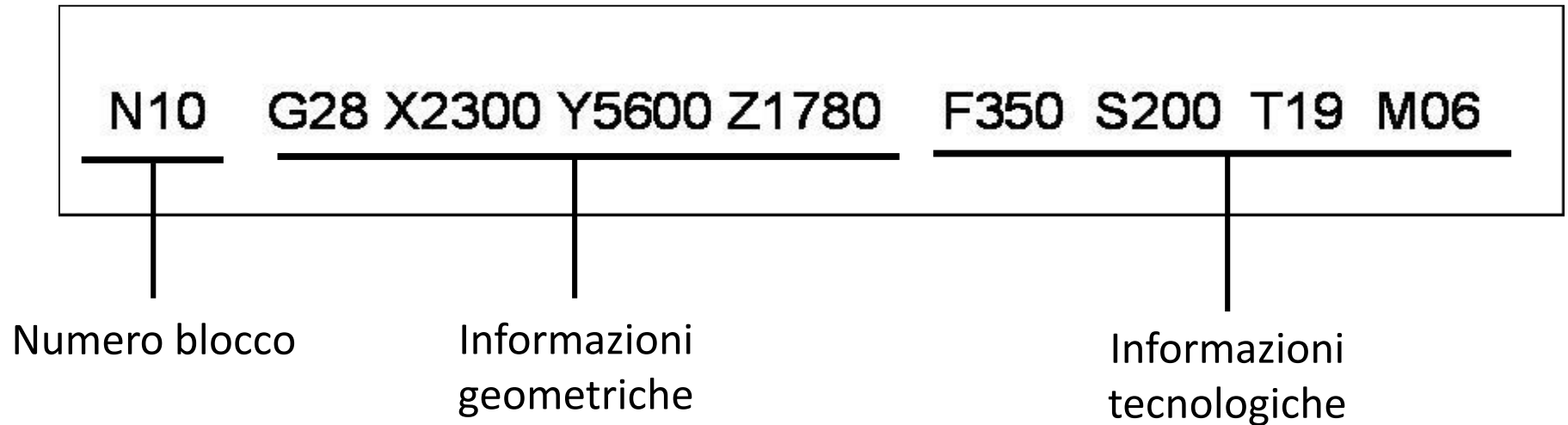
La programmazione EIA/ISO è una programmazione ad indirizzo con formato alfanumerico ed il programma di lavorazione di un pezzo è l'insieme di più operazioni sequenziali, dove ciascuna operazione è composta da più blocchi, a loro volta costituiti da insiemi di parole.

Un blocco definisce in modo completo un comando che la macchina utensile deve eseguire prima di passare al blocco successivo.

# Grammatica ISO



# Grammatica ISO



Ciascuna parola di un blocco è formata da un carattere alfabetico detto indirizzo e da un numero che indica un valore o un codice di funzione.

**N3 G2 X±4.3 Z±4.3 I±4.3 K±4.3 F4.1 S4 T222 M2**

# Grammatica ISO

## Indirizzi

Indirizzi di movimento: A, B, C, U, V, W, X, Y, Z

Funzioni macchina (sempre indirizzi): F, G, M, N, S, T

Indirizzi											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

Gli indirizzi possono essere di due tipi:

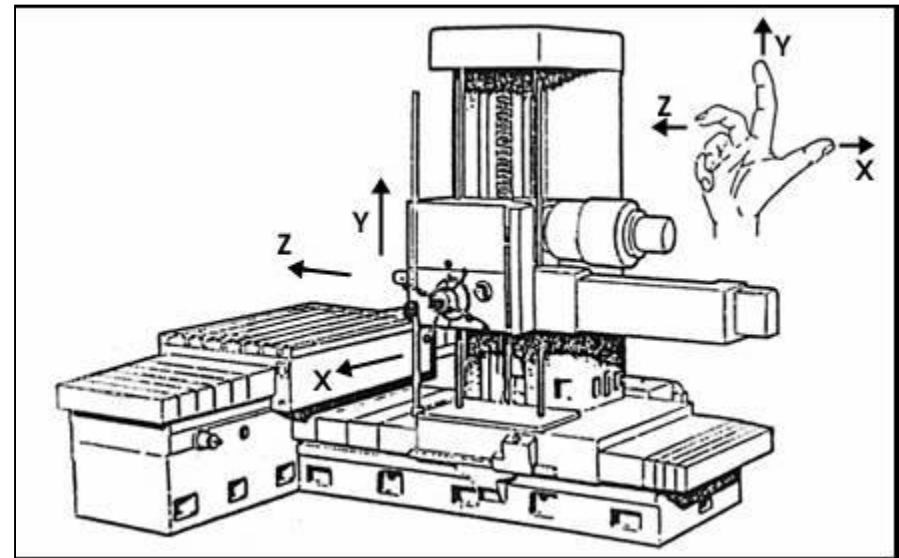
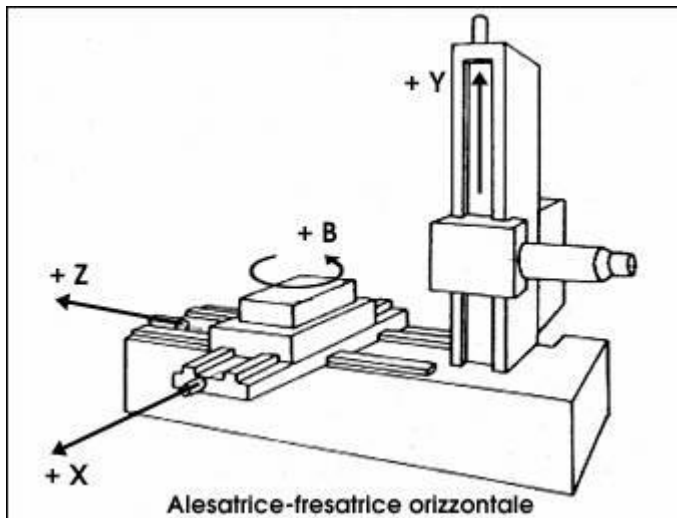
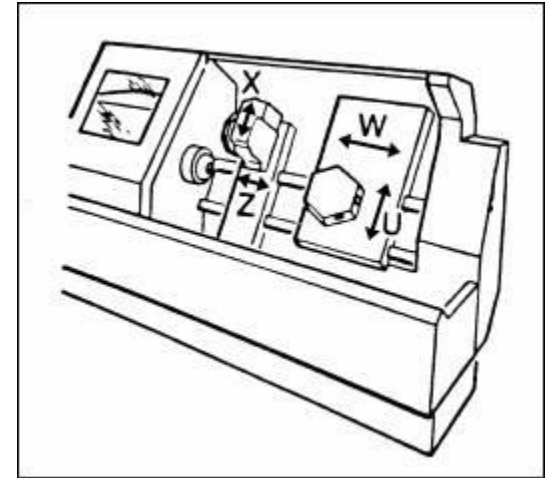
- **Modali:** rimangono attivi finché non vengono sostituiti da un altro indirizzo corrispondente
- **Non modali:** rimangono attivi nel blocco

# Grammatica ISO

## Indirizzi di movimento

### INDIRIZZI

- A coordinata angolare attorno all'asse X
- B coordinata angolare attorno all'asse Y
- C coordinata angolare attorno all'asse Z
- U movimento secondario parallelo all'asse X
- V movimento secondario parallelo all'asse Y
- W movimento secondario parallelo all'asse Z
- X movimento principale asse X
- Y movimento principale asse Y
- Z movimento principale asse Z



# Grammatica ISO

## Funzione N

Indirizzi											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
N numero di blocco											
%	123										
N5	G91 G01 X50 F500 LF										
N10	Z100 LF										
N15	X-30 LF										
N18	Z-5 LF										
N20	Z-10 LF										
N25	N25 M02 LF										

La funzione N:

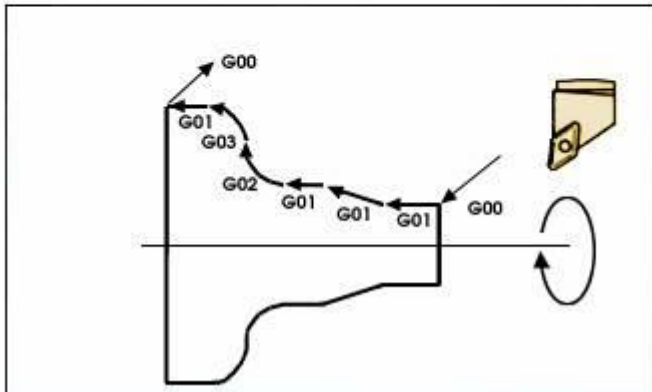
- Identifica un blocco
- È in ordine crescente
- È in ordine non progressivo (si possono lasciare dei «buchi» tra i blocchi)



# Grammatica ISO

## Funzione G

Indirizzi												
A	B	C	D	E	F	<b>G</b>	H	I	L	M	N	
O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	



La funzione G è una funzione preparatoria perché predispone il modo di esecuzione delle istruzioni successive.

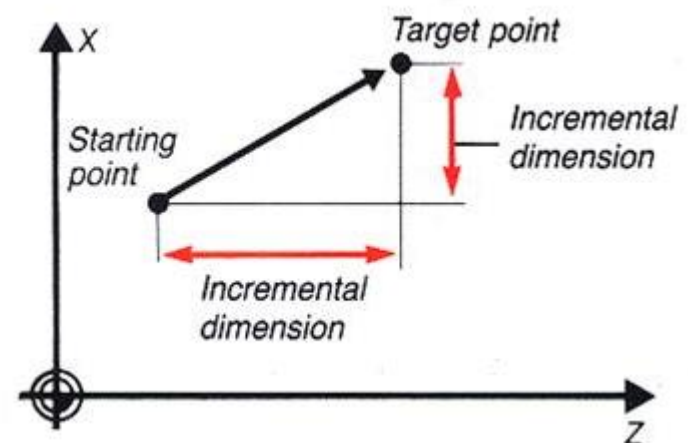
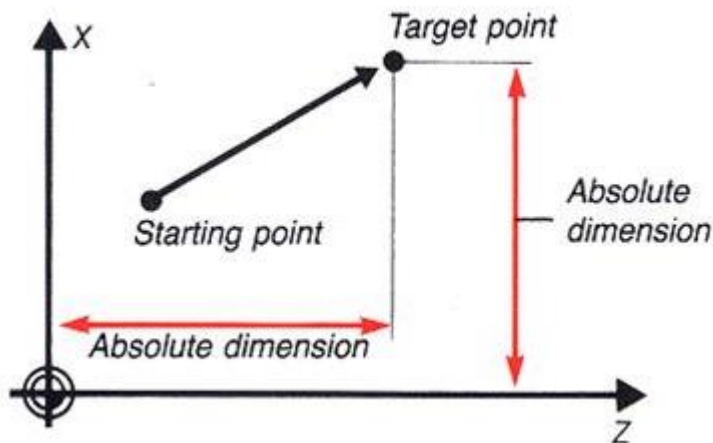
FUNZIONI PREPARATORIE													
G00	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G07	G08	G09	G10	G11	G12	G13 ÷ G16
G17	G18	G19	G20	G21	G22	G23	G24	G25 ÷ G29	G30	G31	G32	G33	G34
G35	G36 ÷ G39	G40	G41	G42	G43	G44	G45	G46	G47	G48	G49	G50	G51
G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61	G62	G63	G64	G65 ÷ G67
G68	G69	G70 ÷ G79	G80	G81 ÷ G89	G90	G91	G92	G93	G94	G95	G96	G97	G98 ÷ G99

# Grammatica ISO

## Funzione G (90 – 91)

Esempi di utilizzo della funzione G:

- **G90** per le istruzioni successive le coordinate sono considerate assolute
- **G91** per le istruzioni successive le coordinate sono considerate incrementali



# Grammatica ISO

## Funzione G (90 – 91)

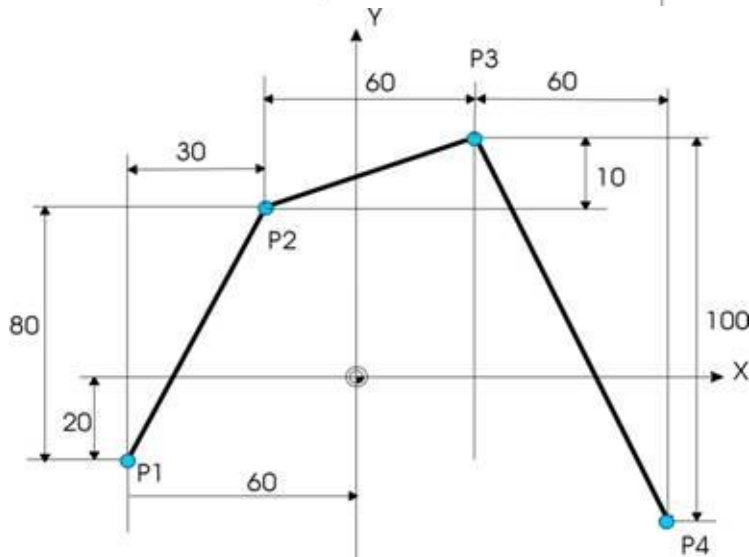
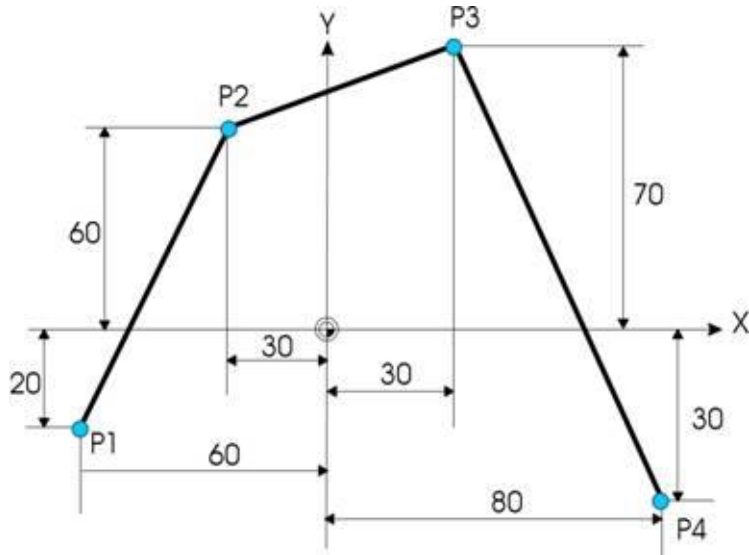
### Esempio 1

#### Coordinate assolute

N10	<b>G90</b>	
N11	X-60	Y-20
N12	X-30	Y60
N13	X30	Y70
N14	X80	Y-30

#### Coordinate incrementali

N10	<b>G90</b>	X-60	Y-20
N11	<b>G91</b>	X30	Y80
N12		X60	Y10
N13		X60	Y-100



# Grammatica ISO

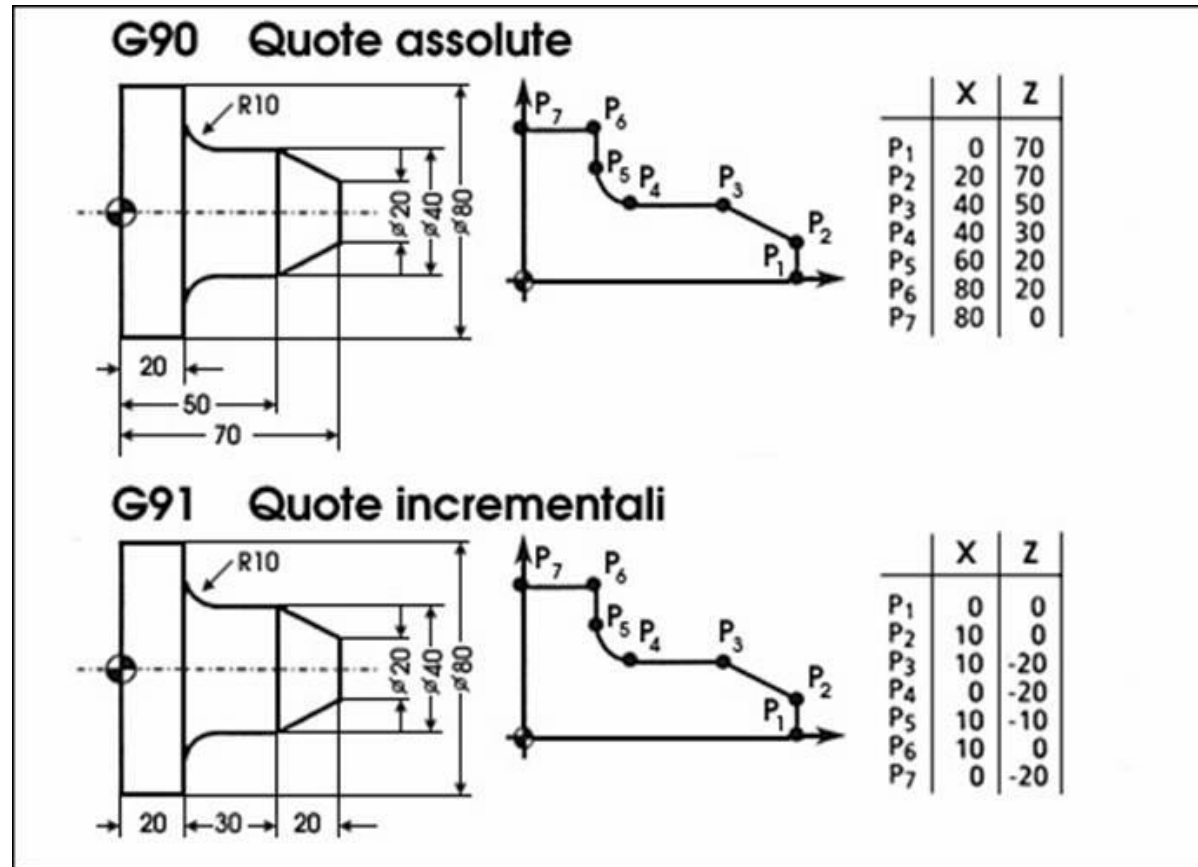
## Funzione G (90 – 91)

### Esempio 2

In tornitura:

- Le quote assolute sono diametrali

- Le quote incrementali sono radiali

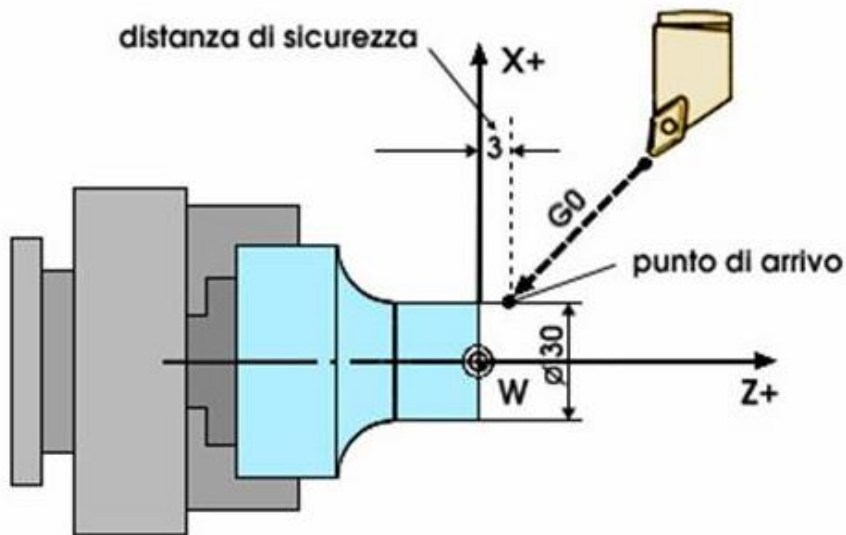


# Grammatica ISO

## Funzione G (00)

La funzione G comprende anche il posizionamento.

Il posizionamento è il movimento dell'utensile dalla posizione in cui si trova a quella che deve raggiungere per iniziare la lavorazione. Il moto avviene in velocità di rapido. Occorre indicare le coordinate del punto finale.



N100 G00 X30 Z3

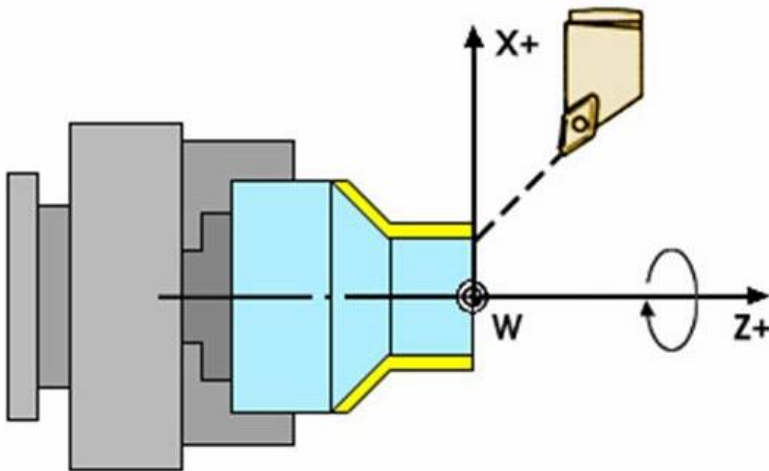
# Grammatica ISO

## Funzione G (01)

La funzione G con codice 01 prevede l'interpolazione lineare tra il punto precedente e quello settato nell'istruzione.

Si indicano:

- Coordinate del punto finale
- Velocità di rotazione del mandrino S
- Velocità di avanzamento F



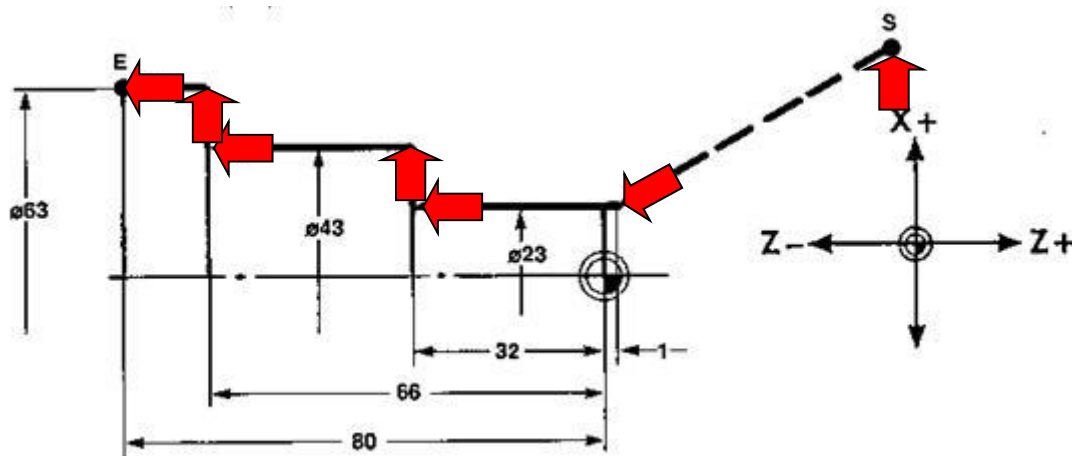
N180	G00	X20	Z2
N190	G01	Z-15	F0.2
N200	G01	X40	Z-25

# Grammatica ISO

## Funzione G (01)

### Esempio 3

- Traslazione in rapido (G00)
- Interpolazione lineare
- Coordinate assolute X, Z



G90			
G00	X23	Z1	S500
G01	Z-32	F0.2	
G01	X43	F0.1	
G01	Z-66	F0.2	
G01	X63	F0.1	
G01	Z-80	F0.2	

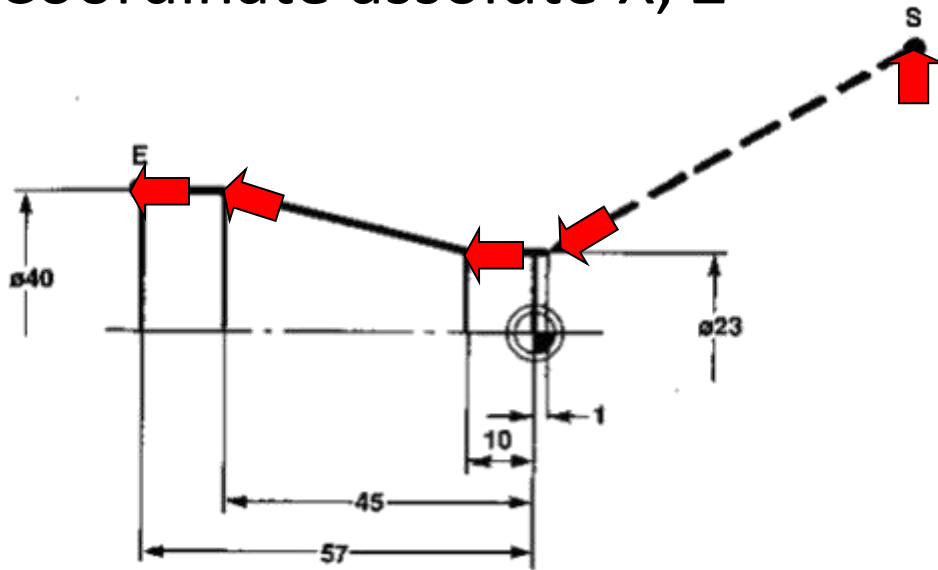
S: 500, F su Z: 0.2 mm/giro, F su X: 0.1 mm/giro

# Grammatica ISO

## Funzione G (01)

### Esempio 4

- Traslazione in rapido (G00)
- Interpolazione lineare diagonale con punto finale (G01)
- Coordinate assolute X, Z



G90		
G00	X23	Z1
G01	Z-10	F0.1
G01	X40	Z-45
G01	Z-57	

F: 0.1 mm/giro

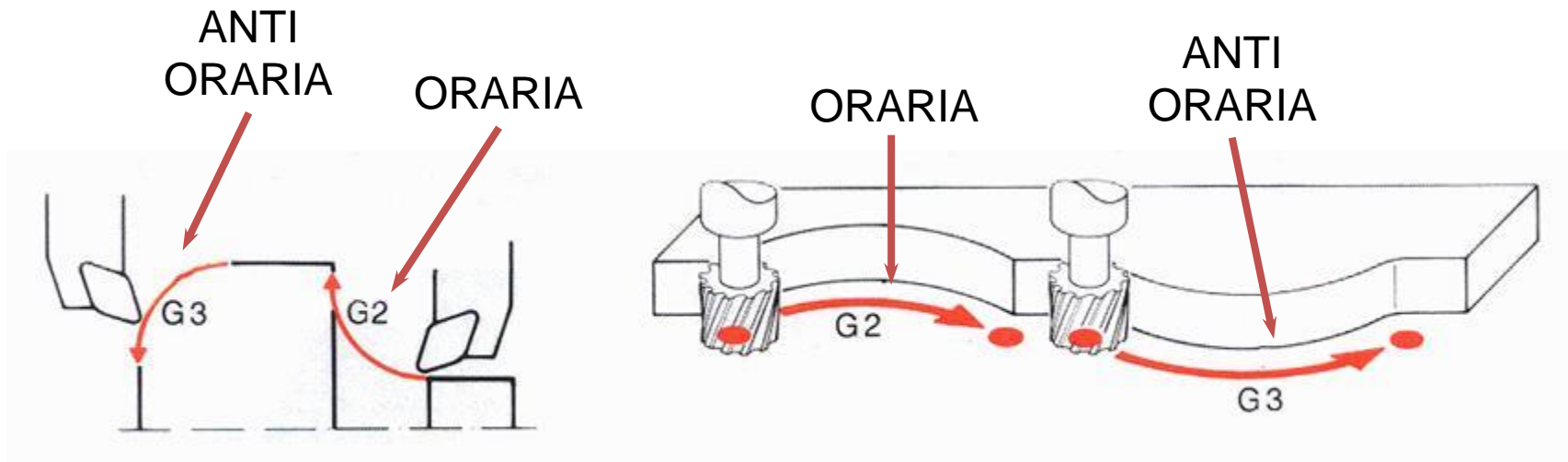
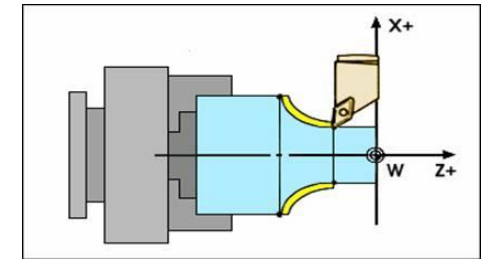


# Grammatica ISO

## Funzione G (02 – 03)

La funzione G con codici 02 e 03 consente di realizzare traiettorie con interpolazione circolare:

- **G02** interpolazione circolare oraria
- **G03** interpolazione circolare antioraria



# Grammatica ISO

## Funzione G (02 – 03)

Per descrivere una circonferenza sono necessarie 3 condizioni:

$$(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 = r^2$$

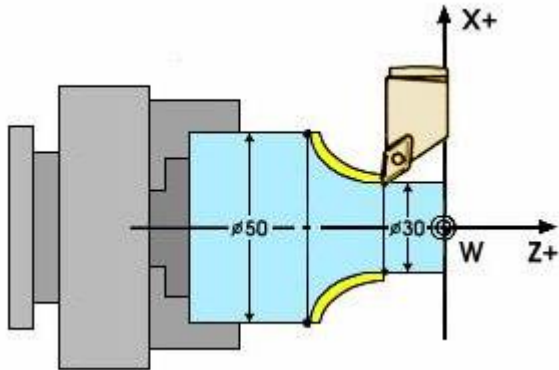
Ciò significa che, per ottenere una circonferenza in modo univoco ho bisogno di 3 condizioni:

- Punto finale (nella funzione sempre richiesto, assoluto)
- Coordinate del centro (oppure raggio R)  $X \rightarrow I, Y \rightarrow J, Z \rightarrow K$
- Punto finale (oppure estensione angolare)

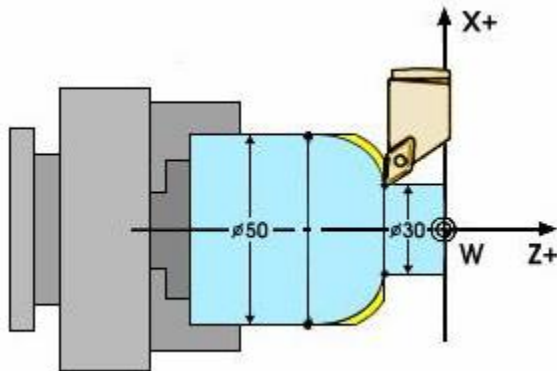
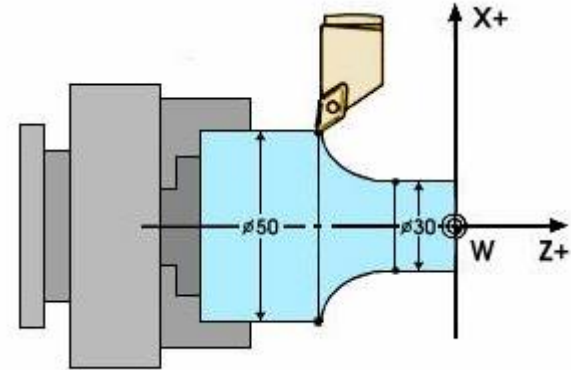
# Grammatica ISO

## Funzione G (02 – 03)

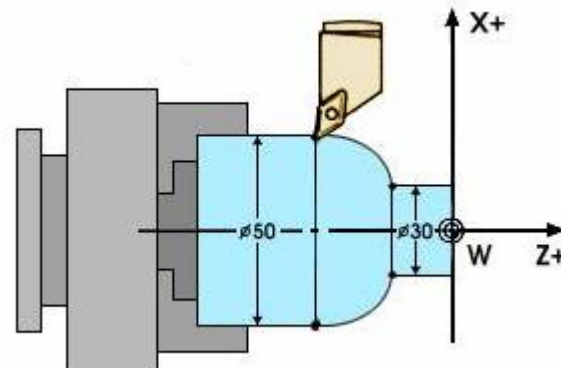
### Esempio 5



N100 **G02** X50 Z-35 I50 K-25



N150 **G03** X50 Z-35 I30 K-35

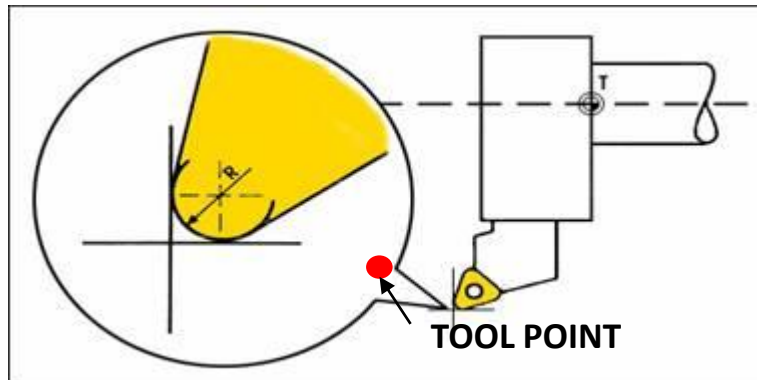


# Grammatica ISO

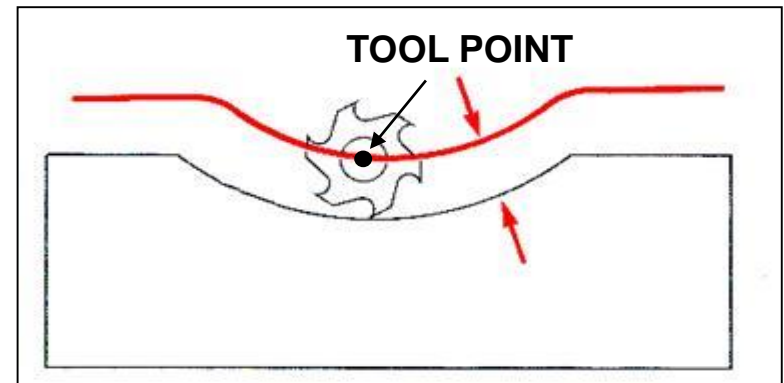
## Funzione G (40 – 42)

Il percorso dell'utensile viene programmato rispetto ad un punto di riferimento

**TORNITURA**

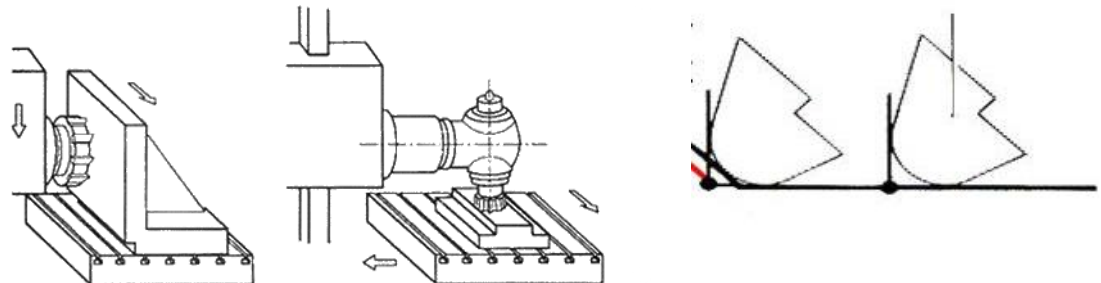


**FRESATURA**



In alcune operazioni il percorso del tool point coincide con il profilo del disegno:

- Tornitura longitudinale
- Spianatura



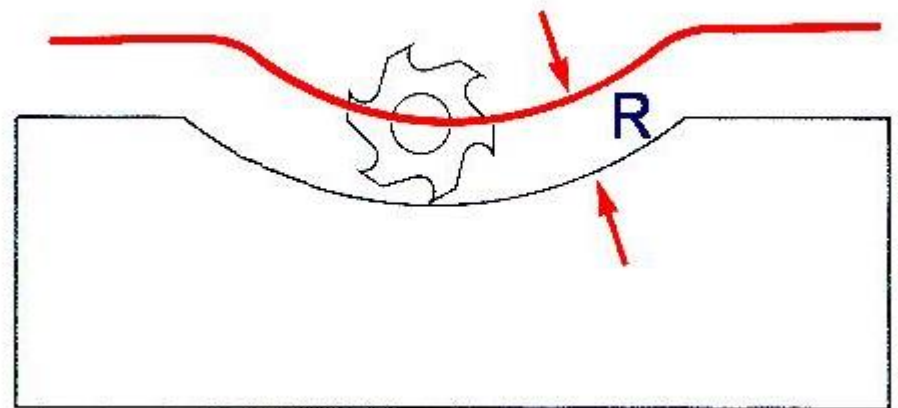
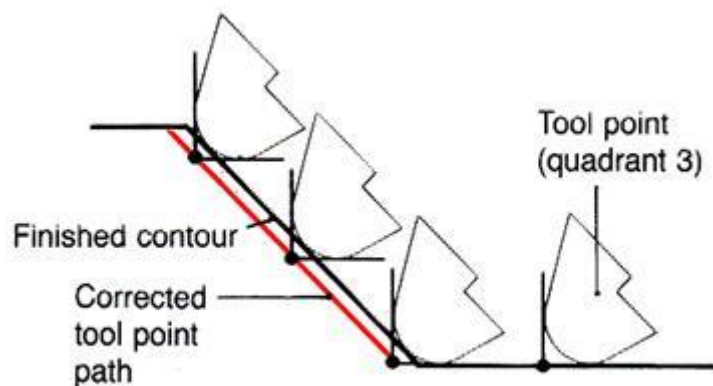
# Grammatica ISO

## Funzione G (40 – 42)

In altre operazioni è necessario distinguere tra:

- Traiettoria dell'utensile
- Quota del disegno

È solitamente disponibile la compensazione raggio utensile, che consente di programmare direttamente utilizzando le quote del disegno.



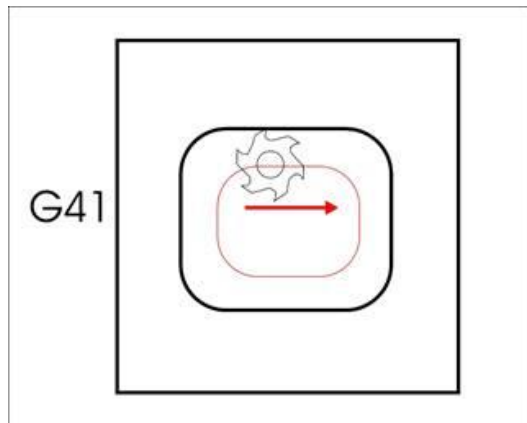
# Grammatica ISO

## Funzione G (40 – 42)

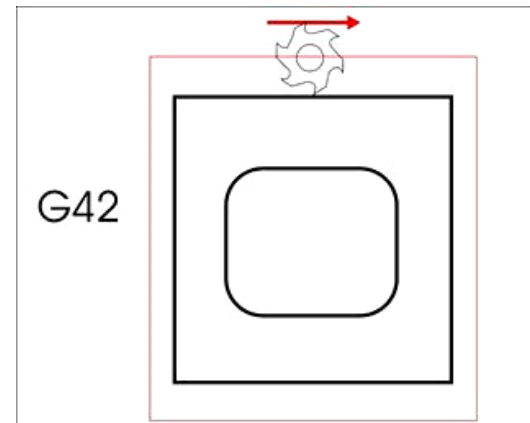
La **compensazione raggio utensile** è molto semplice: conoscendo il raggio R della fresa, il CN calcola la traiettoria che l'asse dovrà compiere affinché il tagliente segua il profilo:

- **G40** Compensazione utensile disabilitata
- **G41** Compensazione utensile sinistra
- **G42** Compensazione utensile destra

a SINISTRA



a DESTRA



# Grammatica ISO

## Funzione G (94 – 97)

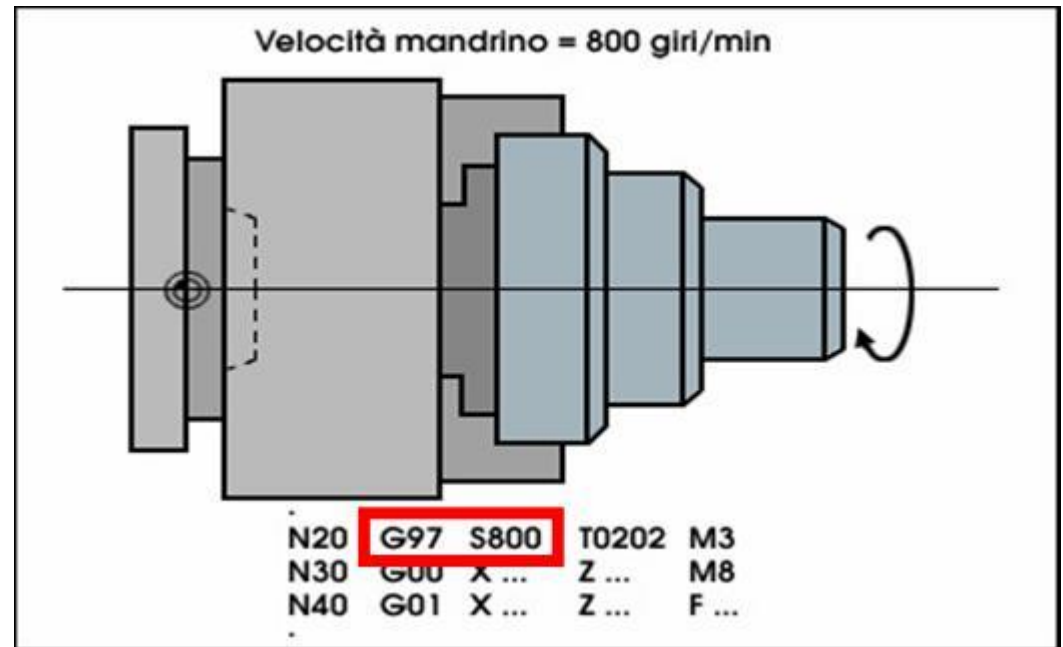
La funzione G comprende anche una serie di informazioni tecnologiche riguardo la lavorazione da effettuare.

- **F**: velocità di avanzamento

- **G94** [mm/min.] (default)
- **G95** [mm/giro]

- **S**: velocità di taglio

- **G96** [m/min.]
- **G97** [giri/min.] (default)



# Grammatica ISO

## Funzione T

Attraverso la funzione T è possibile definire il tool da utilizzare e le informazioni ad esso associate.

L'istruzione T contiene:

- Numero della posizione dell'utensile
- Numero di correzione

Il numero di correzione fa riferimento al blocco di dati che contiene le dimensioni di set-up dell'utensile

N20 ....T0202

n° posizione utensile

n° blocco di dati





# Grammatica ISO

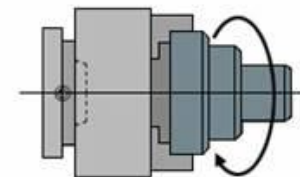
## Funzione M

La funzione M comprende comandi ausiliari al CN.

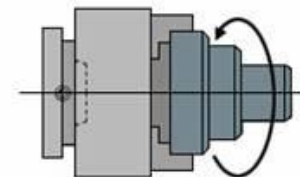
M00	stop programma
M03	rotazione oraria del mandrino
M04	rotazione antioraria del mandrino
M05	arresto mandrino
M06	cambio utensile
M08	attiva lubrorefrigerante
M09	esclude lubrorefrigerante
M72	blocca la contropunta
M10/11	blocca/sblocca il pezzo
M60	cambio barra
M30	fine del programma
...	

FUNZIONI AUSILIARIE										
M00	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10
M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17 ÷ M18	M19	M20 ÷ M29	M30	M31
M32 ÷ M35	M36	M37	M38	M39	M40 ÷ M45	M46 ÷ M47	M48	M49	M50	M51
M52 ÷ M54	M55	M56	M57 ÷ M59	M60	M61	M62	M63 ÷ M67	M68	M69	M70
M71	M72	M73 ÷ M77	M78	M79	M80 ÷ M89	M90 ÷ M99				

**M03 Rotazione mandrino in senso orario**



**M04 Rotazione mandrino in senso antiorario**



# Grammatica ISO

## Funzione M

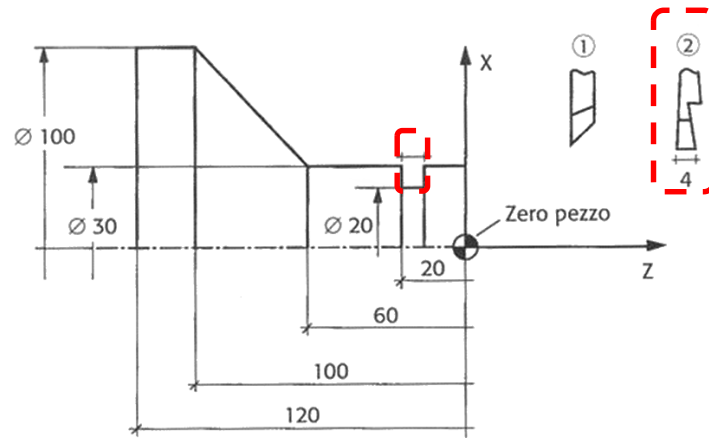
Le istruzioni M possono formare un blocco a sé stante o in unione con istruzioni di tipo G e di tipo T.

Se le funzioni M vengono programmate in un blocco contenente movimenti degli assi, esse sono attive prima del movimento.

In un blocco possono essere contenute fino a tre istruzioni tipo M.

# Esercizi

## Esercizio 1



Si realizzi un software per CN che consenta di eseguire la tornitura rappresentata, con:

- Rotazione antioraria del mandrino, con lubrificante
- Velocità di taglio per utensile 1 di 100 m/min (solo lo scavo in rosso fatto con 2)
- Velocità di taglio per l'utensile 2 di 300 giri/min
- Utilizzo lubrificante

# Esercizi

## Esercizio 1

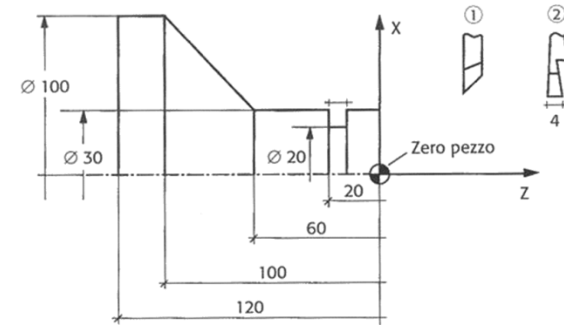
Diagram illustrating a CNC program sequence (N10 to N100) and its corresponding mechanical part dimensions.

**Program Sequence:**

- N10: T0101 M06 (Selezione tool 01)
- N20: G90 G96 S100 M04 M08 (Impostazione quote assolute, setup mandrino e avvio lubrificante)
- N30: G00 X30 Z0 (Rapido 30,0)
- N40: G01 Z-60 (Lineare 30,-60)
- N50: X100 Z-100 (Lineare 100,-100)
- N60: Z-120 (Lineare 100,-120)
- N70: G00 X150 Z150 M09 (Rapido 150,150 e spegnimento lubrificante)
- N80: T0202 M06 (Selezione tool 02)
- N90: G97 S300 M04 M08 (Setup mandrino e avvio lubrificante)
- N100: G00 X31 Z-20 (Rapido 31,-20)
- N110: G01 X20 (Lineare 20,-20)
- N120: G00 X31 (Rapido 31,-20)
- N130: Z150 M05 M09 M30 (Rapido 31,150, spegnimento mandrino, lubrificante e fine programma)

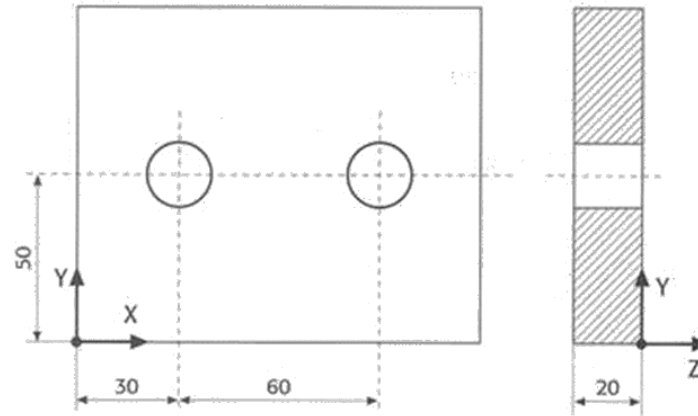
**Mechanical Part Dimensions:**

- Overall length: 120
- Overall diameter:  $\varnothing 100$
- First section diameter:  $\varnothing 30$
- Second section diameter:  $\varnothing 20$
- Third section diameter:  $\varnothing 20$
- Fourth section diameter:  $\varnothing 20$
- Zero pezzo (Reference point)
- Section lengths: 30, 60, 20, 10



# Esercizi

## Esercizio 2

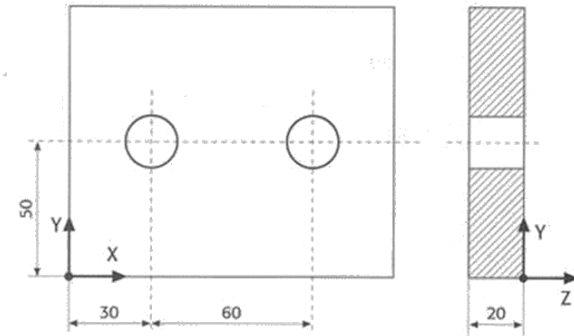


Si realizzi un software per CN che consenta di eseguire la lavorazione rappresentata, con:

- Utilizzo utensile 02 (configurazione 03) con rotazione oraria del mandrino
- Velocità di avanzamento 0.2 mm/giro
- Velocità di taglio di 1200 giri/min
- Utilizzo lubrificante

# Esercizi

## Esercizio 2



Abilitazione quote assolute e  
selezione tool 02 con conf. 03

N10	G90	T0203	M06			
	G95	G97	F0.2	S1200	M03	M08
N20	G00	X30	Y50	Z1		
N30	G01	Z-21				
N40	G00	Z1				
N50	G00	X90				
N60	G01	Z-21				
N70	G00	Z1				
N80	G00	Z100	M05	M09	M30	

Rapido 30,50,1

Lineare 30,50,-21

Rapido 30,50,1

Rapido 90,50,1

Lineare 90,50,-21

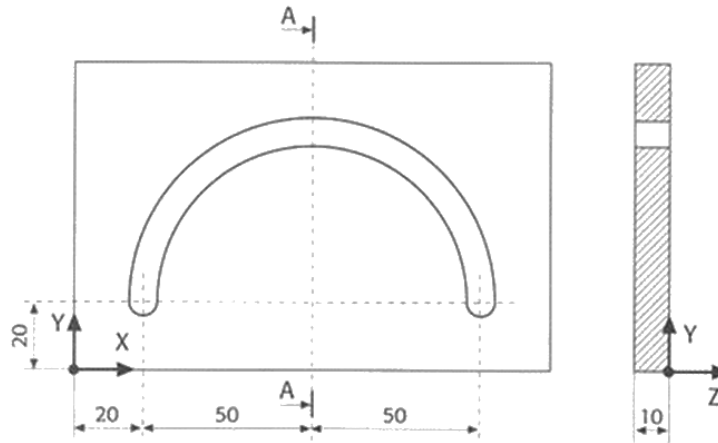
Rapido 90,50,1

Rapido 90,50,100, spegnimento  
mandrino, lubrificante e fine  
programma

Settaggi mandrino e  
avvio lubrificante

# Esercizi

## Esercizio 3



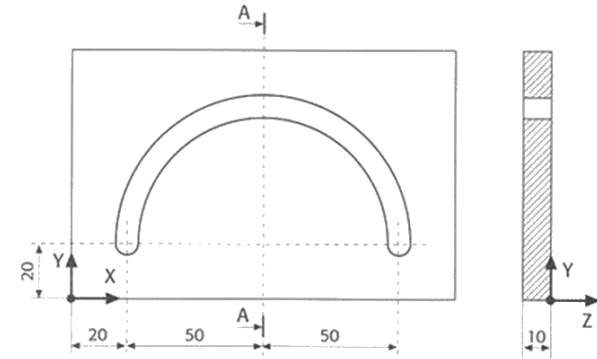
Si realizzi un software per CN che consenta di eseguire la lavorazione rappresentata, con:

- Utilizzo utensile 04 (configurazione 02) con rotazione oraria del mandrino
- Velocità di avanzamento 100 mm/min
- Velocità di taglio di 6000 giri/min
- Utilizzo lubrificante

# Esercizi

## Esercizio 3

Abilitazione quote assolute e  
selezione tool 04 con conf. 02



N10

G90 T0402 M06

G94 G97 F100 S6000 M03 M08

Settaggi mandrino e  
avvio lubrificante

N20

G00 X20 Y20 Z1

Rapido 20,20,1

N30

G01 Z-11

Lineare 20,20,-11

N40

G02 X120 Y20 I70 J20

Arco con centro 70,20 (su X e Y),  
punto finale 120,20,-11

N50

G00 Z1

Rapido 120,20,1

N60

G00 Z100 M05 M09 M30

Rapido 120,20,100, spegnimento  
mandrino, lubrificante e fine  
programma



# Esercizi

## Esercizio 4

Descrivere la forma della lavorazione effettuata con il seguente codice:

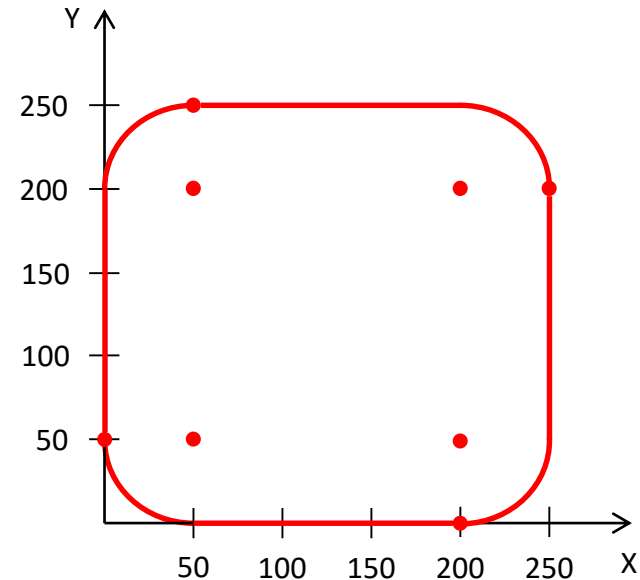
N1	G00	X0	Y50		
N2	G01	X0	Y200		
N3	G02	X50	Y250	I50	J200
N4	G01	X200	Y250		
N5	G02	X250	Y200	I200	J200
N6	G01	X250	Y50		
N7	G02	X200	Y0	I200	J50
N8	G01	X50	Y0		
N9	G02	X0	Y50	I50	J50

# Esercizi

## Esercizio 4

Descrivere la forma della lavorazione effettuata con il seguente codice:

N1	G00	X0	Y50		
N2	G01	X0	Y200		
N3	G02	X50	Y250	I50	J200
N4	G01	X200	Y250		
N5	G02	X250	Y200	I200	J200
N6	G01	X250	Y50		
N7	G02	X200	Y0	I200	J50
N8	G01	X50	Y0		
N9	G02	X0	Y50	I50	J50

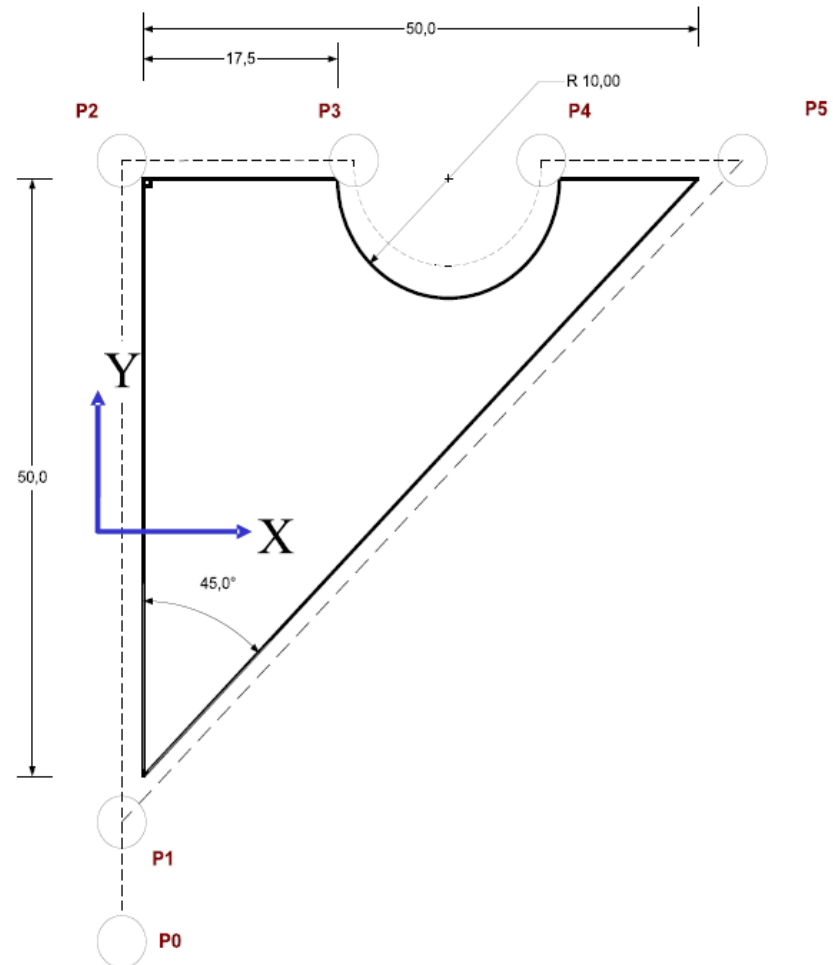


# Esercizi

## Esercizio 5

### Ipotesi:

- Mandrino in senso orario, con lubrificante (utensile 01)
- $P0 = 0, -10$ ;  $P1 = 0, 0$
- Movimento  $P1 - P2 - \text{ecc...}$
- Utilizzo compensazione raggio utensile (destra, G42)
- $F = 300 \text{ mm/min.}$
- $S = 1000 \text{ giri/min.}$



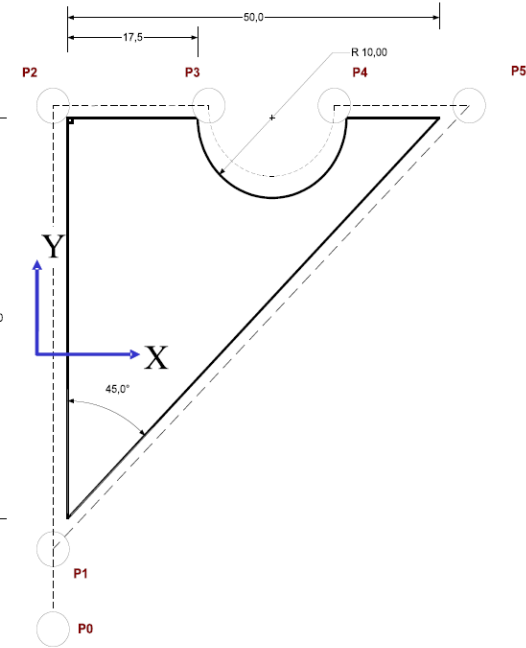
# Esercizi

## Esercizio 5

Abilitazione quote assolute e  
selezione tool 01

Settaggi mandrino e  
avvio lubrificante

```
N10 [G90 T01 M06]
     [G42 F300 S1000 M03 M08]
N20 [G00 X0 Y-10] → Rapido 0,-10
N30 [G01 Y50] → Lineare 0,50
N40 [G01 X17.5] → Lineare 17.5,50
N50 [G03 X37.5 Y50 I27.5 J50] → Interpolazione circolare antioraria per
N60 [G01 X50] → Lineare 50,50
N70 [G01 X0 Y0] → Lineare 0,0
N80 [G00 X0 Y-10 M05 M09 M30] → Rapido 0,-10, spegnimento
```



Interpolazione circolare antioraria per  
arrivare in 37.5,50, con centro 27.5,50

Rapido 0,-10, spegnimento  
mandrino, lubrificante e  
fine programma