



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



---

*PAS \_ A020 \_ UNIPD \_ 2015*

*Didattica delle tecnologie meccaniche di  
processo e di prodotto.*

*Professore Domenico Fernando Antonucci*

---



*PAS \_ A020\_UNIPD\_2015*



---

*Didattica delle tecnologie meccaniche di  
processo e di prodotto.*

*Analisi, Riflessioni, Esercitazioni*

---

*Professore Domenico Fernando Antonucci*



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

## *Le macchine utensili*



---

### **Definizione della macchina utensile e suo inserimento nel sistema produttivo.**

*La macchina utensile è costituita da un insieme di componenti - strutture, sopporti del pezzo e dell'utensile, azionamenti, organi per la trasmissione delle informazioni (tecnologiche e geometriche) e per il controllo (apparecchi di misura) - che riceve energia, dati e materiali allo scopo di modificare le caratteristiche di questi ultimi, con asportazione di sovrametallo in forma di truciolo attraverso una serie di operazioni.*

*La struttura della macchina utensile, prodotta per fusione di ghisa oppure in acciaio saldato, ha il compito di sostenere i vari organi strutturali, assicurandone la posizione geometrica e gli spostamenti reciproci.*

*Il progetto della struttura e degli organi strutturali è impostato sulla valutazione delle forze che devono trasmettersi fra i vari organi, della loro intensità, della costanza o variabilità periodica e sulle conseguenti deformazioni alle quali è legata la precisione delle lavorazioni. Pertanto le strutture richiedono sufficienti rigidità e stabilità, affinché siano in grado di evitare vibrazioni di disturbo.*



*Criterio di progetto* adottato per gli organi delle macchine utensili era, in passato, la verifica delle deformazioni dei vari organi, effettuata considerando le sollecitazioni statiche, mentre attualmente si valutano sia le componenti dinamiche delle sollecitazioni stesse dalle quali dipendono le vibrazioni, sia in genere il comportamento dinamico della macchina in lavorazione.

Per quanto riguarda la *forma delle strutture*, il capitolo 2 ne indicherà le caratteristiche; si ricorda però sin d'ora la validità delle strutture modulari ad elementi componibili, che consentono una maggiore normalizzazione (« standardizzazione ») nella produzione ed offrono possibilità di rapide trasformazioni.



Fra gli *organi strutturali* di particolare importanza vanno annoverati i sopporti del pezzo e degli utensili, che devono assicurare la posizione relativa fra pezzi e utensili ed i movimenti relativi (denominati *di lavorazione*), i quali devono attribuire al pezzo la forma geometrica voluta ed attuarsi secondo determinate condizioni di velocità e di precisione.

I *movimenti di lavorazione*<sup>1</sup> sono di due tipi: il *moto di taglio*, che deve assicurare l'azione di asportazione del truciolo, ed i *moti di avanzamento*, che devono assicurare una regolare alimentazione di nuove zone del pezzo da lavorare in corrispondenza con l'utensile.

Dalla quantità di sovrametallo che deve essere asportato ad ogni passata deriva un altro parametro: la *profondità di passata*, il cui valore è realizzato con opportuna registrazione fra pezzo ed utensile.



I movimenti di lavorazione sono ottenuti con gli azionamenti (v. cap. 3) che, prelevando il moto dal motore, lo trasmettono — realizzando opportune condizioni cinematiche e dinamiche — agli organi di utilizzazione, ossia ai mandrini portapezzo o portautensili. I movimenti di taglio, siano essi rotatori o rettilinei alternativi, sono definiti con i valori della *velocità di taglio* (espresse generalmente in [m/min] e, per le rettificatrici, in [m/s]); i movimenti di avanzamento — continui o intermittenti — sono definiti dalle *velocità di avanzamento* (espresse in [mm/giro] del mandrino oppure in [mm/min]).

In funzione dei movimenti, è possibile una classificazione delle macchine utensili convenzionali (Tab. 1.1 e figg. 1.1; 1.2).



TABELLA 1.1

CLASSIFICAZIONE DELLE MACCHINE UTENSILI (secondo i movimenti)	
MOTO DI TAGLIO	ROTATORIO: torni, trapani, alesatrici, fresatrici, rettificatrici (impresso al mandrino) (velocità di taglio ( $v$ ) = velocità periferica dell'elemento rotante [m/min])
	ALTERNATIVO: limatrici, mortasatrici, piallatrici (velocità di taglio media ( $v_m$ ) = velocità media della corsa di lavoro [m/min])
MOTO DI AVANZAMENTO	CONTINUO: (per le macchine a moto di taglio rotatorio) La velocità di avanzamento $v_a$ è espressa in mm/giro se il moto è derivato da quello di taglio; in mm/min se indipendente
	INTERMITTENTE $v_a$ in mm/min lento (se lo spostamento avviene durante la corsa di ritorno) rapido (se avviene tra la fine della corsa di ritorno e l'inizio della nuova passata)
REGISTRAZIONI	sono movimenti attuati prima di iniziare la lavorazione, per disporre pezzo e utensile in posizione relativa opportuna. La loro precisione è determinante per la precisione delle quote del pezzo lavorato

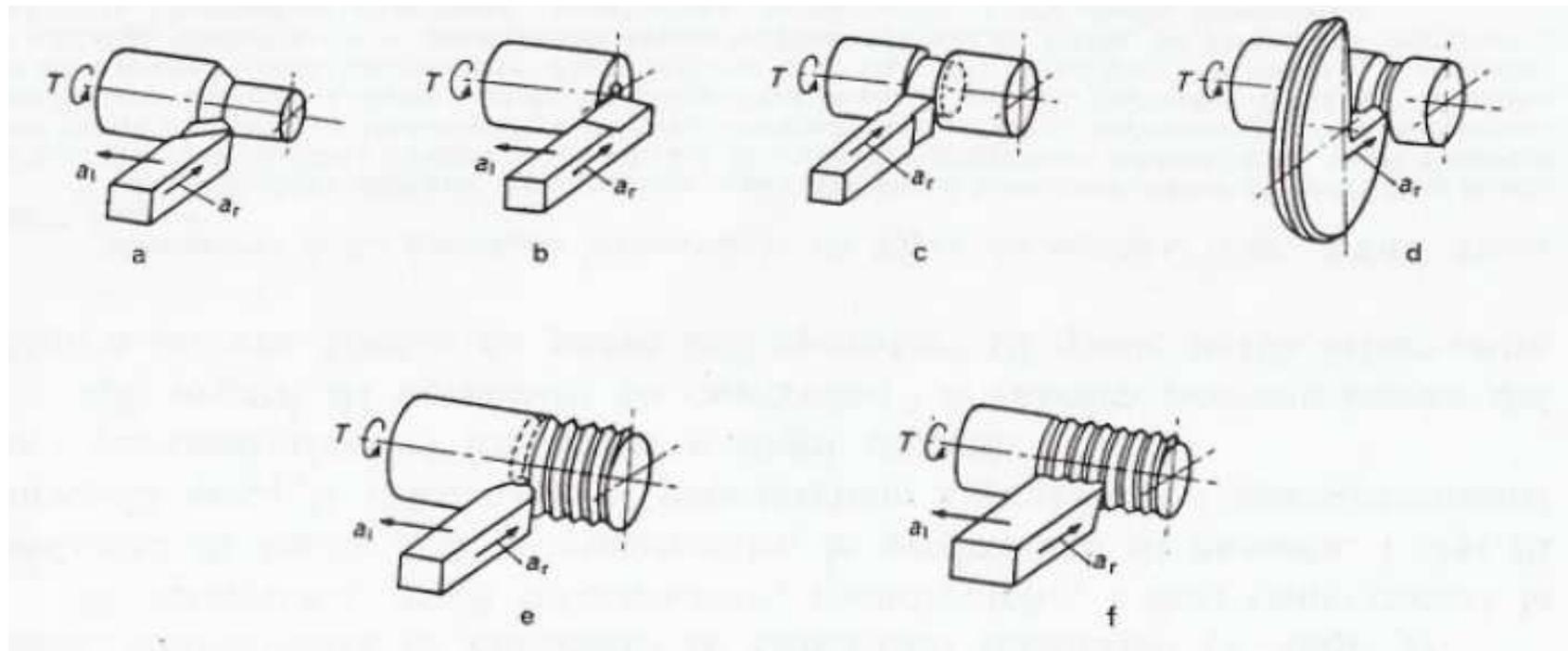
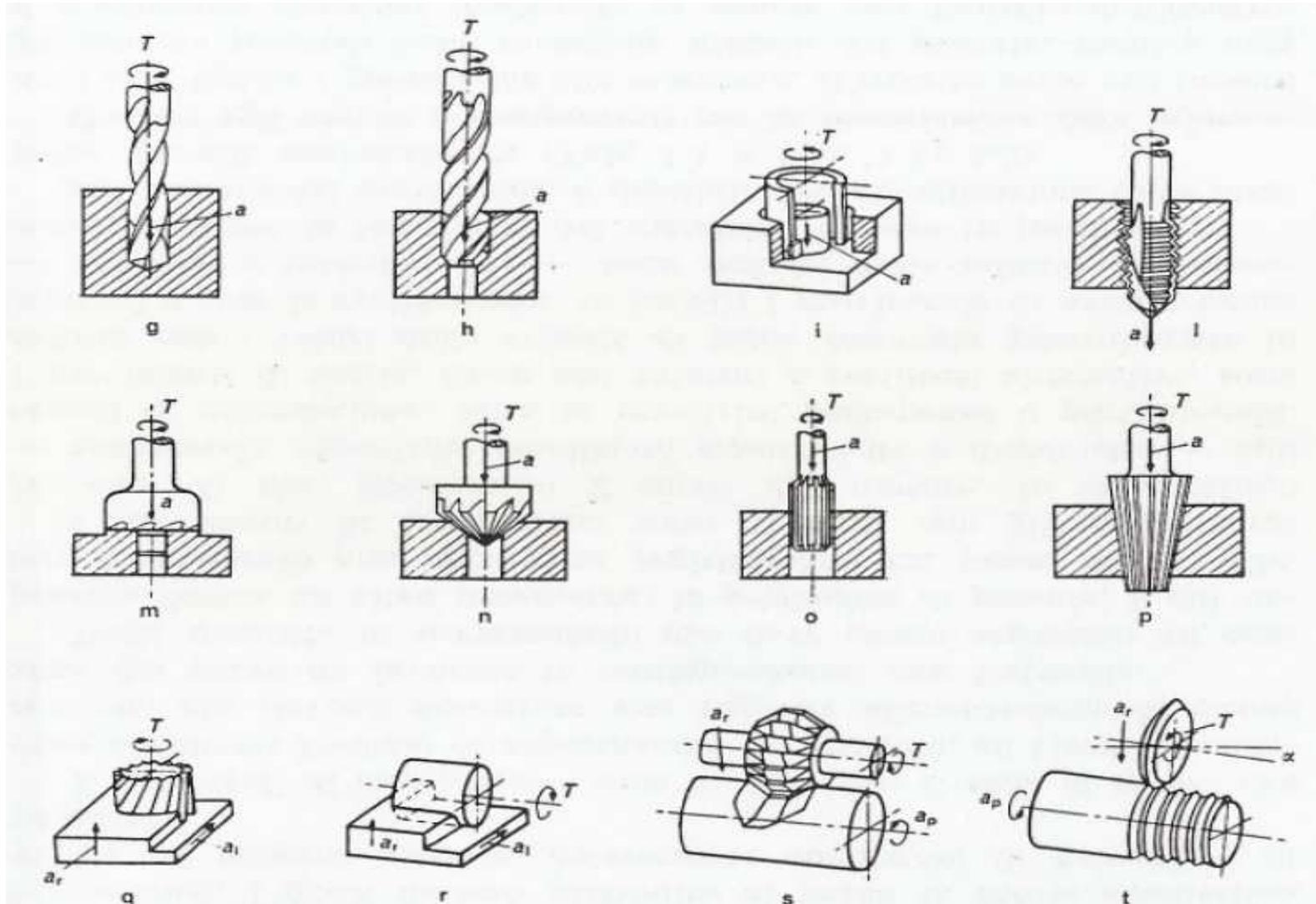
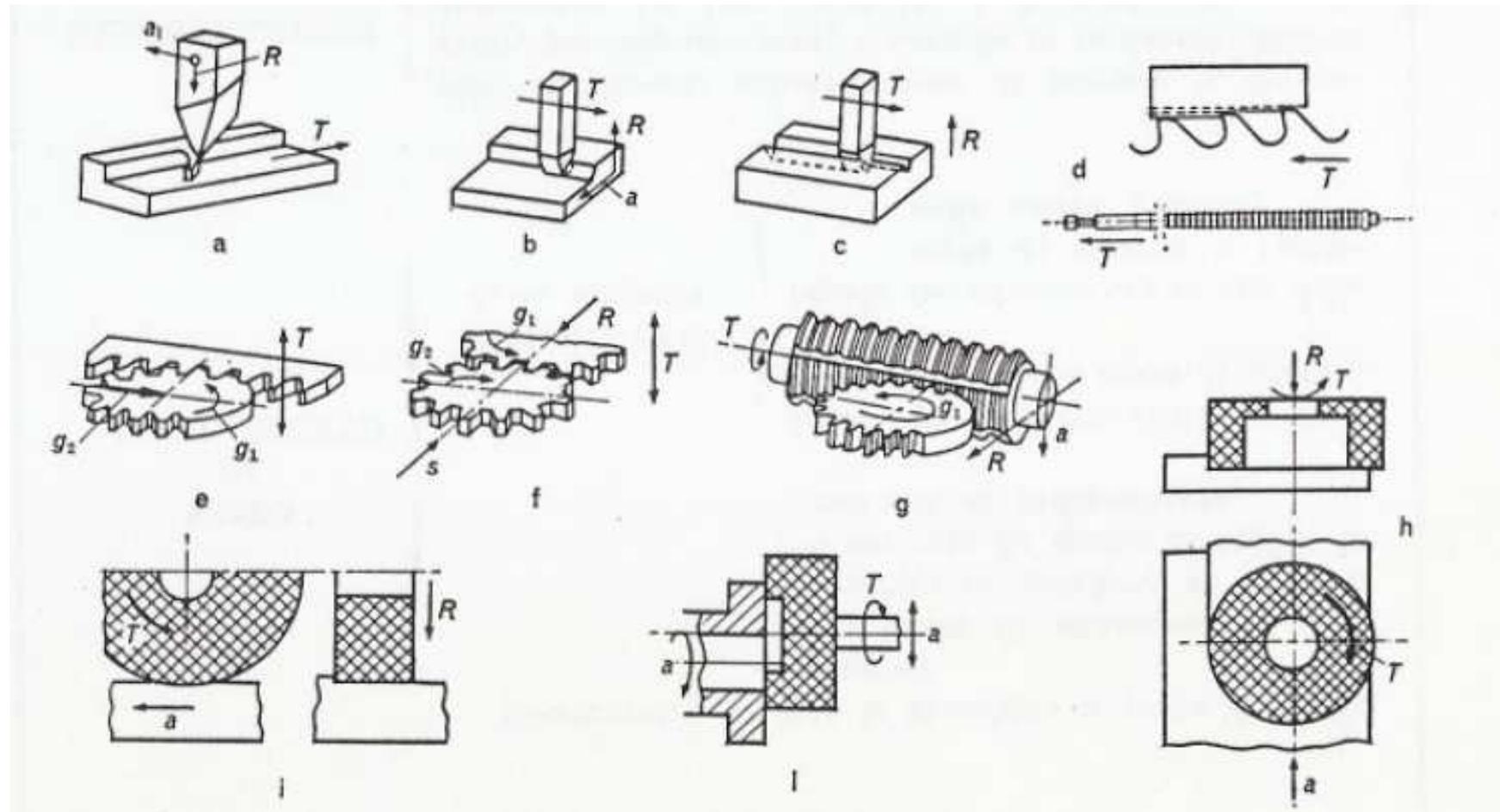


Fig. 1.1. Schemi delle lavorazioni convenzionali ad asportazione di truciolo con moto di taglio rotatorio: a, tornitura cilindrica; b, tornitura di sfacciatura; c, tornitura di troncatura; d, tornitura di forma; e, sflettatura; f, sflettatura con utensili di forma; g, foratura; h, foratura con preforo; i, foratura con utensile a corona; l, maschiatura; m, lamatura; n, svasatura conica; o, alesatura cilindrica; p, alesatura conica; q, fresatura frontale; r, fresatura cilindrica; s, fresatura con utensili di forma; t, fresatura di filetti. [T, moto di taglio; a, moto di avanzamento;  $a_r$ , avanzamento radiale o regressione;  $a_l$ , avanzamento longitudinale;  $a_p$ , avanzamento periferico].







UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

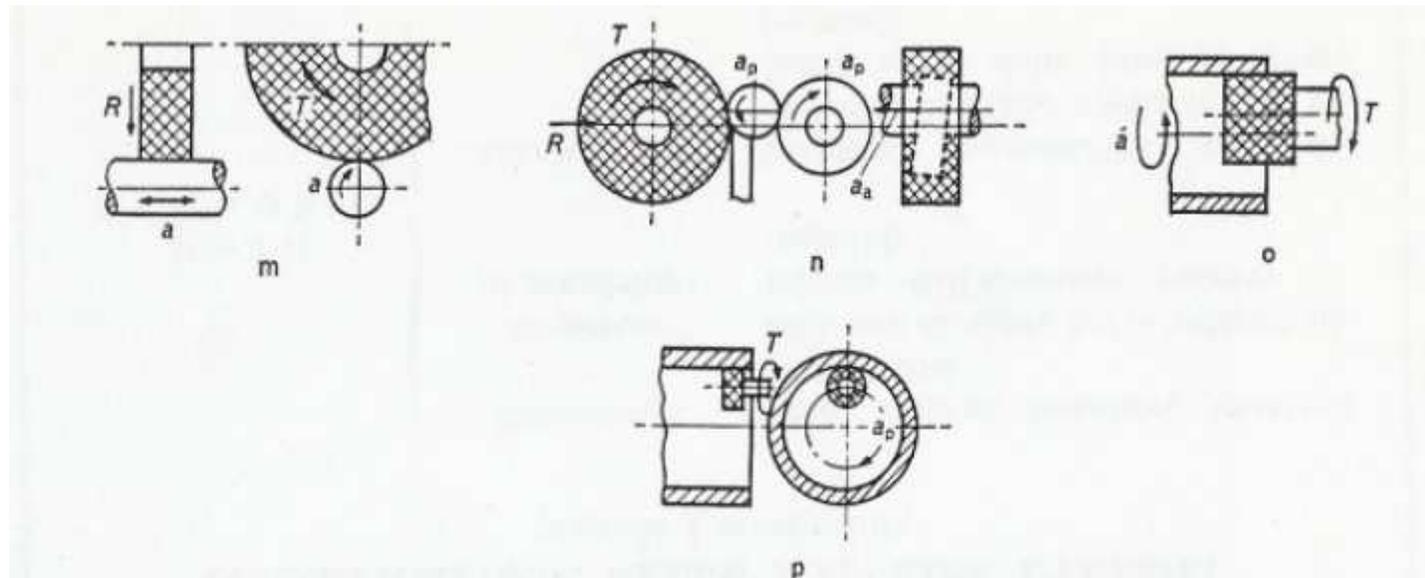


Fig. 1.2. Schemi delle lavorazioni convenzionali ad asportazione di truciolo e ad abrasione (rettificazione): a, piallatura; b, limatura; c, limatura di forma; d, brocciatura; e, esecuzione di ruote dentate con utensile a pettine; f, esecuzione di ruote dentate con coltello Fellows; g, esecuzione di ruote dentate con utensili a creatore; h, rettificazione piana con mola ad azione frontale; i, rettificazione piana con mola ad azione periferica; l, rettificazione piana; m, rettificazione di cilindri esterni; n, rettificazione senza centri; o, rettificazione di interni con moto di taglio all'utensile e di avanzamento al pezzo; p, rettificazione di interni con moto planetario all'utensile. [ $T$ , moto di taglio;  $a$ , moto di avanzamento;  $R$ , registrazioni;  $\vartheta_1, \vartheta_2$ , moti di generazione;  $s$ , moto di scostamento;  $a_p$ , avanzamento periferico;  $a_a$ , avanzamento assiale].



Quanto agli organi o componenti per la *trasmissione delle informazioni tecnologiche e geometriche alla macchina*, si ricorda come essi fossero unicamente manuali nelle macchine utensili del passato, mentre oggi si presentano soluzioni, realizzate in genere con l'ausilio dell'elettronica, denominate di comando (o controllo) numerico (v. cap. 4).

Si intendono, quali informazioni tecnologiche, i dati concernenti le velocità di taglio e di avanzamento, le profondità di passata, i tipi di utensili ecc.; le informazioni geometriche riguardano i posizionamenti o i percorsi relativi dei pezzi e degli utensili.

Gli organi di comando (o controllo)<sup>2</sup> e misura possono essere del tipo a lettura diretta da parte dell'operatore (il quale potrà intervenire

manualmente se si tratta di macchine convenzionali) oppure essere costituiti da trasduttori in grado di informare gli organi di comando (unità di governo della macchina ed azionamenti) e formare così una catena a retroazione.

Oltre alle soluzioni per la trasmissione delle informazioni con comandi numerici, altre sono attuate con comandi analogici (v. Cap. 4).

Esempi di tali soluzioni sono forniti dai dispositivi a copiare in grado di riprodurre una forma definita e materializzata, percorsa da



un tastatore, la quale fornisce con continuità informazioni di tipo analogico (tensioni, intensità di corrente o pressioni di liquidi ecc.).

È stato ricordato che alla macchina perviene *energia* di tipo elettrico (talvolta pneumatica od oleodinamica, soltanto nell'azionamento di dispositivi ausiliari), per alimentare gli azionamenti: motori, organi meccanici di trasmissione, mandrini. L'energia subisce perdite nell'attraversare la macchina, a causa delle trasformazioni da energia elettrica in meccanica oppure oleopneumatica e poi meccanica: tali perdite sono state assunte quale misura del rendimento della macchina (v. oltre).



Alla macchina utensile, oltre alla energia ed ai dati di lavorazione, pervengono i materiali in forme diverse: spezzoni, barre, fusioni ecc.; con un insieme di *attrezzature* si provvede al fissaggio dei pezzi sulle macchine; in alcuni casi le macchine dispongono di *caricatori automatici*, che inviano automaticamente il pezzo alla macchina, posizionandolo nella zona di lavoro ove appropriati dispositivi di serraggio completano il montaggio.

La macchina è completata dagli *utensili*, che esercitano direttamente sul pezzo l'azione di asportazione del sovrametallo. Dagli utensili dipende in grande misura la *scelta delle condizioni di lavorazione*, che viene dapprima definita nel predisporre il ciclo di lavorazione (ossia la sequenza delle operazioni di lavoro), indi completata con le caratteristiche degli utensili e delle attrezzature ad ogni operazione.

Per lo studio dei cicli di lavorazione sono diversi gli aspetti tecnici da considerare: la figura 1.3 riporta i parametri più significativi:

a. *parametri di base*: caratteristiche del pezzo, materiale del pezzo; utensile;

b. *parametri variabili* relativi: alla macchina (potenza, rigidità, velocità, avanzamenti), alle condizioni di taglio, alla lubrorefrigerazione;



c. *parametri intermedi*, ossia: vibrazioni dovute alla lavorazione, aumenti di temperatura dell'utensile e del pezzo;

d. *parametri risultanti*, ossia: qualità della lavorazione eseguita, livello di produzione e costi, usura dell'utensile.

La scelta della macchina utensile per realizzare un determinato ciclo di lavorazione e pervenire ad un dato prodotto, dipende:

1. dalla forma geometrica del particolare;
2. dalle dimensioni e peso del particolare;
3. dal grado di precisione dimensionale e di finitura superficiale;
4. dal numero di pezzi da produrre.

Ognuno di questi punti influisce in modo condizionante sul tipo di macchina da adottare. Perciò una prima classificazione delle macchine è stata presentata in funzione della forma geometrica, realizzata sulle varie macchine con particolari ed idonei movimenti. In questo ambito, rientra la scelta dei tipi di macchine aventi dimensioni diverse e strutture differenti tra loro, in funzione di dimensioni e peso del particolare da lavorare.

Il grado di precisione dimensionale ed il grado di finitura superficiale definiscono ulteriori classi diverse di macchine, comportando

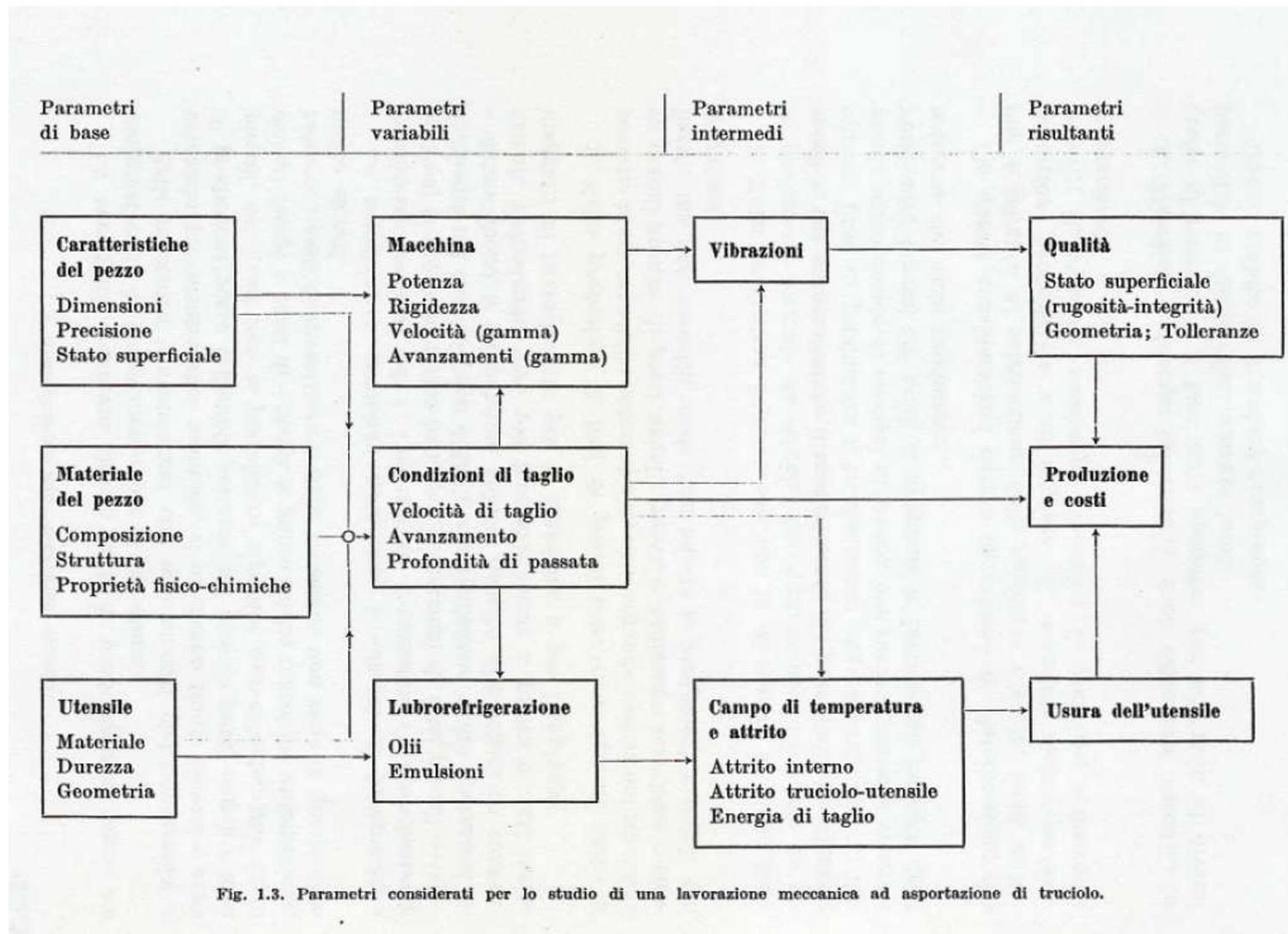


Fig. 1.3. Parametri considerati per lo studio di una lavorazione meccanica ad asportazione di truciolo.



esigenze di lavorazioni per fasi successive: sgrossatura, semifinitura, finitura: per quest'ultima fase si ricorre a macchine con caratteristiche di elevata qualità.

La Tabella 1.2 riporta un elenco di macchine per lavorazioni di finitura, con i relativi campi di rugosità superficiale ottenibili.

Infine le macchine utensili possono essere considerate sotto l'aspetto della produttività, in funzione del numero dei pezzi uguali da produrre.

La produzione industriale infatti può essere attuata con procedimenti diversi:

1. *produzione di pezzi singoli o di piccoli lotti (< 500 pezzi);*
2. *produzione di lotti di grandi dimensioni (di grandi serie > 50 000 pezzi);*
3. *produzione a flusso continuo (o di massa).*

1. Nella *produzione di pezzi singoli o di piccoli lotti*, il problema prevalente consiste nel modificare facilmente le istruzioni da impartire ad organi abbastanza versatili della macchina utensile, per produrre particolari anche molto differenti tra loro.





La versatilità comporta elevati costi di produzione al pezzo e/o maggiori costi di investimento per la macchina.

Sulle macchine convenzionali con azionamenti elettromeccanici a comando prevalentemente manuale, si osservano tempi elevati e costi di produzione/pezzo tollerabili soltanto nel caso di pezzi singoli o lotti piccoli, sui quali non si potrebbero ripartire convenientemente i più elevati tempi e costi di « messa a punto » delle macchine automatiche, laddove i costi di investimento della macchina non sono in questo caso molto elevati.

Le macchine a comando numerico, i « centri di lavorazione » (*machining centers*) od i « sistemi di lavorazione » (*manufacturing systems*) si prestano molto bene per lavorazioni di lotti piccoli — specialmente nel caso di pezzi difficili, che richiedano molte operazioni — e danno luogo a tempi/pezzo ridotti rispetto alle macchine convenzionali, richiedendo però più laboriose messe a punto e costi molto maggiori di investimento per la macchina o per l'impianto.



2. Nella *produzione di lotti di grandi dimensioni* (grandi serie) si possono usare macchine automatiche, che eseguono operazioni ripetitive su grandi numeri di pezzi uguali: perciò si utilizzano macchine specializzate ma non versatili, ossia non adatte a produzioni variabili con frequenza.

3. Nella *produzione a flusso continuo* (o *di massa*) si usano linee di produzione formate da singole macchine, collegate fra loro da dispositivi che automatizzano il trasferimento dei pezzi dall'una all'altra; oppure, linee di produzione a trasferimento che costituiscono un impianto unico dotato di stazioni di lavoro, ove successivamente vengono posizionati i pezzi sui quali si eseguono le lavorazioni indicate dalle sequenze del ciclo produttivo.

Da queste considerazioni deriva un criterio di classificazione che non è soltanto di attribuzione delle macchine utensili, bensì di impostazione progettuale e di impiego: A. *macchine multiscopo* (*universali*); B. *macchine monoscopo* (*speciali*); C. *macchine automatiche convenzionali*.



A. *Macchine multiscopo (universali)*. Sono altamente versatili, in grado di modificare il loro ciclo operativo per adattarlo ai diversi particolari in tempi relativamente brevi.

Questo ambito di macchine comprende:

- a. *macchine convenzionali (universali)*;
- b. *macchine a comando numerico (CN)*;



- c. *centri di lavorazione (machining centers);*
- d. *sistemi di lavorazione (manufacturing systems).*

a. *Le macchine convenzionali (universali) costituiscono la maggior parte del parco macchine utensili attualmente in uso: torni, trapani, fresatrici, piallatrici ecc., con azionamenti più o meno perfezionati, ma con comando manuale; rientrano fra le macchine più versatili, con costi di investimento non molto elevati.*

b. *Le macchine a comando numerico rappresentano una evoluzione delle macchine del tipo precedente: le informazioni di lavorazione (dati tecnologici e geometrici) pervengono alla macchina da unità di governo apposite, alimentate con nastri perforati o magnetici opportunamente predisposti; realizzano particolari di notevole complessità con una completa automazione e, per potere svolgere tutto il ciclo su una stessa macchina, sono provviste di un gruppo di utensili predisposti, operanti in successione ed applicati al mandrino automaticamente.*



b. *Le macchine a comando numerico* rappresentano una evoluzione delle macchine del tipo precedente: le informazioni di lavorazione (dati tecnologici e geometrici) pervengono alla macchina da unità di governo apposite, alimentate con nastri perforati o magnetici opportunamente predisposti; realizzano particolari di notevole complessità con una completa automazione e, per potere svolgere tutto il ciclo su una stessa macchina, sono provviste di un gruppo di utensili predisposti, operanti in successione ed applicati al mandrino automaticamente.

c. *I centri di lavorazione* sono derivati dalle macchine a comando numerico e ne estendono le possibilità di applicazione; sono infatti in grado di realizzare una più ampia varietà di operazioni; dispongono di magazzini di utensili predisposti, che possono essere montati e smontati dal mandrino automaticamente (le macchine sia del paragrafo b, sia c richiedono investimenti piuttosto elevati, personale opportunamente addestrato tanto per la messa a punto della macchina quanto per la preparazione di programmi da riportare sui nastri).

Il tempo/pezzo, anche per serie piccole, è molto basso; nel valutare i costi occorre tenere presenti i fattori indicati sopra.



d. *I sistemi di lavorazione* sono costituiti da gruppi di macchine utensili a CN costruttivamente separate, ma collegate da dispositivi di trasporto dei pezzi ed asservite ad una unità centrale numerica di governo (*computer*) che ne controlla e coordina le funzioni.

I « sistemi » di lavorazione trovano impiego quando il singolo centro di lavorazione non è più in grado di effettuare tutto il ciclo produttivo, sia per il numero elevato di utensili che non può più essere contenuto in un singolo magazzino, sia per la esigenza di effettuare operazioni con macchine di natura diversa da quella del centro di lavorazione (ad esempio rettificature). I « sistemi » di lavorazione sono molto versatili e particolarmente adatti sia alle produzioni di particolari complessi che richiedano parecchie lavorazioni da svolgere automaticamente, sia in serie piccole, talché non sarebbe consentito l'impiego di

macchine o linee automatiche rigide. Valgono, amplificate, le stesse considerazioni sui costi esposte al paragrafo c.



— B. *Macchine monoscopo (speciali)*. Caratteristica precipua di questi tipi di macchine è la non versatilità: sono pertanto predisposte per una produzione definita e non sono in grado di modificarsi, se richieste di produzioni diversificate.

Sono in genere progettate e costruite « su misura » per la lavorazione di un determinato particolare ed il loro funzionamento è molto automatizzato.

Comprendono:

a. *singole macchine monoscopo* per la lavorazione di grandi serie di pezzi non eccessivamente complessi;

b. *linee a trasferimento*, ossia insiemi di unità operatrici collegate e coordinate fra loro; il pezzo passa da una stazione alla successiva automaticamente ed ogni unità operatrice esegue una certa sequenza di operazioni. Le « *memorie* », che indicano alla macchina la sequenza, sono rigide, a differenza dei « sistemi » di lavorazione ove le unità di governo possono, con una certa facilità, essere programmati per lavori diversi.



C. *Macchine automatiche convenzionali.* Rappresentano una soluzione intermedia fra le due riportate; sono automatiche con memorie semirigide, ossia di tipo meccanico, ma sostituibili o registrabili per effettuare produzioni diverse. Tuttavia, poiché queste « messe a punto » sono piuttosto lunghe, è economico usare siffatte macchine per lotti di grandi dimensioni; utilizzano *attrezzature speciali e utensili multipli* per accelerare al massimo le operazioni di lavoro; dispongono di *caricatori automatici* per i pezzi e spesso sono collegate fra loro in *linee di produzione*.

I tempi/pezzo sono molto brevi ed i costi dipendono dal tipo di produzione eseguito. A questo gruppo appartengono — ad esempio — i torni automatici ad uno o più mandrini e macchine similari.



---

*Prestazioni delle macchine utensili (produttività, rendimento). -*

Le prestazioni di una macchina utensile, che soddisfi alle condizioni tecnologiche di funzionamento sopra esposte, consistono soprattutto nella capacità produttiva e nel rendimento.

In sede di progetto occorre considerare, pertanto, il livello di produzione legato ai *tempi di lavorazione* ed ai *tempi ausiliari* (o *improduttivi*).

I tempi ausiliari (preregistrazioni della macchina, montaggio e smontaggio del pezzo, sostituzioni utensili ecc.) assorbono una parte prevalente del tempo di produzione: sarà opportuno perciò dedicare almeno pari attenzione tanto alla riduzione dei tempi ausiliari quanto alla riduzione dei tempi di effettiva lavorazione.

I tempi di lavorazione si possono ridurre adottando più elevate velocità di lavoro e maggiori sezioni del truciolo; ciò comporta per altro aumenti delle forze e delle potenze di taglio.

I tempi ausiliari si possano ridurre con studi analitici delle attrezzature portautensili, che consentano montaggi precisi e solidi, oltre a registrazioni semplici e rapide.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

---

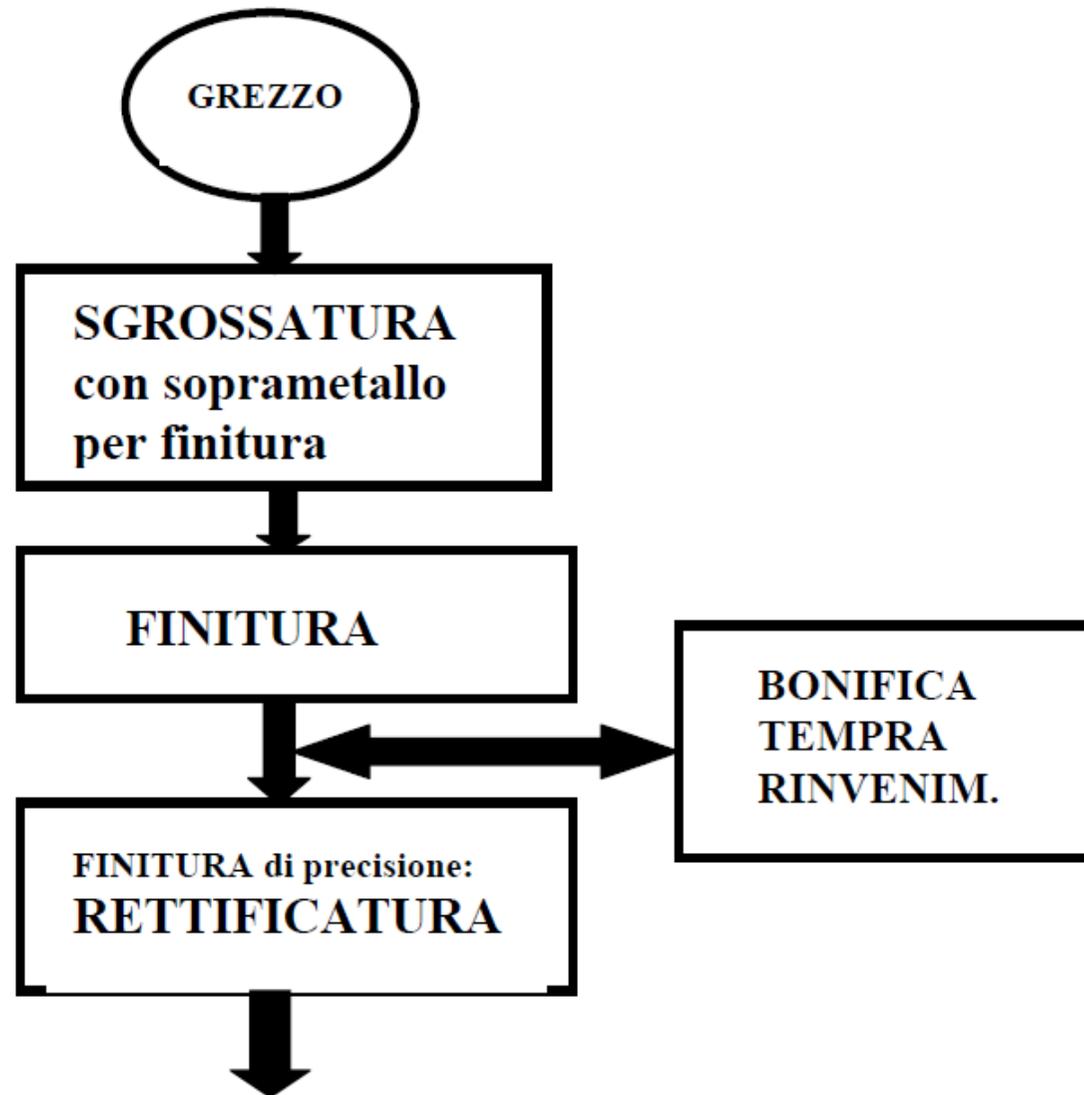




## **INTRODUZIONE ALLA PIANIFICAZIONE DEI PROCESSI PRODUTTIVI: IL CICLO DI LAVORAZIONE**

Il ciclo di lavorazione costituisce una delle attività di pianificazione del processo di produzione che si rende necessaria soprattutto in ambienti produttivi di tipo *Job shop* o, meno frequentemente, di tipologia *batch*. Esso nasce dall'esigenza di tradurre le specifiche del disegno del pezzo in azioni coinvolgenti una serie di decisioni riguardanti in particolare: la scelta del sistema di lavorazione; i parametri di lavorazione; il materiale ed il grezzo di partenza; gli utensili e le attrezzature per produrre; la definizione delle sequenze operative che devono essere eseguite per lavorare il grezzo; ecc. Esso può quindi essere considerato come un documento tecnico, redatto su supporto cartaceo o informatico, contenente una molteplicità di dati relativi alla produzione di un solo particolare o di un lotto di pezzi. Esso può quindi essere anche considerato come una prima base di dati per attività decisionali aventi come obiettivo la creazione di diverse alternative tra le quali operare una scelta in base a certi criteri di ottimizzazione della/delle funzioni obiettivo prefissate.

Nella fig. 7-a) è riportato lo schema relativo alle operazioni di base caratterizzanti un processo di lavorazione ad asportazione di truciolo di un particolare, secondo il quale le lavorazioni di sgrossatura (ovvero le lavorazioni più grossolane caratterizzate da elevate sezioni di truciolo) precedono quelle di finitura e di finitura di precisione (rettificazione). E' peraltro possibile che le specifiche contenute nel disegno, prevedano eventuali trattamenti termici che devono essere eseguiti dopo le lavorazioni di finitura e prima delle lavorazioni di finitura di precisione, come la rettificazione o la superfinitura (lappatura).





*Fig. 7-b)*



La figura 7-b) mostra la sequenza logica generale delle operazioni alla quale è opportuno attenersi nella stesura manuale del ciclo di lavorazione su macchine utensili di tipo “tradizionale”, a partire dall'esame del disegno del pezzo da lavorare fino all'esecuzione finale del pezzo, scegliendo con i normali criteri economici e qualitativi: utensili, attrezzature e parametri di lavorazione.

In particolare dall'esame della figura si può notare come ad ogni pezzo sia possibile associare una sequenza di operazioni, ciascuna delle quali caratterizzata da:

- Risorse richieste (sistema produttivo, attrezzature, utensili)
- Parametri di lavorazione
- Informazioni sui tempi e sui costi di lavorazione



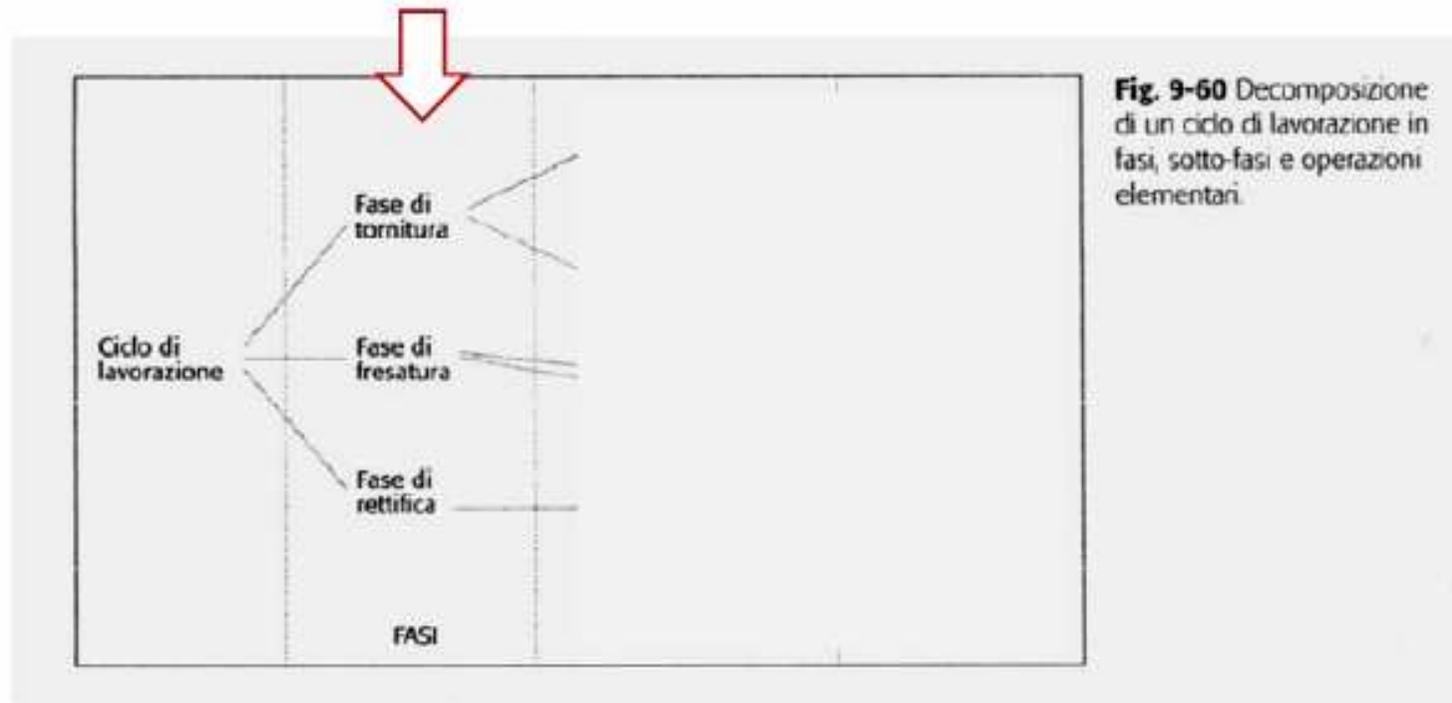
## *I Passi Principali*

- 1. Analisi critica del disegno di progetto.**
2. Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza di **fasi**.
3. Raggruppamento delle operazioni in **sottofasi**.
4. Scelta della sequenza delle **operazioni**.
5. Scelta degli **utensili**
6. Scelta dei **parametri di taglio**.
7. Scelta o progettazione delle **attrezzature**.
8. Scelta degli **strumenti e procedure di controllo**
9. Calcolo **dei tempi e dei costi di fabbricazione**
10. Stesura dei **fogli di lavorazione e del part program** (macchine utensili a controllo numerico)

**Fasi interconnesse non analizzabili singolarmente**

## Definizioni

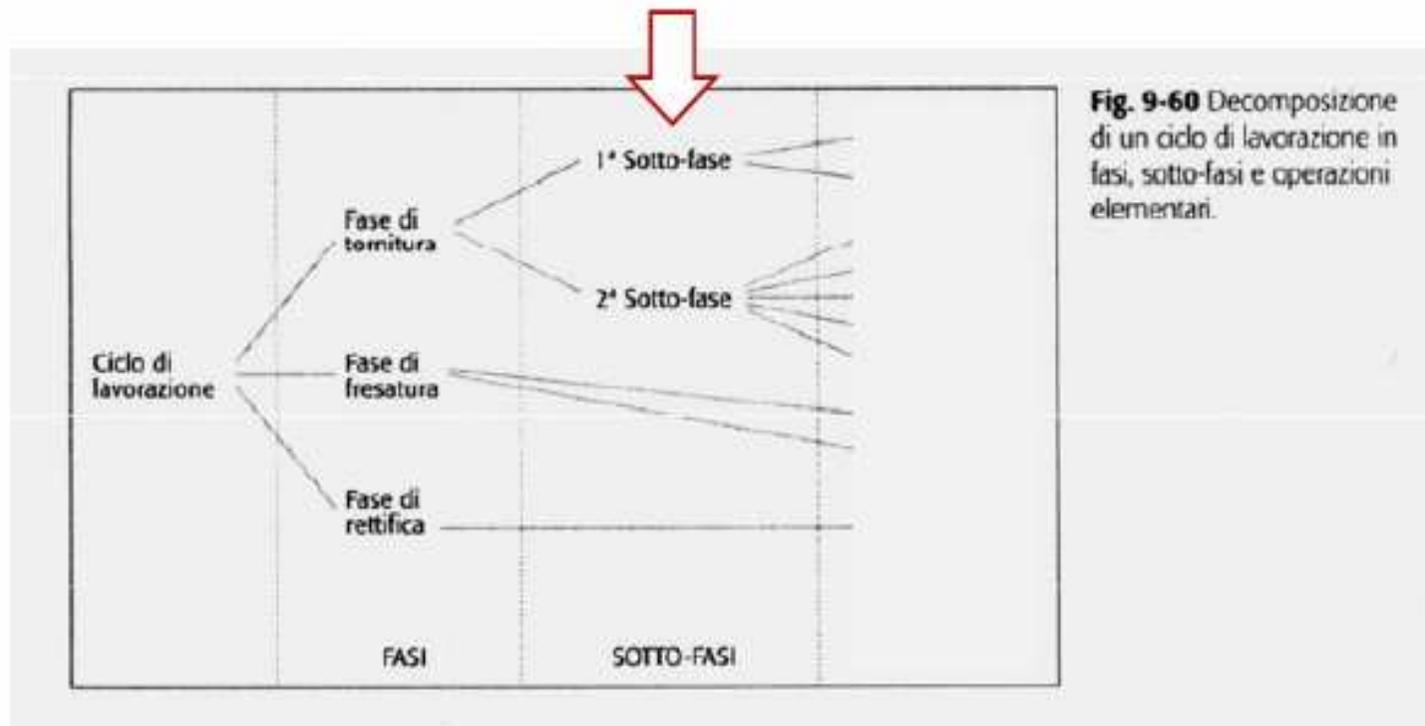
**FASE:** insieme ordinato di operazioni realizzate presso un medesimo posto di lavoro con o senza lo smontaggio e riposizionamento del pezzo.



**Fig. 9-60** Decomposizione di un ciclo di lavorazione in fasi, sotto-fasi e operazioni elementari.

## Definizioni

**SOTTO-FASE:** insieme ordinato di operazioni realizzate presso il medesimo posto di lavoro e con un medesimo posizionamento del pezzo.



**Fig. 9-60** Decomposizione di un ciclo di lavorazione in fasi, sotto-fasi e operazioni elementari.



## *Le informazioni di partenza*

*Disegno del  
componente  
da realizzare*

- **Dimensioni del pezzo.**  
Dimensioni delle macchine utensili e delle attrezzature da impiegare.
- **Tolleranze dimensionali e geometriche.**  
Influenzano la scelta delle macchine, degli utensili e il posizionamento del pezzo.
- **Qualità superficiale.**  
Scelta del processo di taglio e di tutti i parametri associati.
- **Trattamenti termici.**  
E' richiesto che essi occupino una opportuna posizione nel ciclo.
- **Materiale.**  
Tipo di utensile, i parametri di taglio, i dispositivi di bloccaggio.



## ESAME DEL DISEGNO DEL PEZZO

Per un corretto studio del ciclo di lavorazione, bisogna sempre partire da un attento esame del quote:

1. tolleranze dimensionali e geometriche
2. rugosità superficiali
3. caratteristiche meccaniche
4. tipo di materiale
5. numero di pezzi da produrre.

L'esame del disegno del particolare influenzerà tutte le scelte seguenti: infatti le tolleranze e la qualità superficiale richiesta condiziona il tipo e la sequenza delle operazioni, mentre la scelta degli utensili e dei parametri di lavorazione dipenderà maggiormente dalle caratteristiche meccaniche del materiale del pezzo. Il numero di pezzi da costruire influirà sulla scelta della macchina, degli utensili e delle attrezzature da usare. Infatti se il numero dei particolari da produrre è basso (e con un valore commerciale non elevato) non è economico scegliere un ciclo che preveda operazioni con macchine e attrezzature speciali. Opportuno in questo caso eseguire una analisi di *breakeven* fra alternative diverse.



Fasi di un ciclo di lavorazione:

## 1. studio del disegno del pezzo

Un ciclo di lavorazione parte dallo **studio critico del disegno del pezzo e del cartiglio**. In questo modo è possibile:

- individuare il materiale del pezzo;
- individuare le massime dimensioni del pezzo da produrre;
- individuare le tolleranze dimensionali e di forma;
- individuare il grado di finitura superficiale;
- individuare la presenza di zone che richiedono lavorazioni particolari (ad esempio fori eccentrici);
- individuare la presenza di trattamenti termici e termochimici.



L'analisi critica del disegno deve essere collegata allo **studio della commessa**. La dimensione del lotto da produrre permette di:

- scegliere le macchine da utilizzare per la realizzazione del pezzo tra quelle presenti in officina (ad esempio per la fase di tornitura c'è una enorme differenza tra tornio monomandrino e plurimandrino e tra tornio meccanico e CNC);
- valutare la convenienza economica di acquistare nuovi macchinari;
- valutare la convenienza economica di acquistare attrezzature e/o utensili di tipo standard;
- valutare la convenienza economica di progettare attrezzature e/o utensili da far realizzare;

In questa fase è fondamentale un contatto diretto con l'officina per conoscere la disponibilità di macchinari, personale, attrezzature ed utensili.



## *SCelta DEL GREZZO DI PARTENZA*

La prima attività da prendere in considerazione consiste nel definire il grezzo dal quale partire per eseguire le lavorazioni. Le scelte possibili sono essenzialmente due:

- semilavorati commerciali (es. barre, profilati, lamiere)  
in questo caso è necessario decidere sia il tipo di semilavorato da utilizzare, sia la quantità da assegnare ad ogni pezzo da produrre (es. spezzoni di barra  $\Phi \times L$ );
- pezzi ottenuti specificatamente per il prodotto con i vari metodi disponibili (es. stampaggio, fusione, estrusione, sinterizzazione, ecc.).  
In questo caso l'output dell'attività è costituito sia dal disegno del grezzo sia da un insieme di specifiche necessarie per la sua realizzazione.

La scelta tra le due opzioni viene in generale determinata, congiuntamente, attraverso considerazioni di carattere tecnologico ed economico.



La scelta della forma e delle caratteristiche del grezzo dipende:

- dalle massime dimensioni del pezzo da produrre;
- dalla quantità di sovrametallo di lavorazione;
- dai vincoli dimensionali imposto dalla dimensione del mandrino all'interno del tornio scelto;
- dalla possibilità di partire da una barra di materiale (solitamente di sezione circolare) e da uno spezzone:
  - in quest'ultimo caso bisogna valutare la convenienza dell'operazione di troncatura;
- dalla eventuale presenza di spezzoni di materiale presenti in officina;
- dalla convenienza economica di sottoporre il grezzo a operazioni preliminari (ad esempio raddrizzatura delle barre laminate o ricottura di pezzi stampati).



## *SCelta DELLE OPERAZIONI E DELLE SEQUENZE*

La scelta della sequenza delle operazioni da eseguire sulle stazioni operatrici viene effettuata dopo un attento esame del disegno del pezzo ed è condizionata da diversi fattori. In genere per la stesura manuale del ciclo di lavorazione è utile procedere nel modo seguente:

- ❑ Raggruppare tutte le operazioni che possono essere eseguite su macchine simili, in modo da ridurre al minimo le perdite di tempo dovute al trasporto dei pezzi e per il cambiamento del tipo di macchina.
- ❑ Evitare il più possibile di ripetere con troppa frequenza il montaggio e lo smontaggio dei pezzi, in quanto questa operazione comporta maggiori tempi passivi per il bloccaggio e la registrazione.
- ❑ Valutare le operazioni che si rendono indispensabili allo svolgimento delle altre, ad esempio una finitura di precisione (rettificazione) deve essere sempre preceduta da una finitura d'utensile e seguire un trattamento termico di tempra.



- Iniziare con delle operazioni che determinano superfici di riferimento per le operazioni successive. Infatti alle superfici di riferimento grezze o già lavorate vengono riferite tutte le fasi degli spostamenti degli utensili. E' questo il motivo per cui in un ciclo che prevede più operazioni di tornitura, bisogna sempre iniziare con un'operazione di *sfacciatura* (o *intestatura*), in modo da realizzare una superficie di riferimento perpendicolare all'asse del pezzo, origine delle quote successive.
- Le filettature esterne, i profili scanalati, le dentature e tutte le altre superfici più delicate devono essere lavorate, per quanto possibile, a fine ciclo, in modo da evitare che possano essere danneggiate nel corso delle diverse lavorazioni e movimentazioni del pezzo.

### *SCELTA DELLE MACCHINE UTENSILI*

Il tipo di macchina utensile viene scelta in base al tipo ed al numero delle operazioni da eseguire, oltre naturalmente alla precisione dimensionale e alla finitura superficiale. All'aumentare del numero di pezzi da lavorare si passa dalle tradizionali macchine universali, a quelle semiautomatiche ed, infine, alle macchine speciali, cioè costruite appositamente per la lavorazione di un determinato pezzo.



Solitamente si schematizza la successione delle fasi di lavorazione per poter scegliere le superfici da lavorare e di presa del pezzo:

- si individuano le superfici da lavorare;
- si sceglie la sequenza delle superfici da lavorare;
- si prende il pezzo sopra superfici grezze o semilavorate.

**ATTENZIONE:** la presa pezzo su superfici grezze risulta incerta e quindi le prime operazioni devono essere leggere (ridotti avanzamenti e profondità di passata);

- si lavorano per prime le superfici che faranno da riferimento nelle operazioni successive;
- la successione delle fasi deve tale da ridurre al minimo i montaggi del pezzo e gli spostamenti tra reparti;

Bisogna sempre prevedere dopo le operazioni principali ed a fine ciclo un opportuno controllo dimensionale del pezzo.



## *SCelta DEL MONTAGGIO DEL PEZZO*

Il montaggio del pezzo sulla macchina deve essere scelto in modo che il pezzo durante la lavorazione non sia soggetto né a vibrazioni né a deformazioni di carattere plastico. Molte volte per migliorare l'utilizzazione della macchina utensile si può far uso di attrezzature speciali in modo da garantire i corretti riferimenti del pezzo ed il suo bloccaggio. Un esempio di attrezzature sono le piattaforme autocentranti per il serraggio del pezzo nelle operazioni di tornitura; l'apparecchio divisore che consente rotazioni del pezzo esattamente determinate in operazioni di fresatura o foratura, o altre similari.

Nelle prime fasi delle operazioni, come già si è accennato, si cercherà sempre di dare la precedenza alle lavorazioni che possano servire meglio per l'appoggio o il serraggio del pezzo, in modo da rispettare le esigenze di coassialità, perpendicolarità o di parallelismo.

Il sistema di bloccaggio del pezzo potrebbe essere semplificato e reso più rapido mediante l'uso di dispositivi oleodinamici o pneumatici: tuttavia l'impiego di tali attrezzature può non essere conveniente quando si deve produrre un numero limitato di pezzi in quanto queste richiedono complesse registrazioni all'inizio di ogni operazione.



## *SCELTA DELL'UTENSILE*

La scelta dell'utensile riguarda essenzialmente due fattori importanti:

- a) scelta del materiale, che a sua volta dipende da:
  - materiale del pezzo in lavorazione
  - parametri di lavorazione
  - condizioni della macchina utensile
  - costo
  
- b) scelta delle dimensioni e della forma dell'utensile, ossia:
  - angoli caratteristici
  - tipo di inserto
  - raggio della punta
  - numero di taglienti



## *MATERIALI PER UTENSILI*

Le principali caratteristiche dei materiali per utensili sono:

- durezza a caldo
- tenacità
- resistenza agli sbalzi termici
- resistenza all'ossidazione
- bassa affinità chimica col materiale lavorato

Fino alla fine del secolo scorso, tutti gli utensili erano in **acciaio *al carbonio***, temprato e rinvenuto; nei quali la percentuale di carbonio era molto elevata (fino all'1.3%) e le velocità di taglio ottenibili non andavano oltre i 10 m/min.



Nel 1901 furono utilizzati da Taylor gli **acciai rapidi**, i quali con una composizione media di 1.9 % di Carbonio, 8 % di Tungsteno e 4 % di Cromo, consentirono di ottenere velocità di taglio oltre i 20 m/min. Successivamente, aumentata ulteriormente la resistenza al rinvigimento, si aumentò il contenuto di Tungsteno con conseguente riduzione di quello di Carbonio, fino ad ottenere la classica composizione 18-4-1 (in termini di Tungsteno, Cromo e Vanadio) che è rimasta inalterata per molti anni.

L'aggiunta del Cobalto e la sostituzione di parte del Tungsteno con il Molibdeno ha portato allo sviluppo dei moderni **acciai super-rapidi** che possono lavorare fino a temperature di 550 gradi e che hanno una composizione media di 0.8 % di Carbonio, 4 % di Cromo, 2 % di Vanadio, 6 % di Tungsteno e 5 % di Molibdeno.

I **Carburi Metallici Sinterizzati** ( o metalli duri) furono sviluppati in Germania intorno al 1930 sfruttando la tecnologia della *metallurgia delle polveri*. Questi inizialmente erano a base di Carburo di Tungsteno, con aggiunta di Cobalto come legante. Successivamente furono aggiunti Carburi di Titanio e di Tantalio che facevano diminuire i problemi di usura e di *craterizzazione*, soprattutto nella lavorazione degli acciai. Le caratteristiche più importanti di questi materiali, ancora oggi ampiamente utilizzati, sono l'elevata durezza che gli utensili conservano fino alla temperatura di 850 gradi.



Intorno al 1950 nacquero gli **utensili in ceramica**, costituiti da ossido di Alluminio, con o senza aggiunta di altri ossidi o altri carburi. Questi materiali sono formati in placchette mediante processo di sinterizzazione, partendo da polveri molto fini e sottoponendole ad elevate pressioni e temperature (1500÷2000 °C).

In pratica si può distinguere tra un materiale ceramico bianco a base di ossido di Alluminio puro (ceramics) e un materiale ceramico nero a base di ossidi di Alluminio con elevato contenuto di carburi metallici come TiC e WC (**cermets**, o ceramics metals). L'inserto in ceramica presenta un'elevata resistenza all'usura, una notevole resistenza all'ossidazione e una ridotta tendenza alla diffusione, per cui si possono utilizzare velocità di taglio molto elevate in quanto la durezza (HV 1400÷2000) diminuisce fortemente solo a temperature superiori a 1200 °C. La bassa conducibilità termica fa sì che il calore generato dal processo di taglio venga eliminato quasi esclusivamente dal truciolo, mentre il pezzo e l'utensile rimangono praticamente freddi; la resistenza all'usura, la durezza e la resistenza meccanica crescono all'aumentare della densità e al diminuire delle dimensioni del grano.

Gli utensili in ceramica si usano solo con avanzamenti compresi tra 0.1 e 0.5 mm/giro e con velocità di taglio del 50÷100% superiori ai valori adottati per gli utensili in carburo.

Negli ultimi anni sono andati sempre più diffondendosi gli inserti in metallo duro, rivestiti con uno o più strati di TiC, TiN o ossido di alluminio i quali aumentano la resistenza all'usura e alla craterizzazione, con la possibilità di aumentare la velocità di taglio di 4 o 5 volte. Gli spessori del rivestimento sono compresi tra 4 µm e 15 µm, sufficienti comunque a rallentare la diffusione del carburo di tungsteno nel materiale in lavorazione.



Le placchette di metallo duro rivestite con TiC sono adatte alle lavorazioni ad alta velocità, mentre quelle rivestite di TiN sono più adatte alle lavorazioni con taglio intermittente.

Il rivestimento con ossido di Alluminio conferisce all'utensile una elevata resistenza all'ossidazione ed agli attacchi chimici in condizioni estreme di temperatura. Sul mercato, attorno al 1970, apparvero anche carburi ricoperti con strati multipli, in modo da combinare tenacità e resistenza all'usura di un materiale con una maggiore durezza dell'altro.

Tra il 1975 a tutt'oggi sono apparsi nuovi materiali per utensili, come i diamanti sinterizzati policristallini (Policristalline Diamond "PCD"), il Nitrato di Boro Cubico (Cubic Boron Nitride o CBN) e il Sialon, quest'ultimo costituito principalmente da Nitrato di Silicio. Con i primi due si depositano strati sottili di PCD o CBN su un inserto in metallo duro. I diamanti policristallini possono avere durate centinaia di volte superiori ai metalli duri, anche se non sono adatti alla lavorazione dell'acciaio e dei materiali ferrosi, a causa dell'affinità chimica fra il carbonio e il ferro.

Il CBN viene utilizzato per lavorazione di materiali di difficile lavorabilità, quali gli acciai legati e i materiali temprati, in quanto il CBN possiede una elevata stabilità termica che consente la lavorazione in campi di temperatura dove il materiale ha ridotta resistenza (1000÷1100°C).

Il Sialon è costituito da Nitrato di Silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) e ossido di Alluminio ed è stato sviluppato principalmente per la lavorazione di componenti in ghisa, in quanto ha una buona resistenza all'ossidazione, una discreta resistenza meccanica e un'eccezionale durezza ad alta temperatura nella tornitura della ghisa, le velocità di taglio possono essere spinte fino ai 300 m/min.



## *SCelta DEI PARAMETRI DI LAVORAZIONE*

Il problema dell'ottimizzazione di una lavorazione meccanica ad asportazione di truciolo è abbastanza complesso, specie se riferito ad un gruppo di macchine o ad un “job shop”; un'attenta analisi per l'ottimizzazione di una lavorazione meccanica dovrebbe prendere in considerazione tutti i costi relativi all'intera operazione di lavorazione di un pezzo (o di un lotto di pezzi), quali il costo macchina, il costo della manodopera, il costo dell'utensile e il costo dei tempi passivi (di riattrezzaggio macchina, di set-up ce).

Se ad esempio si desidera massimizzare la MRR (metal removal rate) ovvero la quantità di truciolo prodotto in un'ora:

$$MRR = A_o V_t$$

$$MRR = p a V_t 60 / 1000$$

dove:

- MRR = Produzione oraria di truciolo ( $\text{mm}^3/\text{h}$ )
- $A_o$  = Sezione del truciolo ( $\text{mm}^2$ )
- $V_t$  = Velocità di taglio (m/min)
- $p$  = profondità di passata (mm)
- $a$  = avanzamento al giro (mm/giro)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Occorre tenere presente che non tutti i termini in questa espressione possono essere aumentati in modo indiscriminato, in quanto una certa molteplicità di fattori fisici, quali ad es. il calore sviluppato sul tagliente, la potenza del motore, le condizioni dinamiche della macchina e dell'utensile, costituiscono vincoli che limitano il campo entro il quale questi parametri possono essere fatti variare.

Così come un aumento della “*profondità di passata*” conduce alla diminuzione del numero di passate di sgrossatura con un conseguente considerevole aumento della produttività, d'altra parte occorre tenere presente il vincolo connesso al fatto che non è possibile oltrepassare certi valori della profondità di taglio, in quanto crescono sollecitazioni e vibrazioni, diminuisce anche la durata dell'utensile. Molte volte l'incremento di produttività derivante dalla diminuzione del numero di passate è così elevato che si accetta anche una durata più ridotta dell'utensile; adottando un raggio di punta più grande o un inserto di dimensioni maggiori è possibile aumentare la durata dei taglienti anche con grandi profondità di taglio.

Per quanto riguarda *l'avanzamento*, un valore molto basso può produrre dei problemi di controllo e di evacuazione del truciolo, mentre un valore molto alto può condurre anche alla rottura dell'inserto.

All'aumentare dell'avanzamento, si è notato sperimentalmente che la zona di massima temperatura si allontana dal tagliente; se si adotta quindi un avanzamento molto basso per il tipo e la geometria dell'inserto, la zona di usura potrebbe concentrarsi molto vicino al tagliente, per cui la durata dell'utensile risulta diminuita.

L'avanzamento influenza inoltre la finitura superficiale e la spinta laterale sull'utensile ed è quindi necessario trovare il giusto equilibrio tra qualità e produttività.



La scelta più importante riguarda la *velocità di taglio* che viene influenzata dai seguenti fattori:

- materiale del pezzo lavorato
- materiale dell'utensile
- sezione del truciolo
- grado di finitura
- condizioni di lubrorefrigerazione
- tipo di macchina

La scelta della velocità di taglio dipenderà anche da altri fattori di tipo economico-produttivo, o dagli obiettivi che l'azienda si vuole prefissare: ad esempio il completamento di un certo numero di pezzi senza cambiare l'inserito, oppure, nel caso di componenti molto costosi, evitare le dannose rotture dell'inserito.

In definitiva si può affermare che una macchina è completamente sfruttata quando la velocità di taglio e la sezione del truciolo vengono scelti in modo da consentire il costo minimo per unità di produzione.

La figura 7-c) costituisce un riferimento per la scelta di valori medi di velocità di taglio con diverse categorie di materiali per utensili. Mentre la figura 7-d) illustra lo schema di una casella, del ciclo di lavorazione del pezzo, inerente ad una operazione.

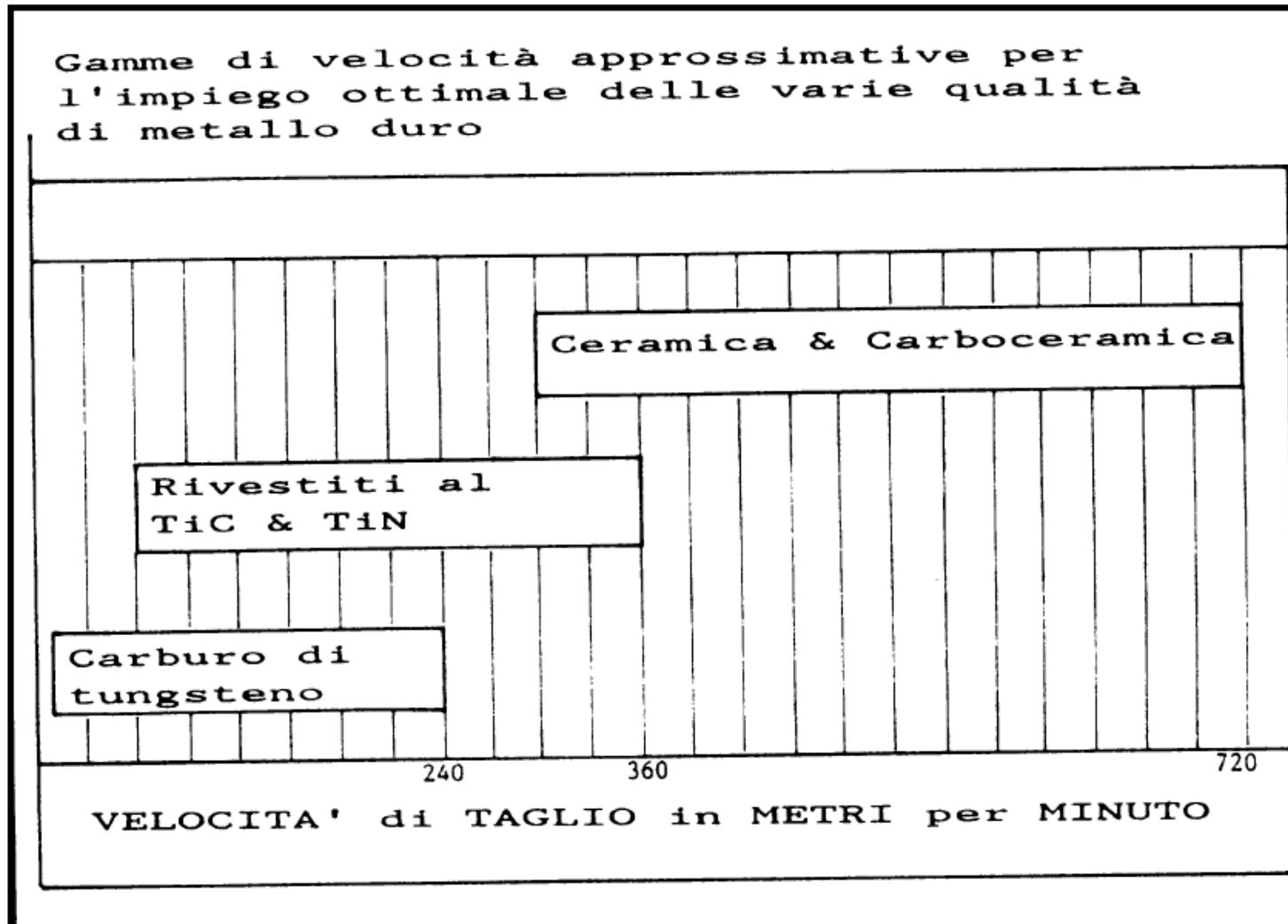


Fig.7- c)



**Schema del ciclo di lavorazione:**

		Cognome/Nome					Oggetto:	
		Matricola N.					Materiale:	
		Ciclo di lavorazione N.						
		Pagina n. di pagine						
		Data						
Op. N.	Schema	Descrizione	M.U.	Attr.	Ut.	t.prep. [min]	t. lav. [min]	Programma a CN
			Crit.	n [giri/min]	a [mm/giro]	p [mm]	Costo	

Fig.7- d)



## Considerazioni economiche sulla velocità di taglio

La scelta del ciclo di lavorazione si basa principalmente su considerazioni di carattere economico.

Per le lavorazioni di tornitura il parametro tecnologico da esaminare è la **velocità di taglio** [mm/min].

Bisogna effettuare un compromesso tra:

- **velocità di taglio elevata**: elevata produttività ma breve durata degli utensili;
- **velocità di taglio bassa**: bassa produttività ma elevata durata degli utensili.

La prima soluzione è giustificata dai costi elevati della macchina e del personale.

La seconda soluzione è preferita in caso di utensili molto costosi.

La scelta di questo parametro diventa un problema di ottimizzazione multi obiettivo.



Si ipotizzi che il costo di una operazione elementare sia:

$C_p$  = costo attrezzaggio macchina [€];

$C_m$  = costo macchina [€];

$C_{cu}$  = costo cambio utensile [€];

$C_u$  = costo utensile [€].

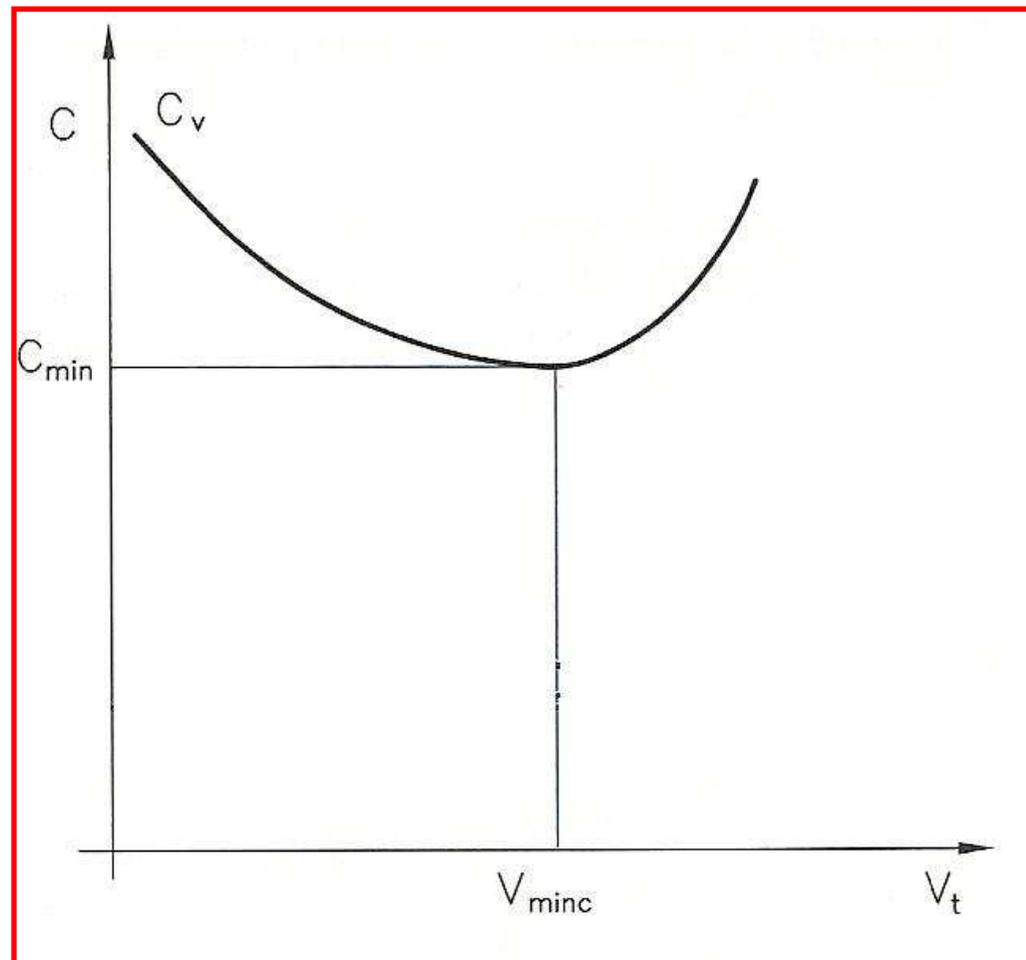
$$C_0 = C_p + C_m + C_{cu} + C_u$$

La determinazione di questi costi dipende da:

- costo orario del personale [€/min];
- durata della fase di attrezzaggio [min];
- numero di pezzi che la macchina produce per ogni attrezzaggio;
- tempo ciclo per produrre un pezzo [min]
- durata delle operazione elementare [min];
- durata dell'utensile [min];
- costo dell'utensile [€];
- durata del cambio utensile[min].



Attraverso alcune semplici operazioni matematiche si ottiene la seguente curva:





## Considerazioni economiche sulla velocità di taglio – **velocità di massima produzione**

Si ipotizzi che il tempo di una operazione elementare sia:

$$T_0 = T_p + T_m + T_{cu} \cdot T_m / T$$

$T_p$  = tempo di attrezzaggio [min];

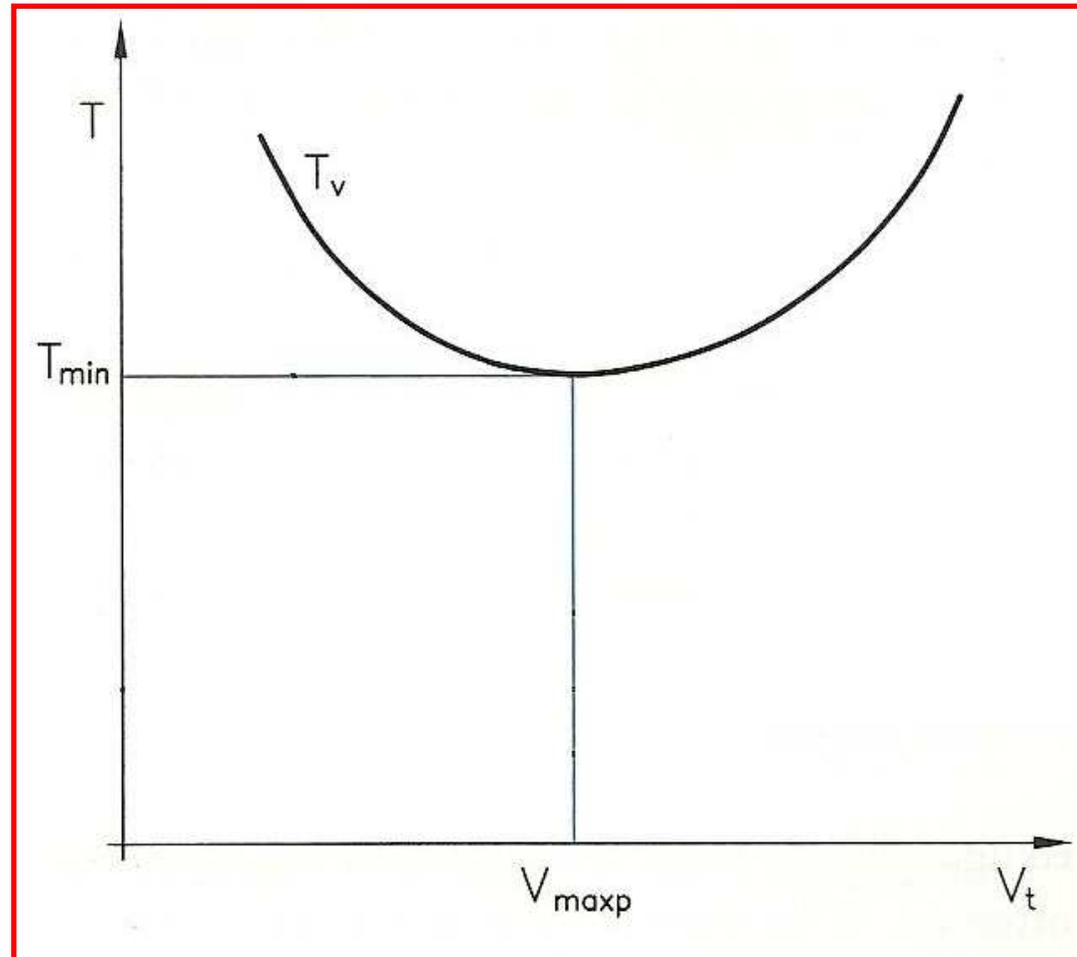
$T_m$  = tempo ciclo per produrre un pezzo [min];

$T_{cu}$  = durata del cambio utensile [min];

$T$  = durata dell'utensile [min]

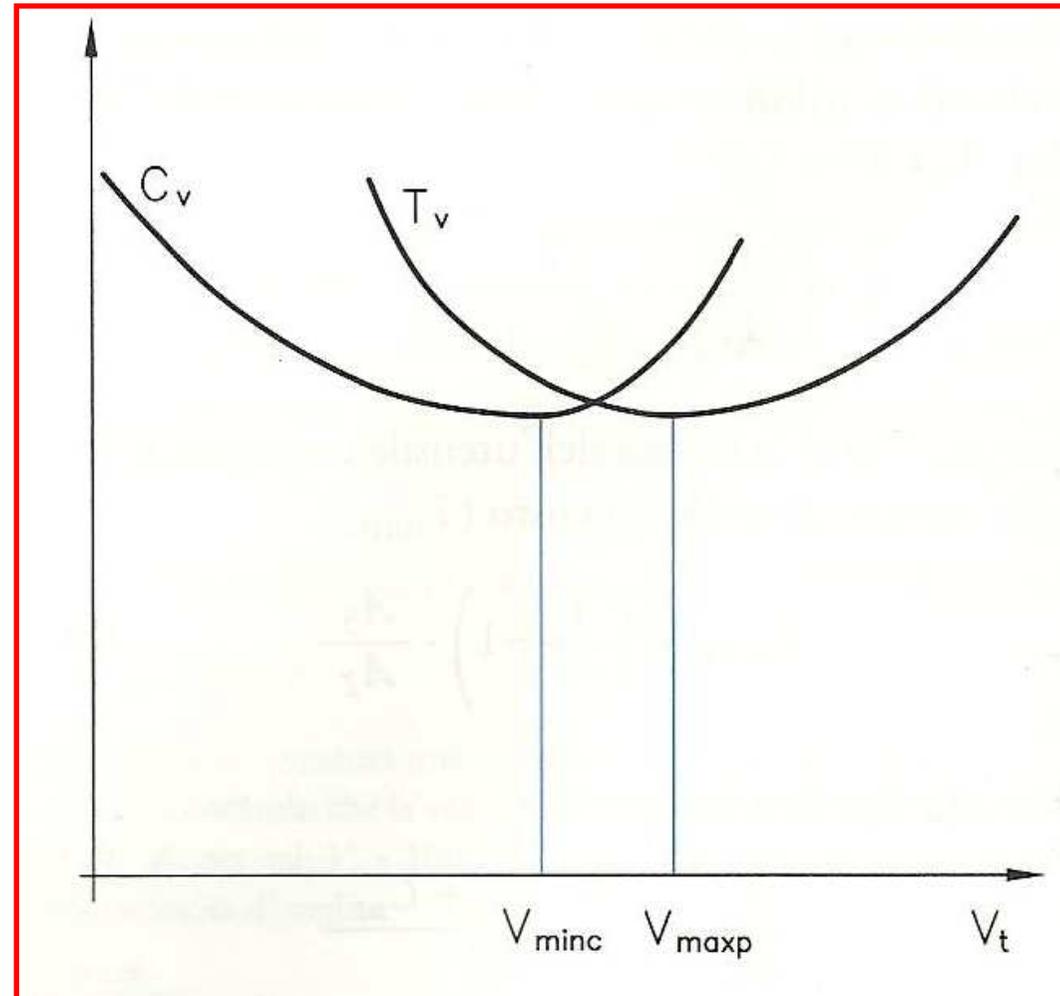


Attraverso alcune semplici operazioni matematiche si ottiene la seguente curva:





Unendo in un unico grafico le due curve precedenti si ottiene:



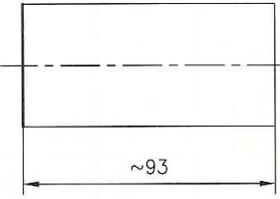
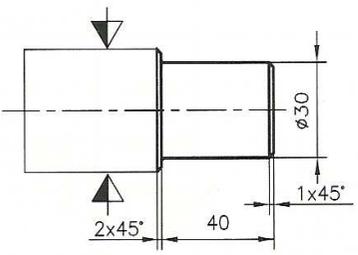
# Fasi di un ciclo di lavorazione: cartellino del ciclo di lavorazione

Le fasi precedenti permettono di redigere il ciclo di lavorazione.

Questo ciclo deve essere fornito all'operatore in maniera chiara.

Il cartellino del ciclo di lavorazione riporta:

- i dati generali dell'oggetto
- le lavorazioni da effettuare.

Caratteristiche elemento finito				
Denominazione: Perno forato		Tratt. termici: Bonifica		
Ciclo n. 1	Complessivo n.	Particolare n. 1	Quantità : 25	
Compilatore:		Visto:	Data:	
Caratteristiche materiale e semilavorato di partenza				
Materiale: EN 10083/1-C40		Rm [N/mm <sup>2</sup> ]: 650	Durezza HBW: 220	
Ricavato da: Spezzone calibrato h11, $\phi$ 40x93			Massa [Kg]: 0,930	
N.	Descrizione operazione	Macch.	Utensili, attrezzi e calibri	Tempi
10	 <p>10.1—Taglio degli spezzoni</p>	Segatrice a disco	—Sega 250x3 N  —Calibro a corsoio 1/20	
20	 <p>20.1—Montaggio dello spezzone sull'autocentrante                      20.2—Esecuzione sfacciatura                      20.3—Tornitura di sgrossatura <math>\phi</math>32x39,5                      20.4—Tornitura di finitura <math>\phi</math>30x40                      20.5—Esecuzione smussi</p>	Tornio parallelo	—Utensile SSDCR 1616H 09-P10  —Utensile SEGCR 1616H 09-P10  —Calibro a corsoio 1/20	

# Fasi di un ciclo di lavorazione: foglio analisi

Le informazioni contenute nel cartellino del ciclo di lavorazione sono esplicitate mediante il foglio analisi.

Questo foglio elenca, per ogni fase, le varie sottofasi, i relativi parametri di taglio ed il calcolo dei tempi.

Mostriamo un esempio di foglio analisi per la fase 20 del cartellino ciclo di lavorazione

Compilatore:		Visto:		Data:		
Disegno n. 1		Ciclo n. 1		Operazione n. 20 (foglio 1/2)		
Utensili, calibri e attrezzi		Schizzo dell'operazione				
- Utensile per sfacciatura e smussi SSDCR 1616H 09-P10  - Utensile per tornitura cilindrica SEGCR 1616H 09-P10  - Calibro a corsoio ventesimale						
Descrizione delle fasi		Velocità [m/min]	Giri [g/min]	Avanz. [mm/g] Prof. [mm]	Passate/Corse n.	Tempi [min] Tmf Tmm Tml Tma
1-Prendere il pezzo e montarlo sull'autocentrante						0,90
2-Ruotare la torretta portautensili (Ut. SSDCR 1616H 09-P10)						0,20
3-Selezione n. di giri		~ 113	900			0,18
4-Avviare la macchina						0,05
5-Accostare l'utensile						0,20
6-Eeguire sfacciatura con avanzamento manuale				~0,15		0,16
7-Disimpegnare l'utensile						0,10
8-Fermare la macchina						0,05
9-Ruotare la torretta portautensili (Ut. SEGCR 1616H 09-P10)						0,20
10-Selezione avanzamento				0,30		0,18
11-Avviare la macchina						0,05
12-Accostare l'utensile						0,20
13-Inserire la lubrificazione						0,05
14-Innestare l'avanzamento automatico						0,05
15-Eeguire tornitura $\varnothing 32 \times 39,5$					4 1	0,15
16-Disinnestare l'avanz. automatico						0,05
17-Disimpegnare l'utensile						0,10
18-Disinserire la lubrificazione						0,05
19-Fermare la macchina						0,05
20-Selezione n. di giri		~ 115	1140			0,18
21-Selezione l'avanz. automatico				0,08		0,18
22-Avviare la macchina						0,05
23-Accostare l'utensile						0,20
-Totali parziali						3,27 0,16 0,15



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

---





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



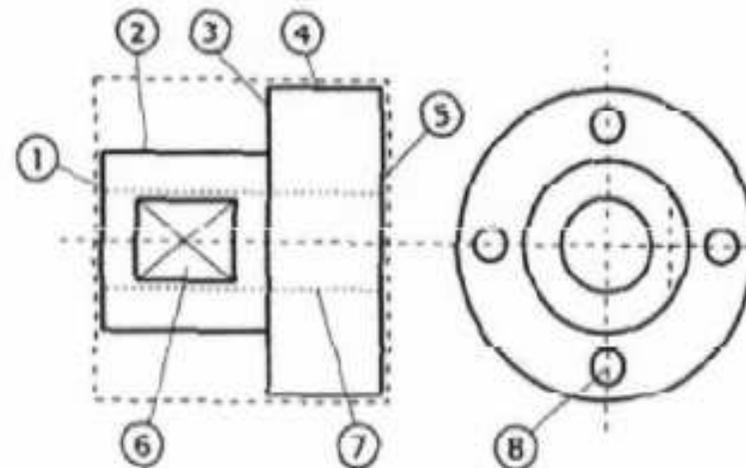
---

# ESEMPIO

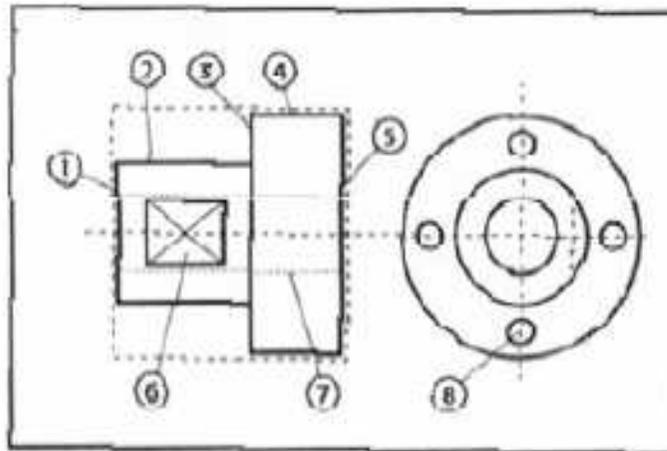


## *Scelta dei Processi e della Sequenza delle Fasi*

**Primo Passo:** individuare le superfici che devono essere lavorate e, in base alla loro forma, posizione, precisione dimensionale e finitura superficiale, **ipotizzare i possibili processi** di lavorazione da usare.



## Scelta dei Processi e della Sequenza delle Fasi

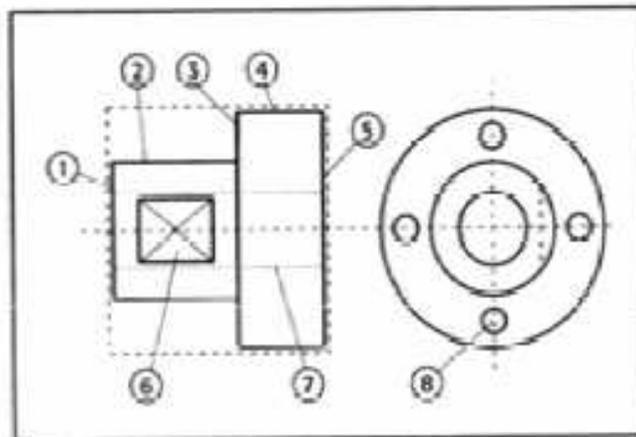


**Fig. 9-61** Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

n. sup.	tipologia	processi possibili
2, 4	cilindriche esterne coassiali	tornitura
1, 3, 5	piane ortogonali all'asse delle 2, 4	tornitura, fresatura
7	cilindrica interna coassiale alle 2, 4	foratura
8	cilindrica interna	foratura
6	piana	fresatura

## Scelta dei Processi e della Sequenza delle Fasi

**Secondo passo:** si raggruppano le superfici secondo il principio di poter lavorare il maggior numero di superfici con il medesimo processo (stessa fase) e possibilmente con lo stesso piazzamento.



**Fig. 9-61** Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

n. sup.	processo
1, 2, 3, 4, 5	tornitura
7, 8	foratura
6	fresatura

Esistono fori realizzabili su tornio?  
**Si:** foratura della superficie 7.

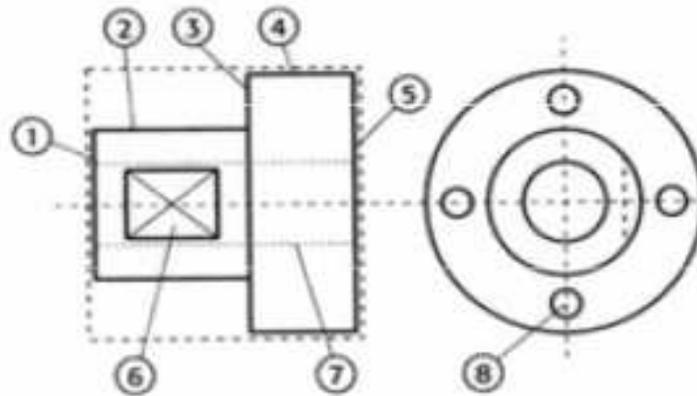


## *Scelta dei Processi e della Sequenza delle Fasi*

**Terzo passo:** Individuate le fasi è necessario sequenziarle rispettando i vincoli di precedenza tra di esse.

### **ESEMPIO.**

La fresatura della sup. 6 e la foratura dei fori 8 devono essere eseguite dopo la fase di tornitura, per motivi di riferimento rispetto all'asse del pezzo materializzato dalla 2 o dalla 4.





## Scelta dei Processi e della Sequenza delle Fasi

**Quarto passo:** cicli alternativi.

**Ciclo A**

fase	operazioni	macchina
10	Tornitura 1, 2, 3, 4, 5 Foratura 7	Tornio parallelo
20	Fresatura 6	Fresatrice
30	Tracciatura 8	Banco di tracciatura
40	Foratura 9	Trapano

Ciclo impostato su macchine a basso grado di automazione e operazioni manuali.

↑ tempi di produzione  
costo mano d'opera

↓ costo ammortamento

**Adatto per numero di pezzi limitato**

**Ciclo B**

fase	operazioni	macchina
10	Tornitura 1, 2, 3, 4, 5 Foratura 7/8 Fresatura 6	Centro di tornitura con utensili motorizzati in torretta

Ciclo impostato su macchine ad elevato grado di automazione.

↓ tempi di produzione  
costo mano d'opera

↑ costo ammortamento

**Adatto per numero di pezzi elevato**



## *Raggruppamento delle Operazioni in Sottofasi*

E' possibile raggruppare tutte le lavorazioni da effettuare in un'unica sottofase?

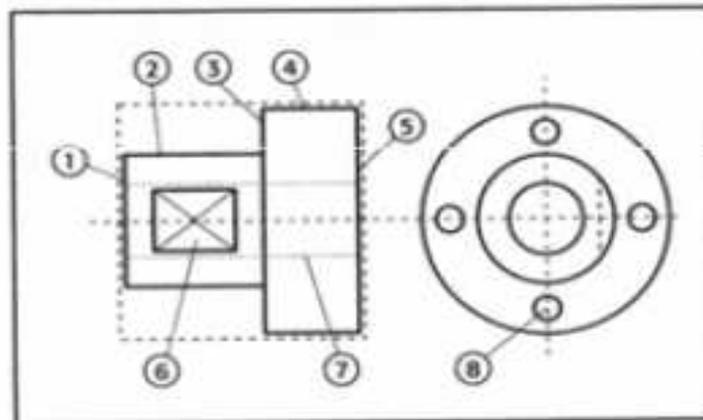
SI

In modo equivalente si può dire che tutte le operazioni sono effettuate con lo stesso piazzamento. Soluzione preferibile da un punto di vista di **tempo e precisione**. La variazione di posizione richiede un certo tempo e il ri-posizionamento aumenta il rischio di errori.

NO

Le operazioni sono raggruppate in due o più sottofasi. Se possibile le superfici legate da tolleranze geometriche devono essere lavorate nella stessa sottofase.

## Raggruppamento delle Operazioni in Sottofasi



**Fig. 9-61** Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

**FASE 10** – Op. Tornitura 1, 2, 3, 4, 5  
Foratura 7

**Sotto fase a)** Tornitura 4, 5  
Foratura 7

**Sotto fase b)** Tornitura 1, 2, 3

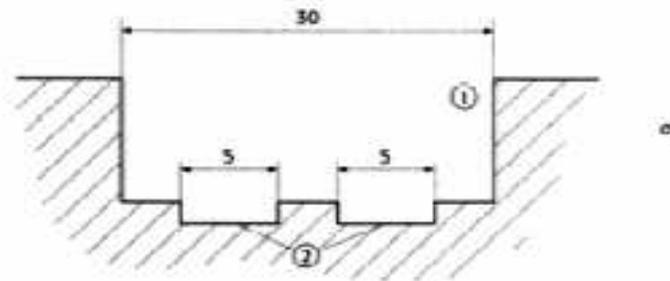


## *Scelta della Sequenza delle Operazioni*

Esistono relazioni di precedenza tra un'operazione e l'altra?

### Esigenze economiche

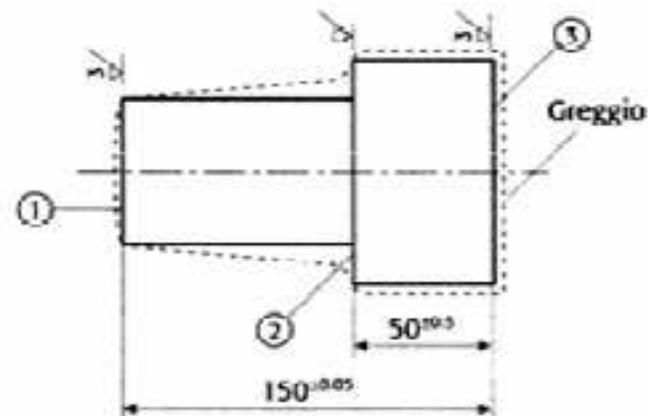
La cava passante (1) viene effettuata con una fresa cilindrica frontale da 30 mm, mentre le due cave (2) sono realizzate con una fresa cilindrica frontale da 5 mm. Da un punto di vista economico è conveniente prima la lavorazione della cava (1) e successivamente le cave (2). Procedendo in senso opposto la fresa da 5 mm dovrebbe lavorare in più passate o in un'unica passata ma con un minor avanzamento.



## Scelta della Sequenza delle Operazioni

### Esigenze dimensionali

La superficie (2) deve rimanere grezza al contrario delle (1) e (3) che devono essere lavorate. La sequenza corretta è (3) e poi (1). In caso contrario, un errore di lavorazione sulla superficie (1) potrebbe non permettere una corretta esecuzione della (3), nel rispetto anche della tolleranza più ristretta, dato che non si deve lavorare la (2).

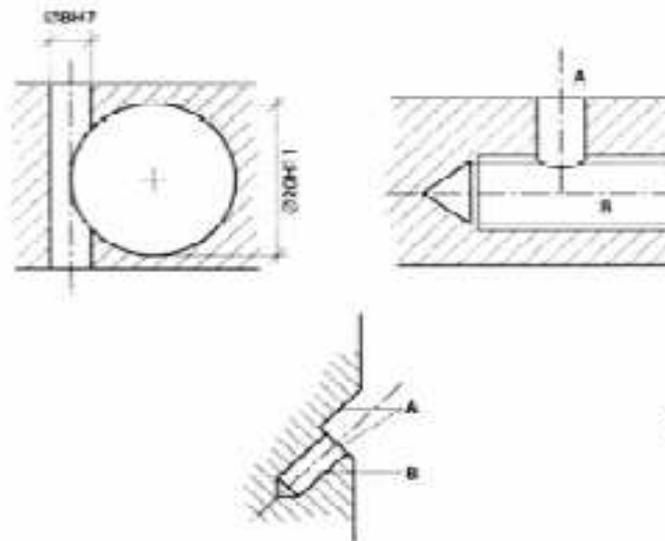


b)

## *Scelta della Sequenza delle Operazioni*

### Esigenze tecnologiche

Nel caso di fori di diverso diametro e precisione che si intersecano, è preferibile eseguire prima il foro di minor diametro e maggiore precisione; in caso contrario, a causa della presenza della discontinuità, la precisione del foro a minor diametro non sarebbe garantita.





## *Scelta degli Utensili*

*Obiettivo:* scegliere gli utensili più adatti per garantire **la qualità e l'economicità della produzione**. Nel caso di utensili con inserto:

- Materiale inserto
- Forma e dimensioni inserto
- Angoli caratteristici
- Raggio di raccordo tra i taglienti
- Geometria e dimensioni stelo o corpo utensile



## Scelta dei Parametri di Taglio

*Obiettivo:* ottimizzazione economica del processo di taglio

- **Profondità di passata**  $\Rightarrow$  in prima approx  $\cong$  spessore soprametallo
- **Avanzamento**  $\Rightarrow$  il massimo consentito dai limiti tecnologici
- **Velocità di taglio**  $\Rightarrow$  corrispondente alla durata di minimo costo o massima produttività

Tale scelta è legata a

Durata del tagliente  
Materiale dell'utensile e del pezzo  
Condizioni di taglio  
Geometria utensile  
Sovrametalli da asportazione

Verificare che non siano superati vincoli tecnologici  $\Rightarrow$  Vibrazioni, eccessive deformazioni, massima rugosità, potenza ammissibile, velocità e avanzamento disponibili

Limiti inferiori  $\Rightarrow$  tagliente di riporto (velocità di taglio)  
rifiuto del tagliente (avanzamento)

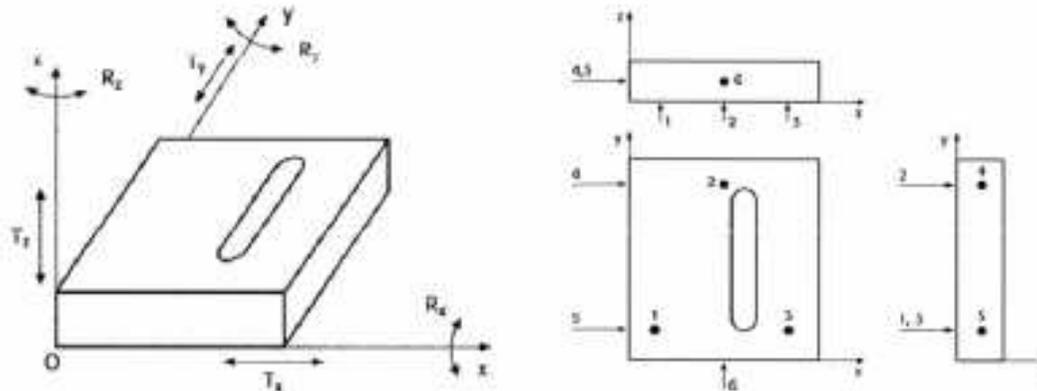


## Scelta delle Attrezzature

**Obiettivo:** **riferire** il pezzo nello spazio di lavoro della macchina e **bloccarlo** in posizione stabile e senza deformazioni.

Scelta basata su **analisi delle superfici** del pezzo, delle **lavorazioni** da effettuare in ogni fase e sotto-fase, della **precisione dimensionale** e delle **tolleranze**.

**Principio di progettazione: posizionamento isostatico.** Ogni corpo nello spazio (spazio di lavoro della macchina XYZ) ha 6 gradi di libertà; il principio consiste nell'eliminare i 6 gradi di libertà con il **minimo numero indispensabile** di punti di contatto tra pezzo e attrezzatura.





## *Scelta delle Attrezzature: Definizioni*

### Superfici di riferimento

**SR Superfici del pezzo dove sono localizzati i 6 punti, che entrano a contatto con gli elementi dell'attrezzatura. Per quanto possibile devono coincidere con i riferimenti di quotatura.**

### Superfici di partenza

**SP Superfici del greggio di partenza che svolgono la funzione di superfici di riferimento (in genere durante la prima sotto-fase).**

### Superfici di appoggio

**SA Superfici attraverso le quali si scaricano le sollecitazioni generate dalle forze di taglio.**

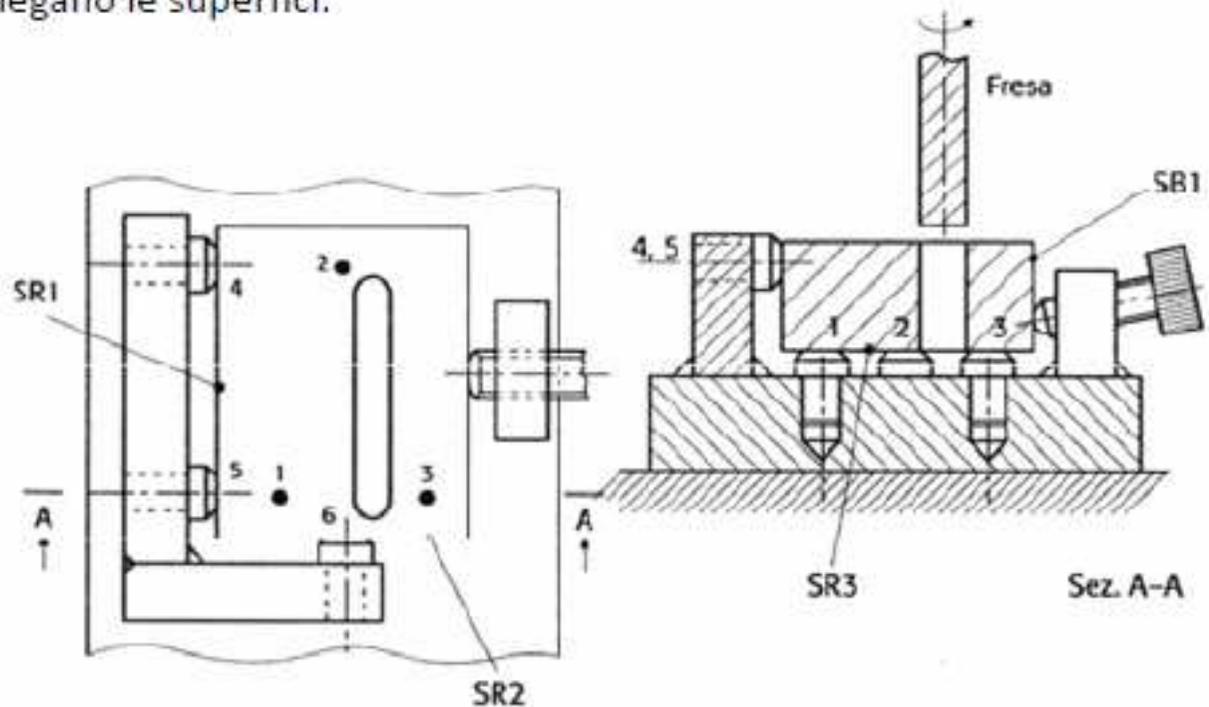
### Superfici di bloccaggio

**SB Superfici sulle quali agiscono i dispositivi di bloccaggio dell'attrezzatura.**

## Scelta delle Attrezzature

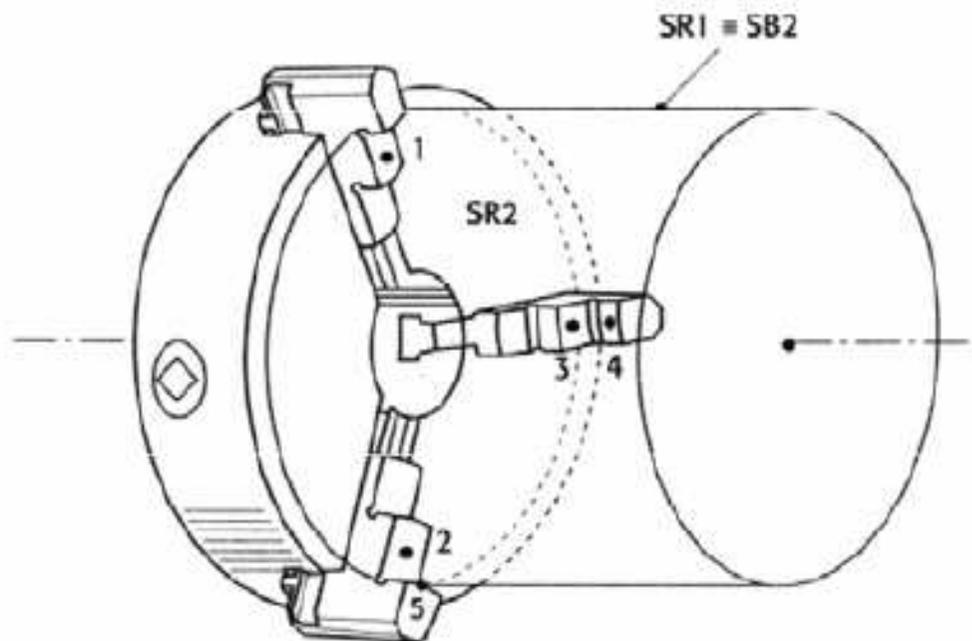
Le **SR** vengono create nella **prima fase** del ciclo di lavorazione in modo da evitare che nelle successive il posizionamento venga fatto su superfici grezze.

La scelta delle SR dipende anche dalla presenza di tolleranze dimensionali o di forma che legano le superfici.



**Fig. 9-07** Esempio semplificato di attrezzatura per fresatura del pezzo riportato nella figura 9-66. SR1, SR2, SR3: superfici di riferimento, SB1: superfici di bloccaggio. 1, 2, 3, 4, 5, 6: puntalini.

## Scelta delle Attrezzature

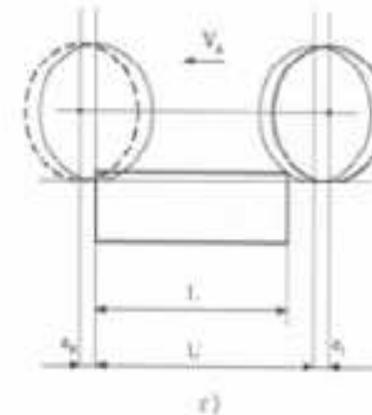
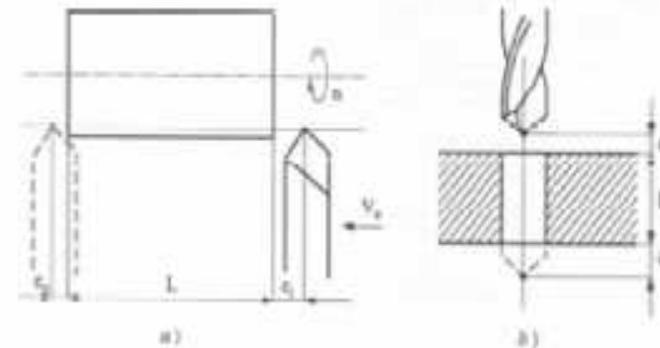


**Fig. 9-69** Montaggio di un pezzo cilindrico su piattaforma autocentrante. SR1, SR2: superfici di riferimento; SB1: superficie di bloccaggio.



## Calcolo dei Tempi e dei Costi

- **Tempi attivi:** si hanno quando avviene il movimento relativo fra utensile e pezzo con asportazione di truciolo
- **Tempi passivi:** si hanno quando non avviene la lavorazione
- **Tempi di preparazione:** sono quei tempi necessari alla preparazione della macchina utensile, al prelievo dal magazzino di utensili e strumenti di controllo e alla interpretazione del foglio di ciclo da parte dell'operatore.



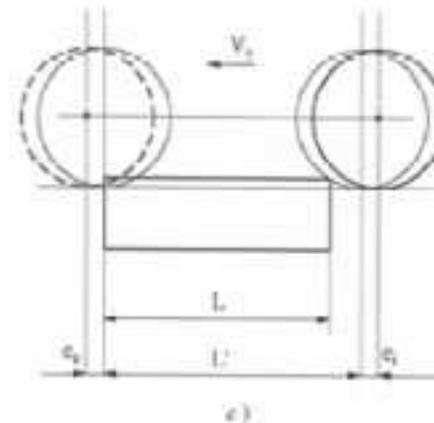
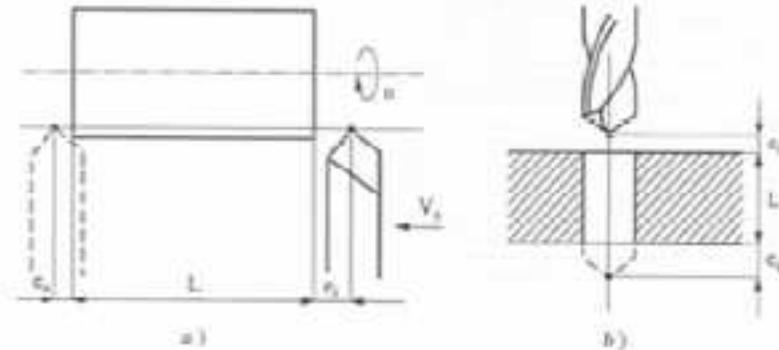
## Calcolo dei Tempi e dei Costi

Per tornitura e foratura il tempo attivo è:

$$t = \frac{L + e}{a \cdot n}$$

Per fresatura il tempo attivo è:

$$t = \frac{L' + e}{V_a}$$





## Calcolo dei Tempi e dei Costi

Il calcolo dei tempi passivi può essere ricavato con:

1. Rilevamento diretto
2. Metodo M.T.M

Si scinde l'intera attività in una sequenza di azioni elementari definite nelle tabelle dei tempi standard e a queste si assegna il tempo previsto.

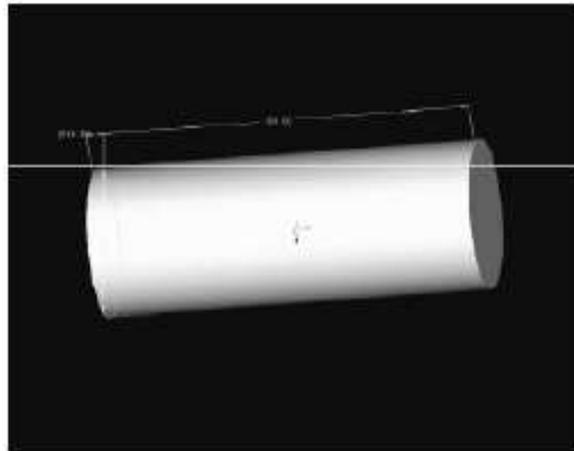
Es. Metodo M.T.M.  
Tempi di preparazione  
macchine in tornitura

Auxiliari - Attrezzi	Azioni	Tempo standard (min)
Piattaforma autocentrante	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare apertura	0,1
Piattaforma a 4 morsetti indipendenti	Montare	2,1
	Smontare	2,1
	Regolare 1 morsetto	0,3
Piattaforma a «plateau»	Montare	0,9
	Smontare	0,9
	Montare 1 staffa + 1 bullone	0,9
	Montare contrappeso	1,1
Mensola	Montare	0,4
	Smontare	0,4
Contreguanta-Punta	Montare nel mandrino	0,5
	Montare sulla controtesta	0,4
Lanetta fissa	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare	1,2
Lanetta mobile	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare	0,9

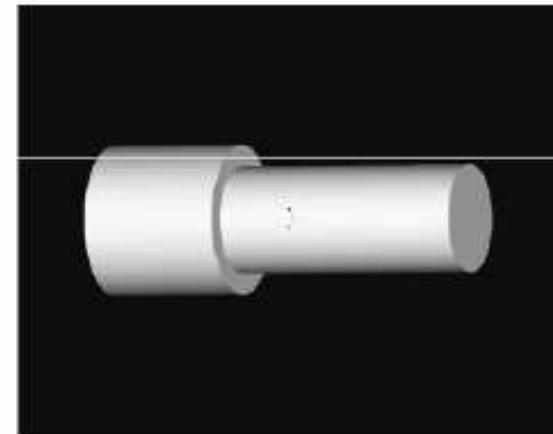


## CASO\_CONCRETO

*Determinazione dei processi tecnologici e scelta delle macchine utensili*



Grezzo



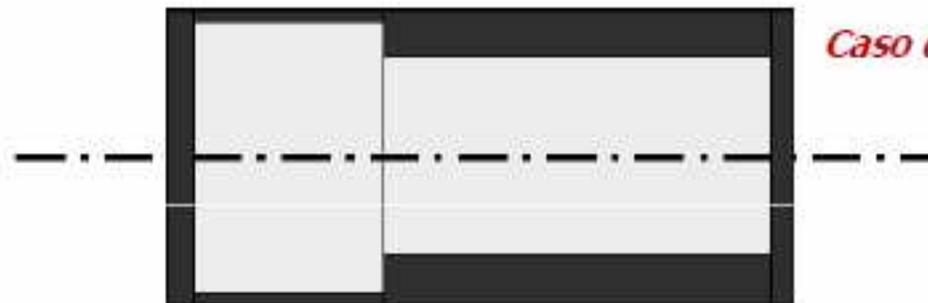
Finito

Lavorazioni assialsimmetriche

Tornio tradizionale o centro di tornitura CN



## *Determinazione dei processi tecnologici e scelta delle macchine utensili*



*Caso di una sola fase: Tornitura*

Sfacciatura su lato destro (sgrossatura, finitura)

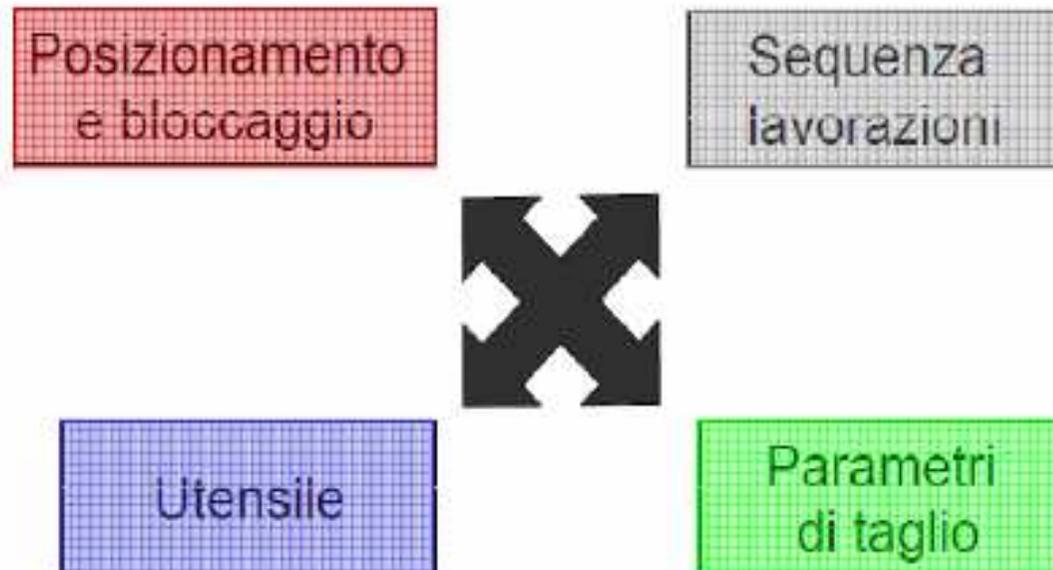
Sfacciatura su lato sinistro (sgrossatura, finitura)

Tornitura longitudinale ( $\phi$  26) (sgrossatura, finitura)

Tornitura longitudinale ( $\phi$  36) (sgrossatura, finitura)



## *Stesura del ciclo di lavorazione*

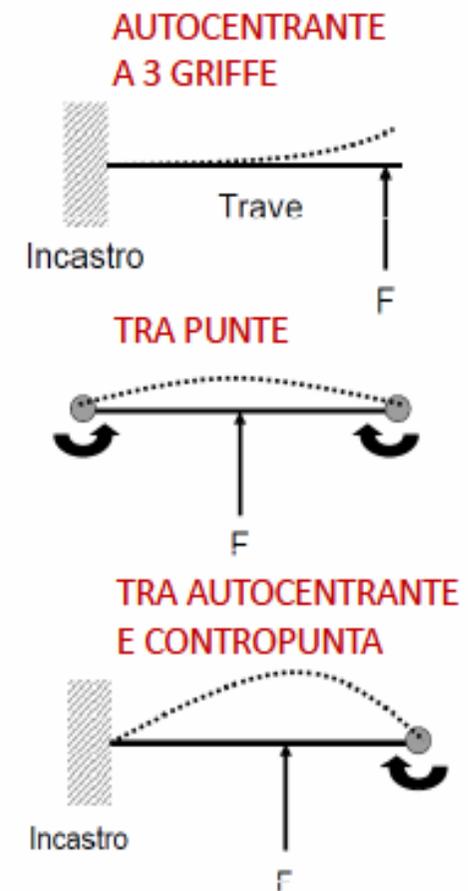




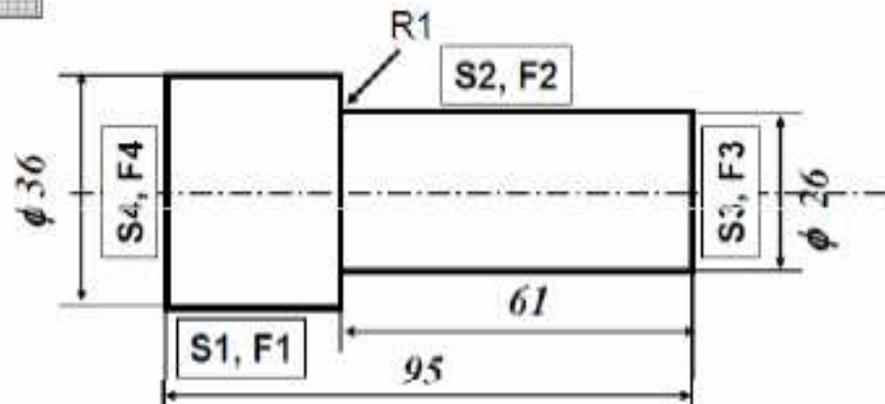
## Posizionamento e bloccaggio

Se il rapporto lunghezza/diametro è elevato il pezzo può inflettersi a causa della forza di taglio.

Occorre scegliere correttamente il sistema di bloccaggio in modo tale da evitare inflessioni del pezzo durante la lavorazione.



Sequenza  
lavorazioni



- Qual è la sequenza di operazioni che minimizza i costi soddisfacendo i vincoli tecnologici?
- Quanti posizionamenti sono necessari?

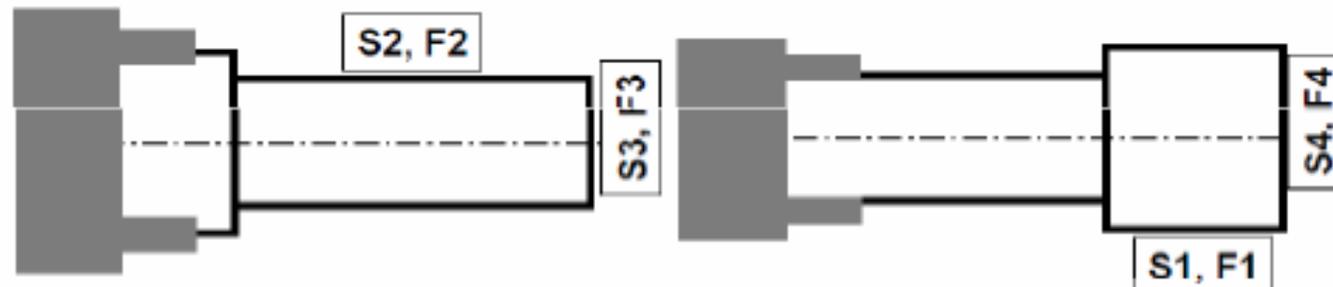
Le operazioni di sgrossatura devono precedere quelle di finitura.

Esistono altri vincoli tecnologici?



Sequenza  
lavorazioni

*A Sbalzo*



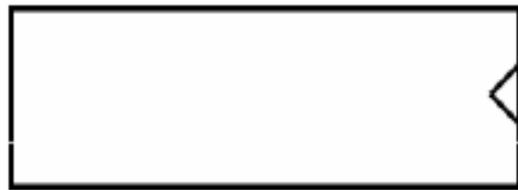
Possibili sequenze:

- Pos. 1: S3-F3-S2-F2
- Pos. 1: S3-S2-F3-F2
- Pos. 1: S4-F4-S1-F1
- Pos. 1: S4-S1-F4-F1
- Pos. 2: S4-F4-S1-F1
- Pos. 2: S4-S1-F4-F1
- Pos. 2: S3-F3-S2-F2
- Pos. 2: S3-S2-F3-F2

Sequenza  
lavorazioni

*Tra le punte*

I



S4, F4, C1

Montaggio a sbalzo

- Sfacciatura
- Finitura
- Foro da centro
- Sup. riferimento (fac.)

II



S3, F3, C2

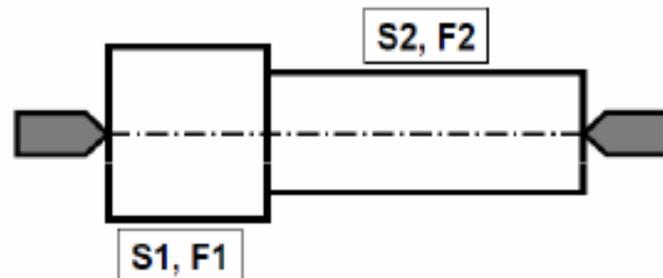
Montaggio a sbalzo

- Sfacciatura
- Finitura
- Foro da centro

Possibili sequenze:

III

- Pos. 1: S1-F1-S2-F2
- Pos. 1: S1-S2-F1-F2



Se i fori da centro  
devono essere  
eliminati servono altri  
2 posizionamenti

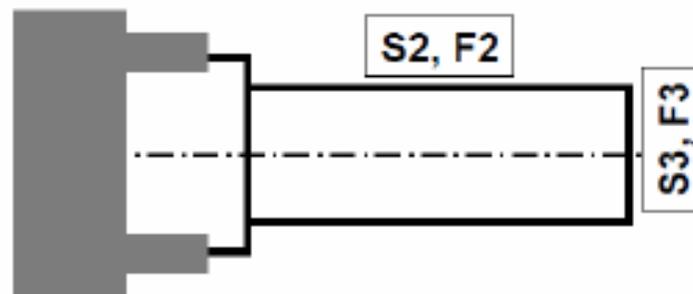


5 posizionamenti!!



## Sequenza lavorazioni

Oltre a minimizzare il numero di piazzamenti si cerca di minimizzare anche il numero di cambi utensile.



Nello stesso posizionamento è possibile scegliere fra diverse sequenze:

- S3-F3-S2-F2    3 cambi utensile
- S3-S2-F3-F2    1 cambio utensile

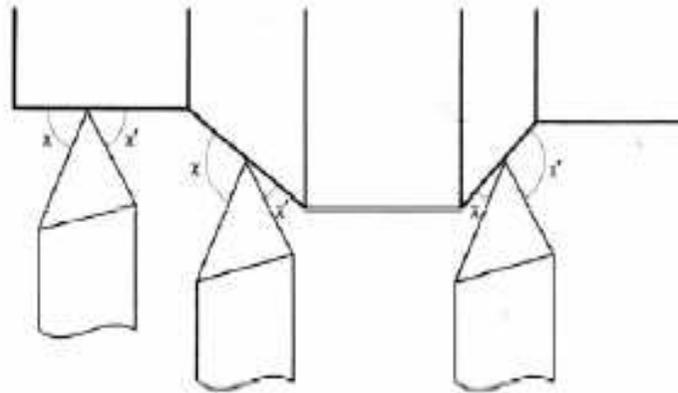
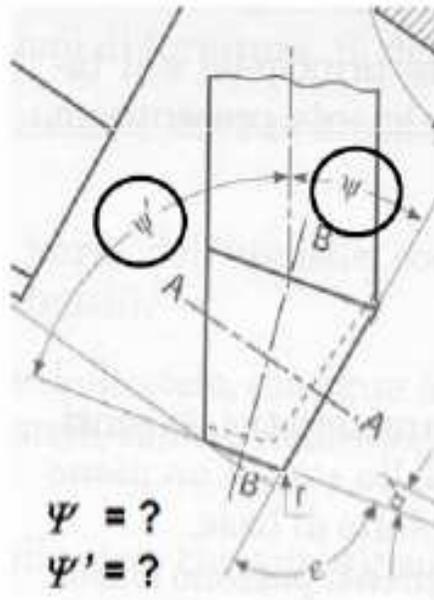


## Utensile

*Occorre definire:*

- Angoli del profilo
- Materiale dell'inserto
- Forma dell'inserto
- Geometria dell'inserto
- Dimensioni dell'inserto
- Raggio di punta
- Sistema di bloccaggio dell'inserto
- Tipo e dimensione dell'utensile

## Utensile



Angoli di registrazione effettivi

Devono essere verificate le condizioni:

- $\chi \geq 3^\circ$
- $\chi' \geq 3^\circ$

Fattori da considerare:

- vibrazioni
- forze
- spessore di truciolo
- rugosità
- . . .

Si consigliano  $\psi \leq 0$  con pezzi poco rigidi o per realizzazione di spallamenti retti.



## Utensile

### *Materiale dell'inserto*

La scelta del materiale dell'inserto dipende principalmente:

- dal materiale da lavorare (classi P, M, K, N, S, H secondo codifica ISO)
- dal tipo di lavorazione (sgrossatura, finitura).

<b>Classe P:</b>	acciaio, ghisa malleabile a truciolo lungo, ecc.
<b>Classe M:</b>	acciaio inossidabile austenitico/ferritico/martensitico, ghisa legata, ecc.
<b>Classe K:</b>	ghisa, ghisa fusa in conchiglia, ghisa malleabile a truciolo corto, ecc.
<b>Classe N:</b>	alluminio e metalli non ferrosi
<b>Classe S:</b>	superleghe resistenti al calore
<b>Classe H:</b>	acciaio temprato

**UNI-C40**

**Classe P**

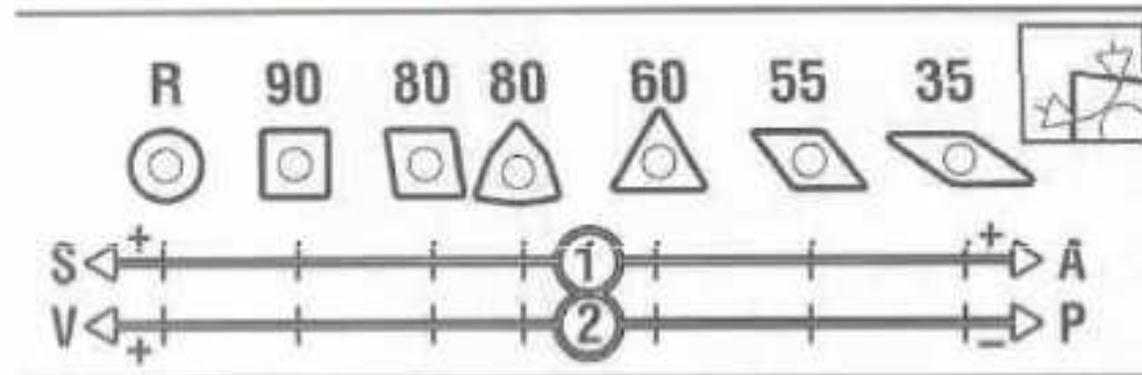


## Utensile

### *Forma dell'inserto*

La scelta della forma dell'inserto è influenzata da:

- angolo di registrazione richiesto
- accessibilità richiesta



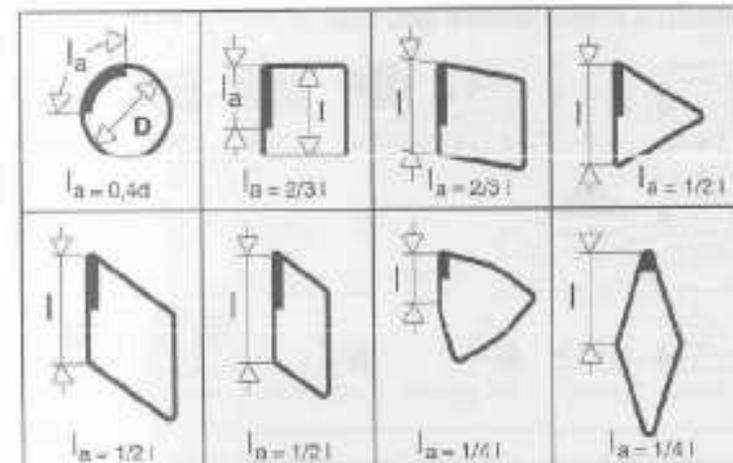
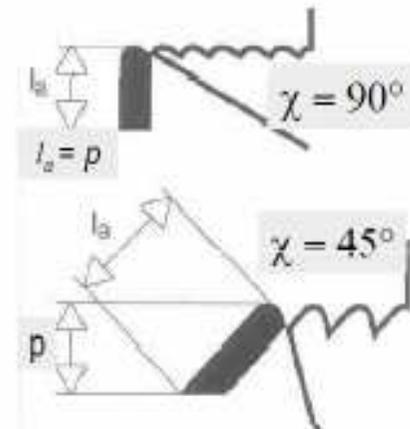
S: Robustezza  
V: Vibrazioni

A: Accessibilità  
P: Assorbimento di potenza

## Utensile

Per completare la scelta dell'utensile occorre scegliere:

- Geometria dell'inserto: - angoli di taglio  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$   
- rompitrucciolo
- Dimensioni dell'inserto: occorre scegliere la lunghezza  $l$  del tagliente considerando la lunghezza effettiva  $l_a$  del tagliente (*dipende dalla massima profondità di passata*)
- Raggio di punta: all'aumentare del raggio di punta  $r_e$  aumentano le vibrazioni e diminuisce la rugosità  $R_{a1}$ ; in sgrossatura  $r_e$  più elevati.





## Parametri di taglio

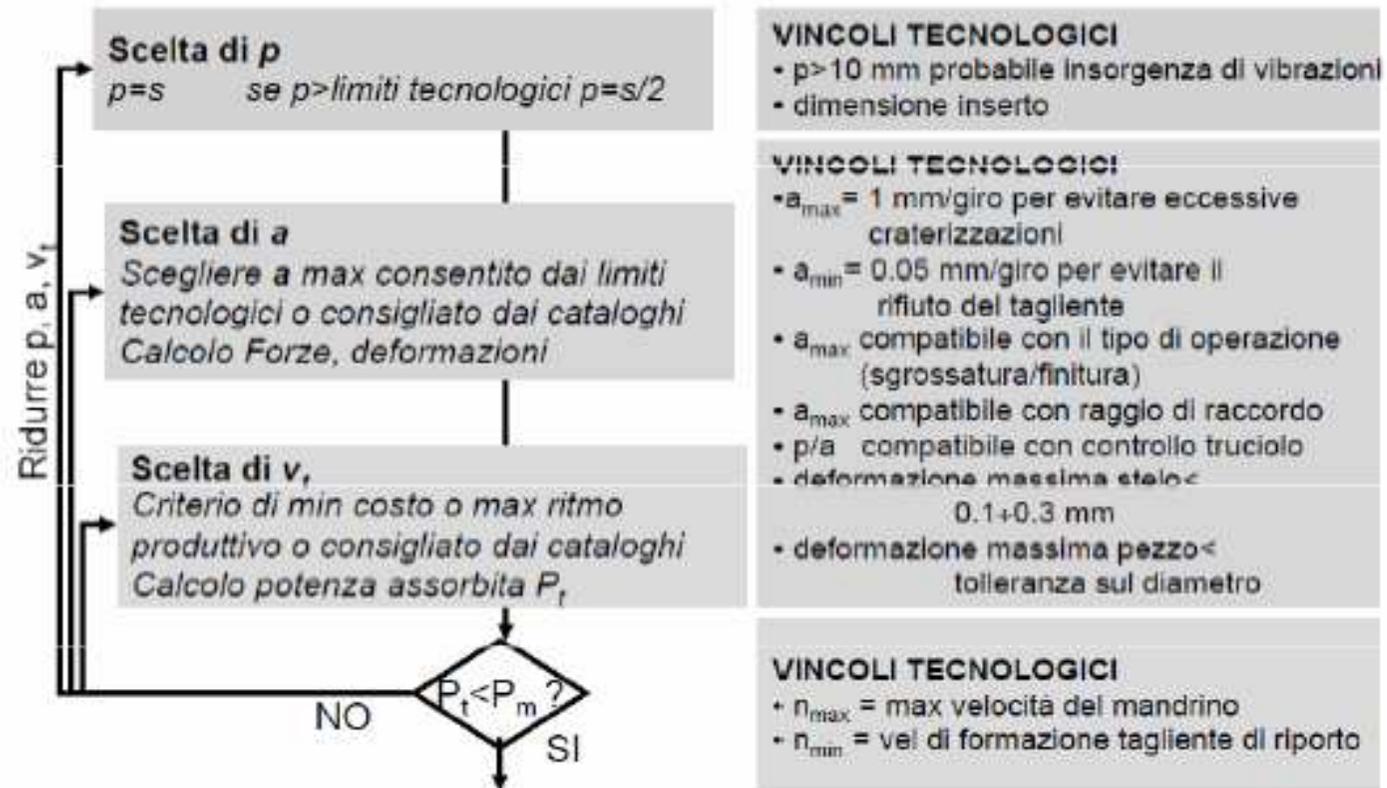
### Parametri di taglio in tornitura

- profondità di passata, numero di passate
- avanzamento
- velocità di taglio, numero di giri del mandrino

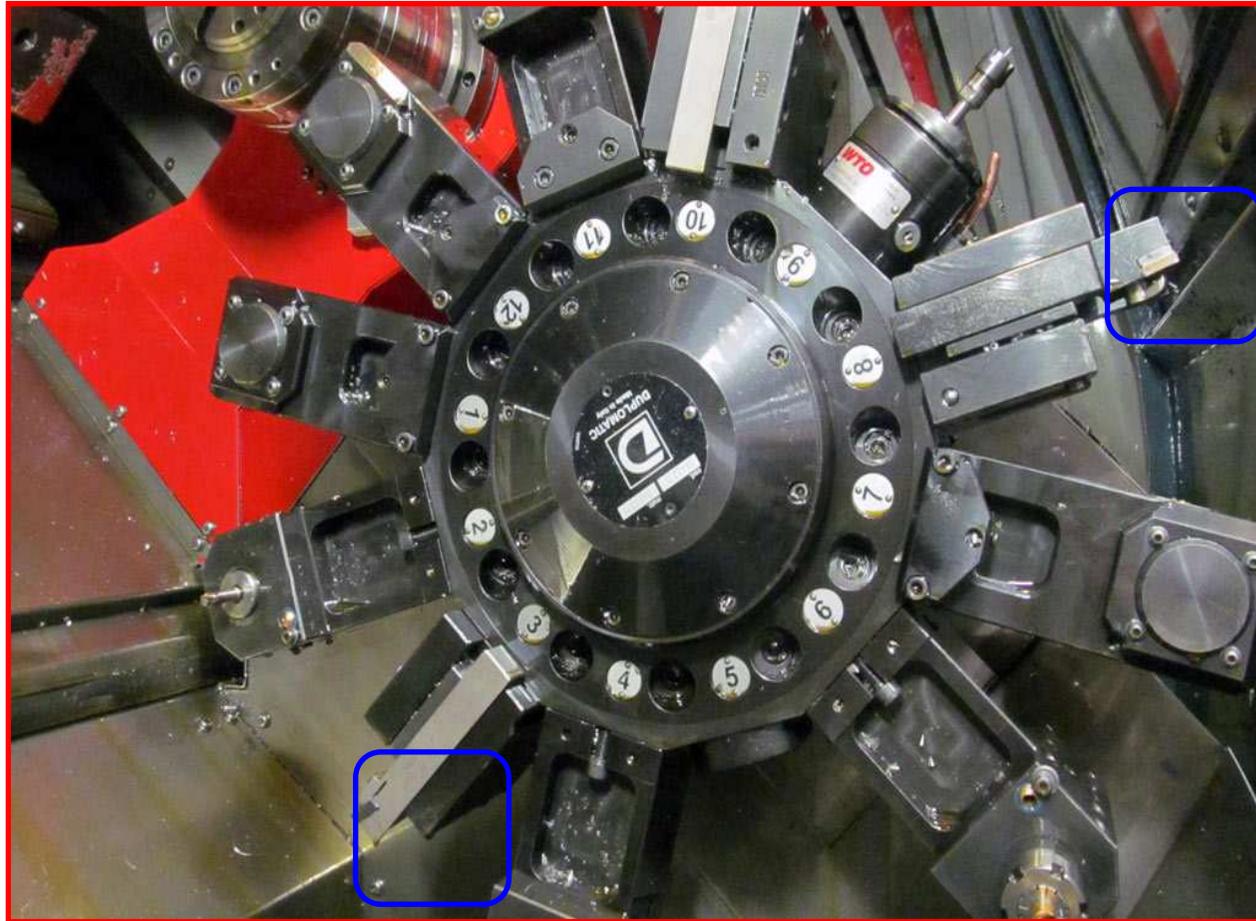
La scelta dei parametri di taglio dipende da: materiale in lavorazione, utensile, rugosità desiderata, macchina utensile, liquido lubrorefrigerante, ecc.



## Parametri di taglio



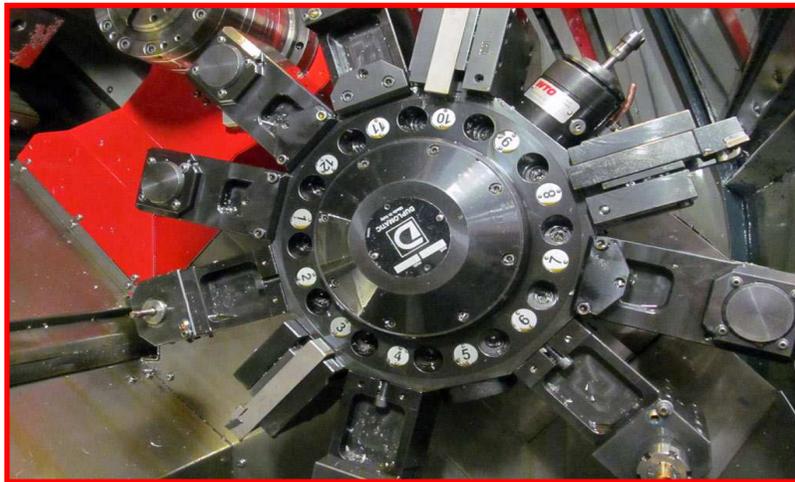
# Tornio CNC a torretta



# Tornio CNC a torretta

I torni a torretta sono chiamati anche **torni revolver** per l'analogia tra la torretta ed una pistola a tamburo.

La lavorazione avviene direttamente sulla barra di materiale che passa attraverso il mandrino auto-centrante del tornio.



Di fronte al mandrino è presente la torretta girevole, sulla quale sono montati gli utensili corrispondenti alle varie operazioni elementari.

# Tornio CNC a torretta

Tutte le fasi di lavoro sono **automatiche e comandate del CNC**:

- apertura della pinza del mandrino al termine della lavorazione di un pezzo;
- avanzamento della barra all'interno della pinza di una quantità corrispondente alla lunghezza di un pezzo nuovo (più eventuale sfrido e sovra-metallo);
- chiusura della pinza del mandrino;
- messa in rotazione del mandrino alla velocità programmata;
- movimento della torretta girevole porta utensili per effettuare la sequenza delle lavorazioni.
- movimento lungo gli assi X e Z del carro sul quale è montata la torretta girevole per effettuare la sequenza delle lavorazioni.

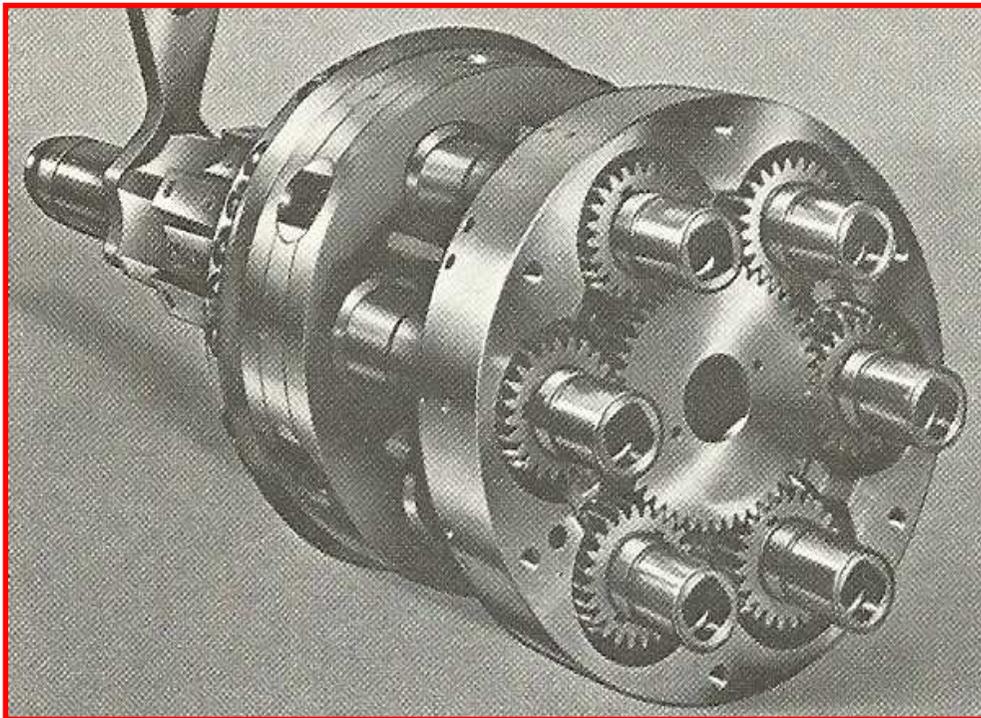
# Tornio CNC a torretta



# Tornio CNC pluri-mandrino

Nei torni CNC ad un mandrino la torretta deve avanzare e retrocedere tante volte quante sono le operazioni elementari.

Nei torni CNC pluri-mandrino, invece, ci sono tante barre in lavorazione quanti sono i mandrini.



Tamburo porta mandrini di un tornio automatico a 6 mandrini

# Tornio CNC pluri-mandrino

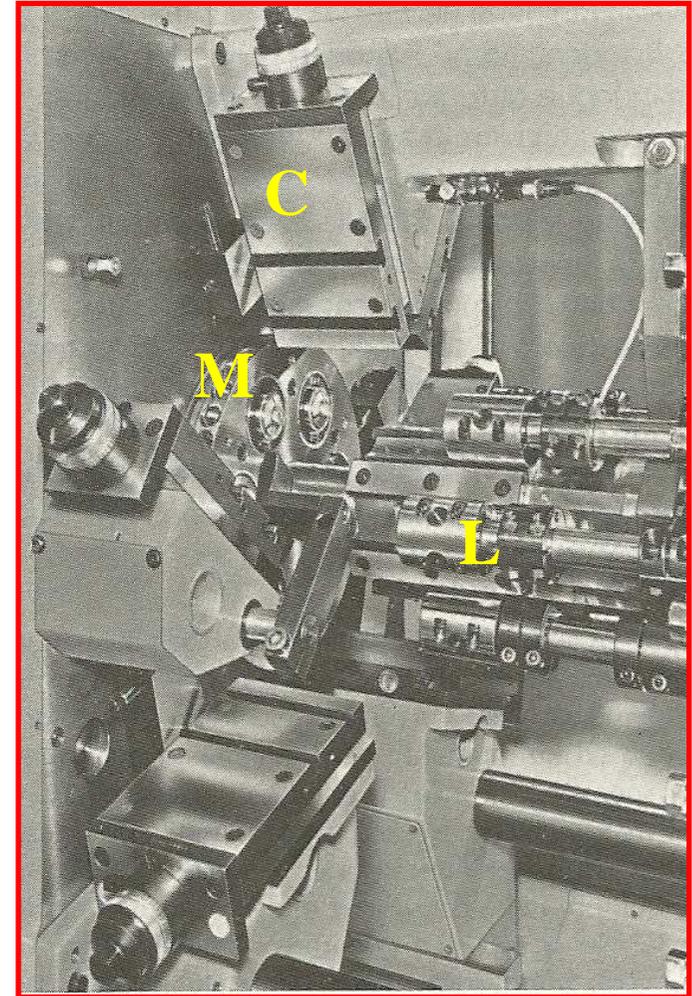
Durante una corsa di lavoro della torretta porta utensile tutte le barre sono sottoposte ad una diversa fase di lavoro.

Solo una barra subirà l'ultima lavorazione e si otterrà il pezzo finito.

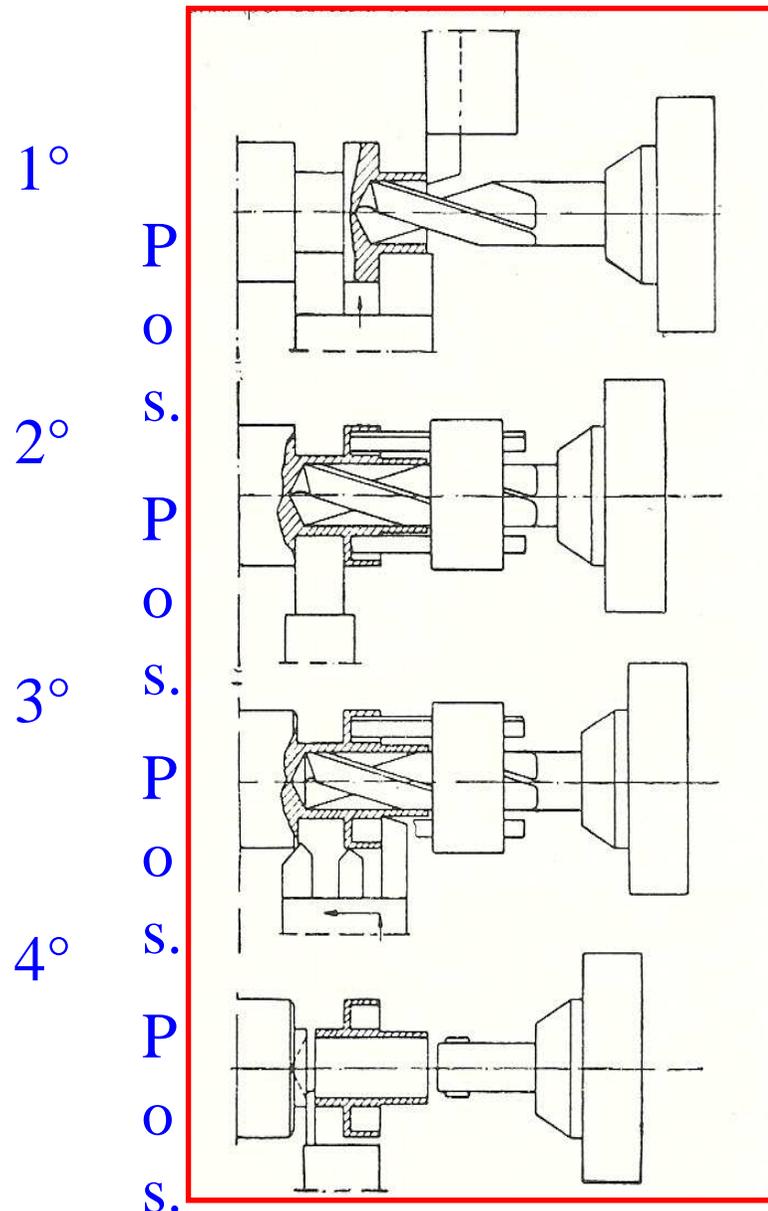
Gli avanzamenti delle slitte longitudinali e dei carri trasversali sono comandati da camme e meccanismo con punteria.

Ogni mandrino ha in corrispondenza una slitta longitudinale ed un carro trasversale.

Vista di mandrini **M**, slitte porta utensili longitudinali **L** e carri trasversali **C**



# Tornio CNC pluri-mandrino



Slitta long.: foratura;

Carro trasv.: sgrossatura di forma;

Slitta long.: 2° parte foratura  
+esecuzione gola esterna  
concentrica;

Carro trasv.: sgrossatura di forma;  
Slitta long.: finitura foro e  
gola;

Carro trasv.: finitura esterna

Slitta long.: alesatura foro;

Carro trasv.: troncatura del  
pezzo

# Tornio CNC pluri-mandrino





Ciclo di lavorazione per la **puleggia**  
**MS121041-1550**



# Ciclo di lavorazione per la puleggia MS121041-1550

In base a quanto detto prima cominciamo a studiare il disegno.

Capiamo, così, il materiale del pezzo, le sue dimensioni, tutte le tolleranze, il grado di finitura superficiale e la necessità di effettuare un trattamento di zincatura ed una successiva ripresa del foro del naso.

Sulla base del lotto da produrre ( $\approx 2000$  pezzi) definiamo le macchine da utilizzare, un tornio CNC doppio-testa a torretta.

Dalle massime dimensioni del pezzo decidiamo di acquistare una barra di  $\phi$  **61 mm**.

A questo punto è possibile definire la sequenza delle operazioni elementari da eseguire sul tornio CNC doppio-testa.

# Ciclo di lavorazione per la puleggia MS121041-1550

Abbiamo detto che la puleggia dopo la tornitura subirà successive fasi di lavoro (trattamento superficiale di zincatura e la lavorazione di alesatura).

Per questo motivo bisogna fare attenzione a lasciare la giusta quantità di sovrametallo di lavorazione.

Ad esempio, la quota  $\phi 17^{+0.051}_{+0.025}$  (diametro del foro del naso della puleggia indicato con il numero **1** nel disegno) **dovrebbe** essere diversa dopo la fase di tornitura.

Infatti, questa quota diminuirà a causa del trattamento di zincatura mentre aumenterà durante la fase di alesatura.

Si mostra per la fase di tornitura la “**scheda di controllo**” (già definita figlio analisi) indicante le effettive quote da ottenere.

# Ciclo di lavorazione per la puleggia MS121041-1550

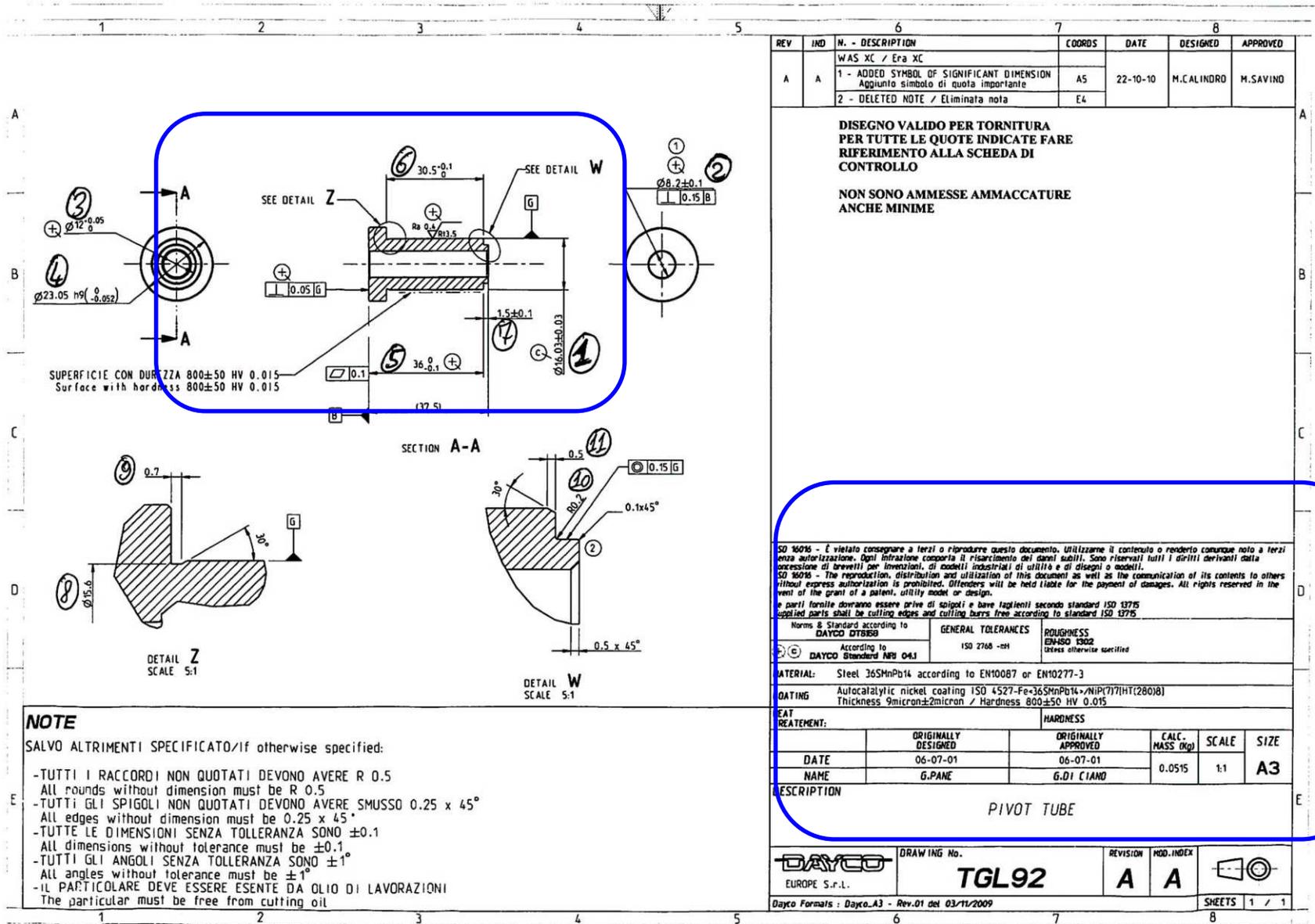
		MOD. 3 T	SCHEMA DI CONTROLLO							Lotto n°			Tratt.di Zincatura Prog. .fan			Cod: MS121041-1550	
QUOTA	VALORE	TOLLERANZA	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura
1	17,060	±0,005															
2	27	±0,1															
3	60	±0,2															
4	59	±0,2															
5	54	±0,2															
6	40	±0,2															
7	31,5	±0,1															
8	13,3	±0,1															
9	4,7	±0,1															
10	9,2	±0,1															
11	4,5	±0,1															
12	38°	±30'															
13 Passo gole	3,56	±0,05															
14 H creste	3,4 minimo																
COMPILATORE																	
FIRMA OPERATORE																	

In corrispondenza dei numeri riportati sul disegno del pezzo notiamo:

- il valore “nominale” da ottenere nella fase di tornitura;
- la tolleranza da mantenere nella fase di tornitura;
- alcuni campi che l’operatore compila per controllare l’andamento della quota (**SPC - Statistical Process Control**);

Alla fine è presente un campo dove l’operatore appone la sua firma.

# Ciclo di lavorazione per il perno TGL92AA



Ciclo di lavorazione per il perno  
**TGL92AA**



# Ciclo di lavorazione per il perno TGL92AA

Come fatto per la puleggia, cominciamo a studiare il disegno per capire il materiale, le dimensioni del pezzo, le tolleranze, la finitura superficiale e la necessità di effettuare un trattamento di nichelatura ed una successiva rettifica del diametro esterno.

Da precisare che il pezzo presenta tolleranze dimensionali più ristrette della puleggia (ad esempio la quota indicata con il numero **3**);

Questo rende la realizzazione del pezzo molto complessa (rischio di produrre scarti).

Sulla base del lotto da produrre ( $\approx 50000$  pezzi) definiamo le macchine da utilizzare, un tornio CNC pluri-mandrino.

Dalle massime dimensioni del pezzo decidiamo di acquistare una barra di  $\phi$  **24 mm**.

A questo punto è possibile definire la sequenza delle operazioni elementari da eseguire sul tornio CNC plurimandrino.

# Ciclo di lavorazione per il perno TGL92AA

Anche in questo caso, la tornitura è solo una fase che compone il ciclo complessivo del perno

Infatti, il perno dovrà essere successivamente nichelato e rettificato.

Quindi, è necessario calcolare la giusta quantità di sovrametallo di lavorazione.

Ad esempio, la quota  $\phi$  **16.03±0.03** (diametro esterno del perno indicato con il numero **1** nel disegno) **dovrebbe** essere diversa dopo la fase di tornitura.

Infatti, questa quota diminuirà a causa del trattamento di rettifica ed in seguito aumenterà a causa del trattamento di nichelatura.

Vediamo per la fase di tornitura la “**scheda di controllo**” indicante le effettive quote da ottenere.

# Scheda di controllo della fase di tornitura del perno

SCHEDA DI CONTROLLO					TGL92 AA		Materiale:Tondo Ø 24, (36SMnPb14)		
QUOTA	VALORE	TOLLERANZA	STRUMENTO UTILIZZATO	MISURA ATTREZZAG GIO	MISURA CONTROLLO QUALITA'	MISURA	MISURA	MISURA	MISURA
1	16,03	± 0,03	Micrometro per esterni						
2	8,2	+ 0,1 ; -0,07	Calibro digitale						
3	12,007	min 11,990 max 12,025	Micrometro per esterni						
4	23,005	min 22,990 max 23,025	Micrometro per esterni						
5	35,95	+ 0,03 ; -0,05	Altimetro millesimale						
6	30,55	± 0,03	Altimetro millesimale						
7	1,5	± 0,07	Altimetro millesimale						
8	15,6	± 0,1	Proiettore di profili						
9	0,7	± 0,1	Proiettore di profili						
10	R 0,2	± 0,1	Proiettore di profili						
11	0,5	± 0,1	Proiettore di profili						

In corrispondenza di numeri riportati sul disegno del pezzo notiamo anche la presenza degli strumenti di misura da utilizzare.

# Tornio CNC pluri-mandrino

Slitta long.: centrino + sgrossatura zona filetto;

carro trasv.: sgrossatura zona godrone;

Slitta long.: foratura;

carro trasv.: sgrossatura esterna;

Slitta long.: 2° parte foratura;

carro trasv.: finitura zona filetto e godrone;

Slitta long.: allargatore;

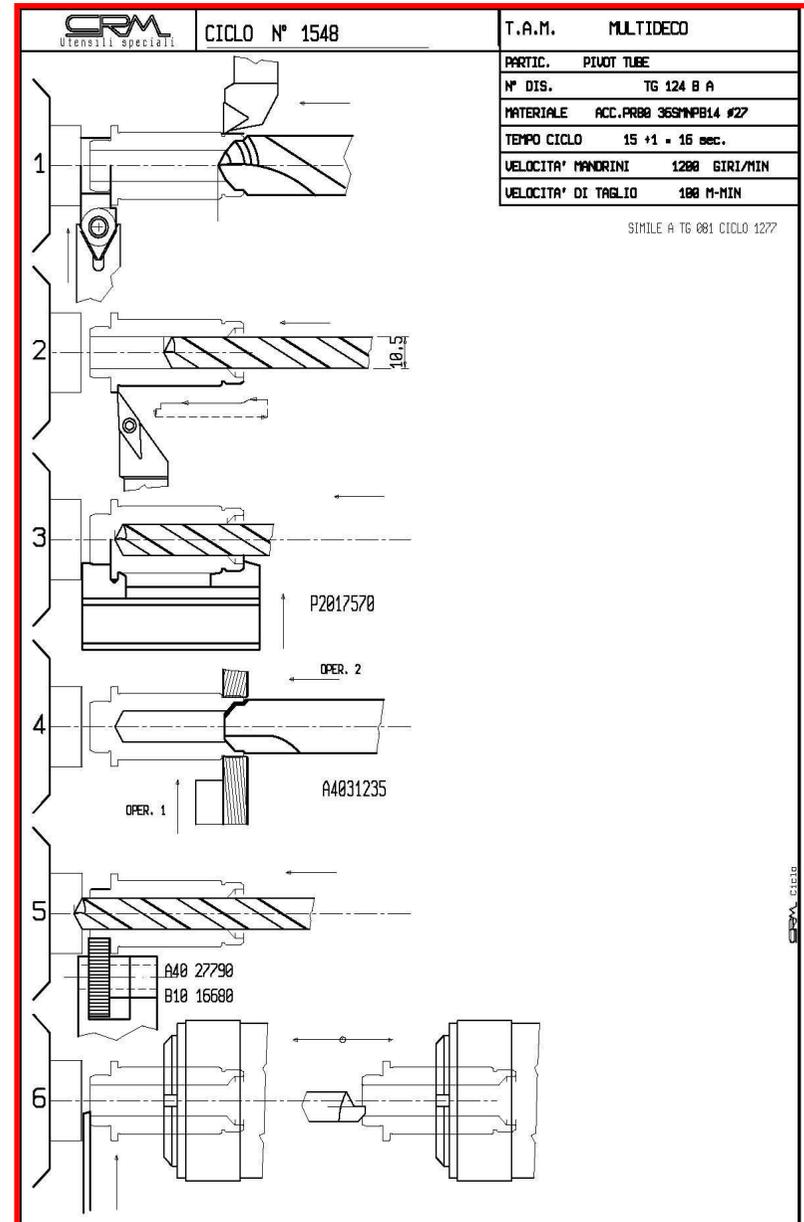
carro trasv.: rullatura;

Slitta long.: 3° parte foratura;

carro trasv.: godronatura;

Slitta long.: presa pick-up + smusso interno;

carro trasv.: taglio;





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



Bibliografia :

# Tecnologia meccanica

Lavorazioni per deformazione plastica

Antonio Zompì

Raffaello Levi

Lavorazioni per asportazione di truciolo

UTET Libreria



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



---

*Buon lavoro*

*Professore Domenico Fernando Antonucci*