

DISEGNO PROGETTAZIONE E ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE

PROGRAMMA V ANNO

MECCANICA MECCATRONICA ED ENERGIA

- **Macchine Utensili**
- **Materiali per Utensili da Taglio / Degradamento e Usura**
- **Le Tecnologie di Lavorazione Meccanica per asportazione di Truciolo**
- **Le Tecnologie di Lavorazione Meccanica per deformazione Plastica**
- **Le Tecnologie di Montaggio Meccanico**
- **Lavorazione per Fusione**
- **Attuatori Pneumatici**
- **Lavorazioni al Trapano**
- **Lavorazioni alla Fresatrice**
- **La Macchina Alesatrice**
- **La Macchina Strozzatrice**
- **La Macchina Brocciatrice**
- **Le Dentatrici**
- **La Rettificatrice**
- **Project Management**
- **Classificazione dei Sistemi Produttivi**

Macchine Utensili

La tendenza attuale nel campo delle macchine utensili è quella di estendere sempre più il controllo automatico, con l'applicazione di sistemi programmati mediante il cosiddetto "controllo numerico". Questo tipo di controllo assicura il comando della macchina utensile senza l'intervento degli operatori, sulla base delle istruzioni registrate, secondo un adatto codice, su nastri magnetici o schede perforate. Tali istruzioni comprendono tutti i parametri che entrano in gioco in una lavorazione, come la scelta e il posizionamento degli utensili, la determinazione delle velocità di taglio e di avanzamento, i controlli dimensionali e di forma, ecc.

Si va anche progressivamente estendendo il processo di "controllo adattativo". Questo è fondato sul criterio di adeguare in ogni istante le condizioni di lavoro della macchina a quelle ottimali per determinati fini, per es., per la più conveniente durata degli utensili. Così, in una lavorazione di fresatura i denti dell'utensile potranno incontrare resistenza al distacco dei trucioli variabile da zona a zona, per diversità locali sia del sovrametallo da asportare sia della durezza superficiale. La velocità di avanzamento del pezzo in un sistema adattativo sarà in ogni istante regolata a un valore tale da assicurare che la forza per unità di lunghezza dello spigolo di taglio impegnato resti costante nel tempo. Una macchina utensile con controllo adattativo non lavorerà quindi in questo caso con velocità di avanzamento costante, ma questa verrà regolata da un elaboratore nel quale saranno immessi i segnali provenienti da appositi trasduttori che rileveranno, istante per istante, lo sforzo di taglio.

Si assiste oggi, in generale, a un progressivo sviluppo dei processi di lavorazione in forma di sistema atto a elaborare le informazioni disponibili per l'ottimizzazione della produzione sotto i diversi aspetti.

In questo quadro di carattere generale si ricordano alcuni processi speciali di lavorazione per asportazione di materia che si sono sviluppati per applicazioni particolari, in sostituzione a quelli tradizionali fondati sull'uso di utensili da taglio, nelle comuni macchine utensili.

a) Nel processo di "elettroerosione" l'asportazione di metallo dal pezzo da lavorare avviene per fusione e volatilizzazione di piccolissime masse mediante una miriade di scariche elettriche tra un apposito elettrodo e il pezzo (conduttore), separati da un dielettrico di spessore dell'ordine di $0,1 \div 0,01$ mm. Imprimendo all'elettrodo un opportuno moto di avanzamento si genera così nel pezzo una cavità di forma e dimensioni corrispondenti al primo. Caratteristica di questo processo è l'applicabilità a materiali di elevata durezza, come acciai temprati o leghe dure, senza alterazione delle proprietà. La macchina comprende un generatore elettrico d'impulsi per produrre le scariche e un sistema di circolazione del liquido dielettrico nella zona in

lavorazione. Si possono realizzare tolleranze dimensionali inferiori a 0,01 mm, con una velocità di asportazione del materiale lavorato da 0,2 a 400 cm³/h, in relazione alla maggiore o minore precisione da conseguire e, naturalmente, alle caratteristiche della macchina. Gli elettrodi sono di rame o di grafite o di leghe sinterizzate di tungsteno e rame o argento.

Una variante dell'elettroerosione è la "molatura elettroerosiva" in cui l'elettrodo è costituito da una mola di grafite che si fa muovere rispetto al pezzo come una comune mola abrasiva.

b) Nella "fresatura elettrochimica" si asporta il metallo dal pezzo in lavorazione per effetto di dissoluzione anodica, prodotta dal passaggio di corrente continua in uno strato sottile (spessore < 1 mm) di soluzione elettrolitica verso un catodo sagomato in altorilievo in modo corrispondente alla cavità da produrre. L'elettrolita dev'essere mantenuto in energica circolazione per evitare la polarizzazione e il riscaldamento. Si usano tensioni di 4 ÷ 24 v e correnti di 50 ÷ 40.000 A.

S'impiegano soluzioni di cloruro e nitrato di sodio o di acido solforico ed elettrodi (catodi) di rame, ottone, acciaio inossidabile, titanio, alluminio, grafite. Le tolleranze conseguibili sono di 0,1 ÷ 0,01 mm, la velocità di asportazione del metallo lavorato è dell'ordine di 15 cm³/min per una corrente di 100.000 A.

c) Nell'"erosione elettrochimica" si utilizzano simultaneamente i processi di elettroerosione e di fresatura elettrochimica.

d) Nella "fresatura chimica" l'asportazione del metallo lavorato avviene per dissoluzione chimica da parte di un'adatta soluzione di acido cloridrico e acido nitrico per gli acciai, di cloruro ferrico e acido nitrico per il rame. La distribuzione dell'attacco si regola mediante la preventiva applicazione di strati protettivi, per es. di vernici fotosensibili, sui quali si delimita la zona che interessa mediante un processo fotografico. Questa tecnica di lavorazione è tipica per la produzione dei circuiti stampati nelle applicazioni di elettronica industriale.

e) Nelle lavorazioni al laser s'impiega l'elevatissima concentrazione di energia realizzabile in una ristretta zona della superficie di un pezzo con i raggi di luce coerente generati da apposito apparecchio per tagliare, forare o saldare materiali metallici di ogni tipo. Questa tecnica è in rapido sviluppo e se ne prevede una prossima larga applicazione in scala industriale.

f) Nelle lavorazioni a ultrasuoni si utilizza l'azione abrasiva, sul pezzo in lavorazione, prodotta dalle particelle di un materiale molto duro in sospensione in un liquido (usualmente acqua), poste in energica agitazione da un utensile vibrante a frequenze ultrasonore (> 20.000 Hz). Si produce così progressivamente nel pezzo una cavità corrispondente alla forma dell'utensile, per es. un foro circolare. Come abrasivo

s'impegnano polveri di carburo di boro, di carburo di silicio, ossido di alluminio o diamante miscelate al liquido nella proporzione di circa il 50%.

g) Nelle lavorazioni a getto abrasivo si dirige sulla zona del pezzo da lavorare un getto gassoso ad alta velocità ($150 \div 300$ m/sec) in cui s'immettono polveri di allumina, Al_2O_3 , o carborundum, SiC, di $10 \div 50$ μm di dimensioni, in misura di $3 \div 20$ g/min. L'ugello dal quale esce il getto di gas subisce anch'esso una sensibile usura e può avere una durata da 10 h (carburo di tungsteno) a 300 h (zaffiro).

h) Nelle lavorazioni a fascio elettronico si concentra sulla zona da lavorare del pezzo un fascio di elettroni emesso da un filamento caldo; tale fascio è accelerato da un'opportuna differenza di potenziale e fatto convergere (focalizzato) mediante "lenti" elettrostatiche o elettromagnetiche. Si opera di norma in vuoto (10^{-4} mm_{Hg}) e si produce la volatilizzazione del materiale (qualsiasi) nella zona d'impatto degli elettroni, al fine di produrre fori o tagli. Occorrono misure protettive per i raggi X emessi dal materiale colpito dagli elettroni di alta energia.

Materiali per utensili da taglio

Il comportamento di un utensile influenza in maniera determinante la qualità ed il costo delle parti lavorate:

Sgrossatura: l'utensile deve asportare elevati volumi di truciolo;

Finitura: l'utensile deve permettere l'ottenimento di finiture superficiali adeguate.

La capacità di un utensile di soddisfare tali esigenze dipende dal tipo e dalle proprietà del materiale impiegato per la sua costruzione, dalla sua geometria e dai parametri di lavorazione.

L'utensile è soggetto a sollecitazioni meccaniche e termiche che si manifestano come usura progressiva e talvolta come collasso improvviso.

Ogni utensile è caratterizzato da un tempo di vita utile (durata) durante il quale può eseguire, con le prestazioni desiderate, una data operazione con parametri di taglio definiti.

Principali requisiti dei materiali per utensili da taglio

- **Elevata durezza**, soprattutto ad elevate temperature
- **Elevata tenacità**, intesa sia come capacità di resistere agli urti che sollecitano l'utensile in condizioni di taglio interrotto, sia come capacità di deformarsi sotto carico prima di rompersi
- **Elevata resistenza alla deformazione plastica** che può presentarsi a causa delle elevate sollecitazioni meccaniche e termiche agenti sull'utensile
- **Elevata resistenza all'usura**, causata dallo strisciamento del truciolo sul petto e della superficie lavorata sul dorso dell'utensile
- **Elevata conducibilità termica**, allo scopo di favorire lo smaltimento del calore dalla zona di taglio
- **Elevata inerzia chimica** per evitare che si esalti il fenomeno dell'usura
- **Basso coefficiente d'attrito**, allo scopo di impedire eccessivi riscaldamenti nella zona di taglio.

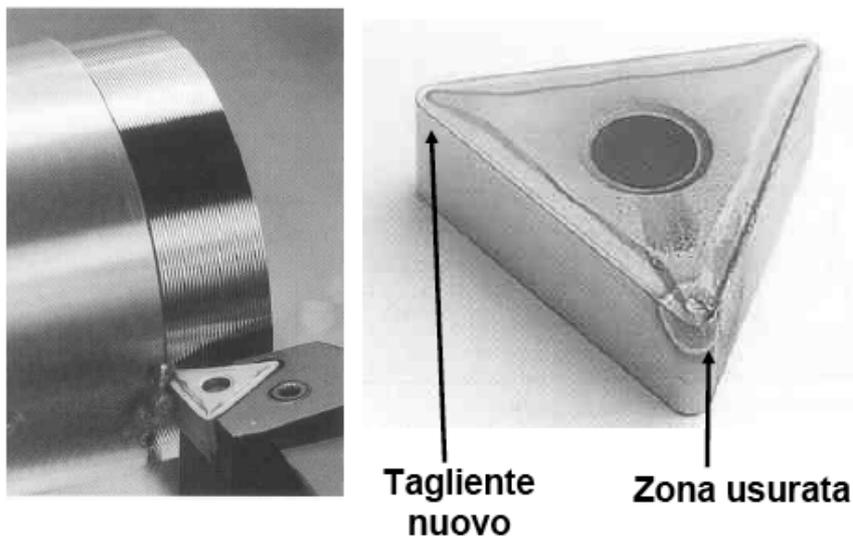
Materiali per utensili

- 1) Acciai al carbonio ed acciai debolmente legati
- 2) Acciai rapidi e superrapidi (High-Speed Steels, HSS)
- 3) Leghe fuse di cobalto (Stelliti)
- 4) Carburi metallici sinterizzati
- 5) Carburi metallici rivestiti

- 6) Materiali ceramici
- 7) Nitruro di boro cubico (CBN)
- 8) Nitruro di silicio
- 9) Diamante policristallino (PCD)

Degrado ed usura degli utensili da taglio

Durante la lavorazione l'utensile, strisciando contro il truciolo e la superficie lavorata, si usura.



Principali cause di degrado delle caratteristiche di un utensile

- a) usura per abrasione
- b) usura per adesione
- c) usura per diffusione
- d) scheggiatura
- e) deformazione plastica

Usura: perdita o asportazione progressiva di materiale dalla superficie di un corpo. Originata da cause diverse che di rado agiscono singolarmente:

Usura per abrasione: prodotta dallo scorrimento di una superficie dura e rugosa su una superficie più tenera.

Usura per adesione: originata dalle elevate pressioni di contatto fra truciolo e utensile che provocano vere e proprie saldature fra le sporgenze delle superfici a contatto

Usura per diffusione: prodotta dalla migrazione di atomi attraverso l'interfaccia utensile-truciolo ed è originata da processi di mutua solubilità fra alcuni componenti dei due materiali a contatto

Scheggiatura: asportazione di particelle metalliche in prossimità del tagliente per effetto di urti o pressioni eccessive

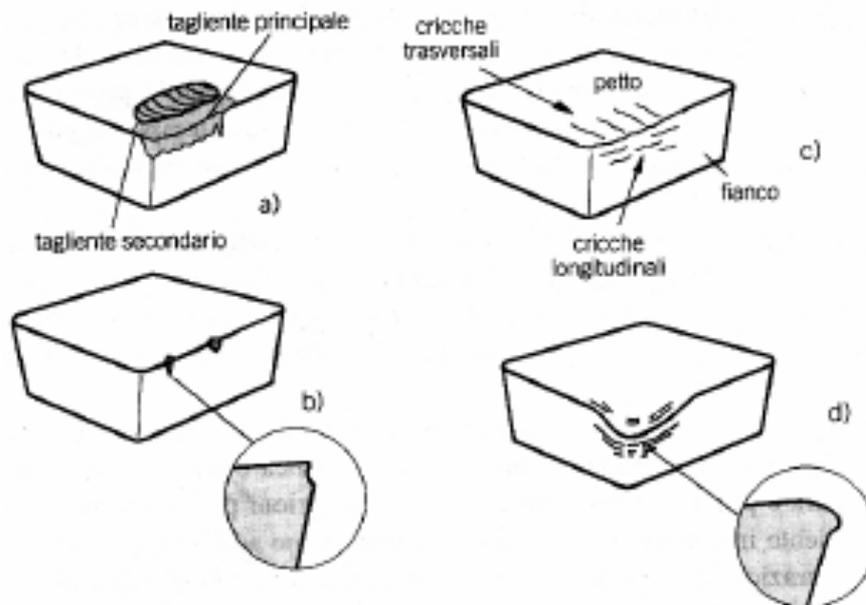
Deformazione plastica: si manifesta quando la temperatura della zona di taglio raggiunge valori tali da causare una riduzione della tensione di scorrimento plastico del materiale dell'utensile ed una deformazione dello stesso.

a) per usura dorsale e craterizzazione

b) per scheggiatura

c) per sollecitazione di fatica

d) per deformazione plastica

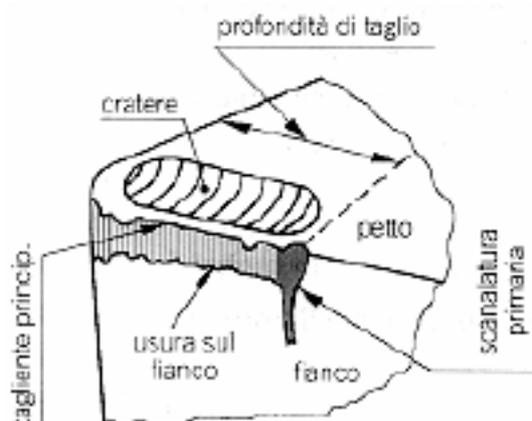


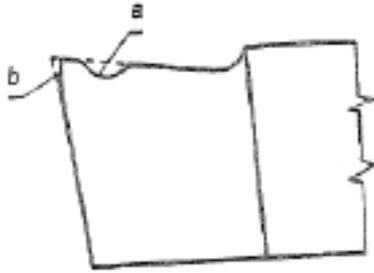
• **Usura sul petto:** si manifesta attraverso la formazione di una cavità o cratere originata prevalentemente per diffusione

• **Usura sul fianco:** si manifesta mediante il labbro d'usura, caratterizzato da una serie di striature // alla direzione di taglio originate da fenomeni di abrasione

In entrambi i casi l'utensile subisce una perdita di materiale e un'alterazione:

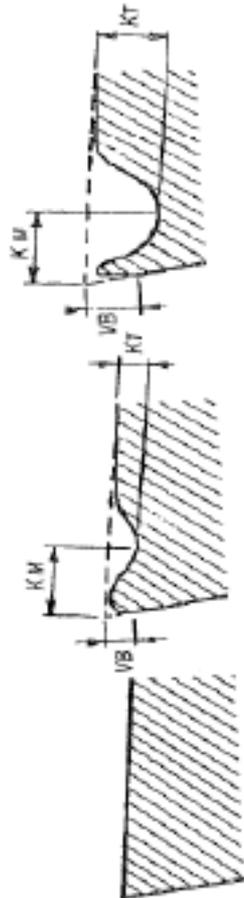
- della forma
- delle dimensioni





Labbro d'usura

- Provocato dallo strisciamento del dorso sulla superficie lavorata
- Sempre presente in maggiore o minore misura
- Influenza la finitura superficiale e la precisione dimensionale
- Principali dimensioni:
- larghezza misurata attraverso il valore medio (VB) o quello massimo (VB_{max})

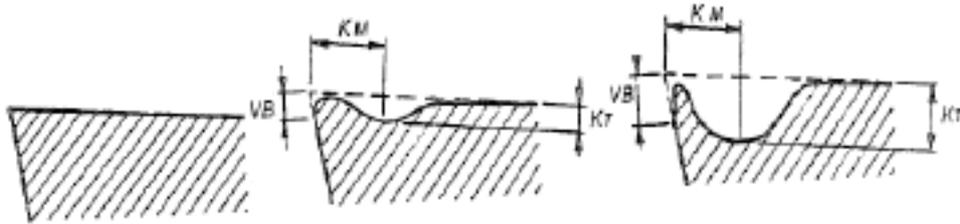


Cratere d'usura

- Causato dall'usura per diffusione che si manifesta a T elevate
- Presente solo negli inserti in materiali che consentono di raggiungere v_t elevate (ad es. i carburi metallici sinterizzati)
- Non è presente nella lavorazione dei materiali fragili che danno origine ad un

truciolo interrotto (ad es. ghisa)

- Determina l'indebolimento dell'inserto
- Principali dimensioni:
- profondità massima (KT)
- distanza del centro del cratere dal tagliente originario (KM)



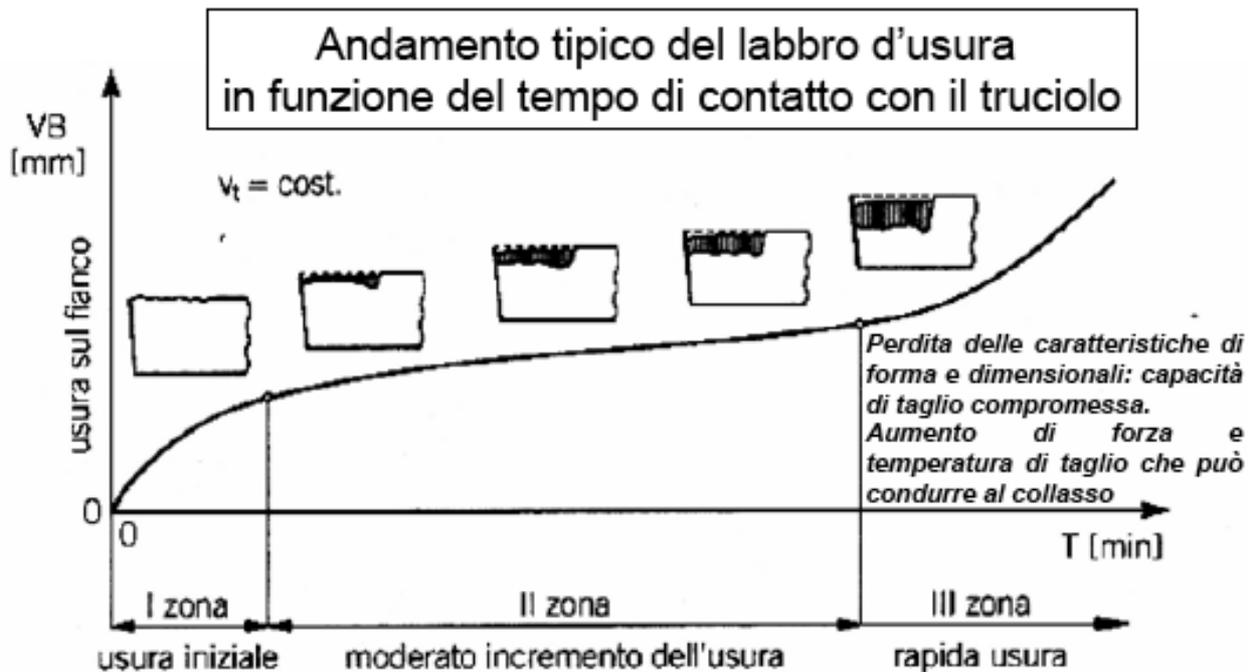
Durata dell'utensile

E' influenzata:

- dalla velocità di taglio
- dall'avanzamento
- dalla profondità di passata
- dal materiale dell'utensile
- dal materiale in lavorazione
- dalla geometria dell'utensile
- dall'azione del fluido da taglio se presente

Curve di usura del tagliente

- Durata (T) definita imponendo un limite al valore di VB.
- Quando tale limite viene superato, l'utensile ha esaurito la vita utile:
 - nel caso di utensili integrali, la geometria originale del tagliente può essere ripristinata mediante riaffilatura
 - nel caso di utensili con inserti, il tagliente viene sostituito mediante riposizionamento e ricambio della placchetta
- Valore massimo dell'usura sul dorso (VBmax) dipendente dal materiale dell'utensile e dal tipo di operazione. Orientativamente:
 - *per acciai rapidi*: 1.5 mm in tornitura e fresatura frontale, 0.5 mm in fresatura periferica, 0.4 mm in foratura e 0.15 mm in alesatura
 - *per carburi metallici sinterizzati*: 0.8 mm in operazioni di tornitura o fresatura di grossatura e 0.4 mm in finitura.



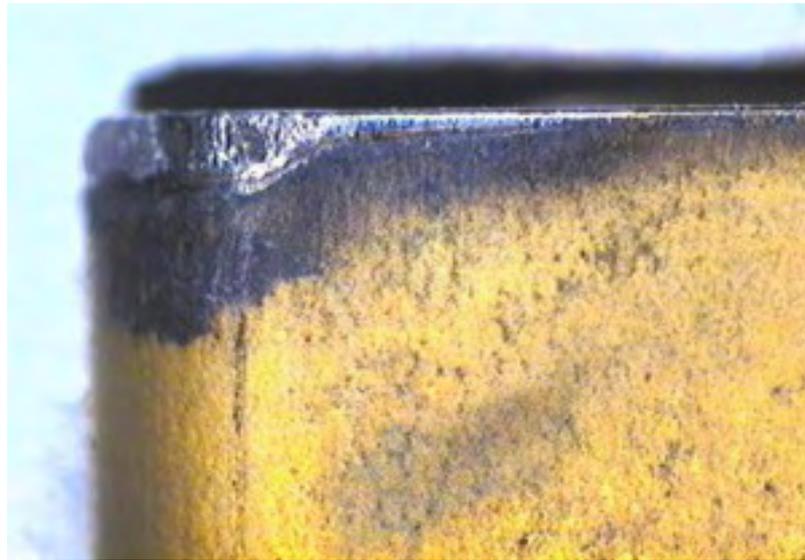
Deterioramenti degli inserti

I deterioramenti degli inserti e le relative conseguenze negative sulla produzione possono essere paragonati ad un atleta che consuma un paio di scarpe da corsa nuove. Come una scarpa resiste al peso esercitato dell'atleta che la indossa, così un inserto resiste alle enormi sollecitazioni a cui è costantemente sottoposto, che generano usura e deformazioni. Se non vengono prese contromisure per ridurre l'usura, un atleta avverte dolori e un produttore viene penalizzato a causa di processi poco accurati o scarsa produttività. I produttori possono tuttavia condurre analisi adeguate per ottenere la massima durata degli inserti in modo affidabile e prevedere le loro modalità d'uso, mantenendo costante la precisione di lavorazione dei componenti e riducendo il deterioramento delle attrezzature. Un esame preventivo dell'inserto è importante per determinare la causa all'origine del problema mediante ispezioni e rapporti accurati. Trascurando queste contromisure si genera confusione tra i vari possibili problemi. Per supportare il processo di analisi degli inserti, uno stereoscopio con ottiche e illuminazione di qualità e ingrandimento di almeno 20x può risultare estremamente utile per identificare questi otto tipi di possibili deterioramenti che possono contribuire ad un'usura prematura degli inserti.

1. Usura sul fianco

Un inserto si deteriora normalmente per usura con qualsiasi tipo di materiale. La normale usura sul fianco è il tipo di usura meno problematico, in quanto rappresenta

il problema più prevedibile dell'utensile: si verifica infatti in modo uniforme e nel tempo, in quanto il materiale in lavorazione usura il tagliente, similmente alla perdita dell'affilatura di una lama di coltello.



1. Usura sul fianco

La normale usura sul fianco ha inizio quando l'inserto viene inciso da inclusioni microscopiche o dal materiale trattato del pezzo in lavorazione. Questo tipo di usura è causato tra l'altro da abrasione a velocità di taglio ridotte e da reazioni chimiche a velocità di taglio elevate.

L'usura sul fianco si riconosce dalla presenza di un segno relativamente uniforme lungo il tagliente dell'inserto. A volte il metallo proveniente dal pezzo in lavorazione striscia sul tagliente, ingrandendo il segno sull'inserto.

Per rallentare la normale usura sul fianco è importante impiegare inserti di qualità dura ma allo stesso tempo esenti da scheggiature ed utilizzare il tagliente più adatto per ridurre le forze di taglio e l'attrito.

La rapida usura sul fianco, d'altro canto, non è auspicabile, in quanto riduce la durata e non consente il raggiungimento del tempo di taglio desiderato di 15 minuti. L'usura rapida spesso si verifica durante la lavorazione di materiali abrasivi quali ghise duttili, leghe di silicio-alluminio, leghe per temperature elevate, acciaio inossidabile indurito per precipitazione trattato termicamente, lega berillio-rame e leghe in carburo di tungsteno, come anche materiali non metallici quali fibre di vetro, resine epossidiche, plastiche rinforzate e ceramica.

La rapida usura sul fianco si manifesta esattamente come normale usura. Per correggere questo problema è fondamentale scegliere una qualità dell'inserto più

resistente all'usura, più dura o rivestita ed assicurarsi che il refrigerante venga applicato correttamente. La riduzione del tempo di taglio non rappresenterebbe una soluzione efficace e risulterebbe oltretutto controproducente.

2. Usura a cratere

L'usura a cratere si verifica spesso durante la lavorazione ad alta velocità di leghe ferrose o a base di titanio ed è un problema termico/chimico, in cui l'inserto fondamentale si dissolve nei trucioli del pezzo in lavorazione.

L'usura a cratere è causata dalla combinazione di diffusione e usura abrasiva. In presenza di ferro o titanio, il calore nel truciolo del pezzo in lavorazione consente ai componenti del metallo duro di dissolversi e diffondersi nel truciolo, creando un "cratere" in cima all'inserto. Tale cratere potrebbe diventare grande abbastanza da causare la scheggiatura o la deformazione del fianco dell'inserto o anche la rapida usura sul fianco.



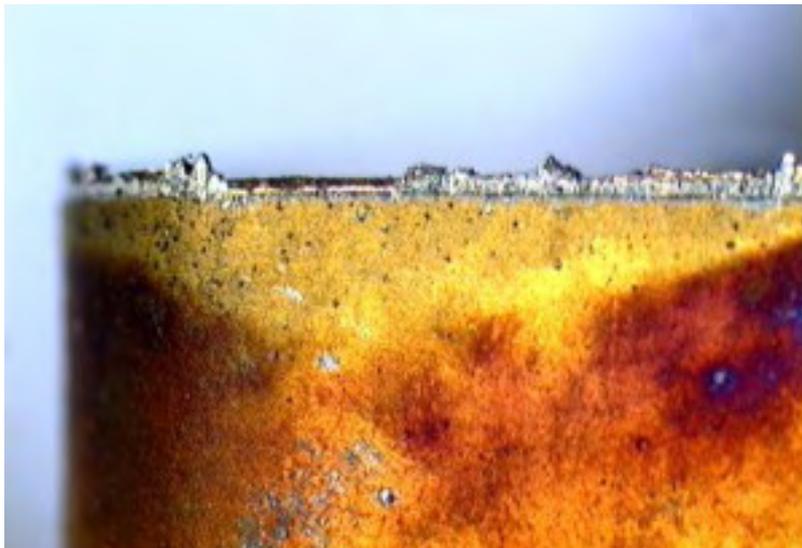
2. Usura a cratere

3. Tagliente di riporto

Il tagliente di riporto si crea quando frammenti del pezzo in lavorazione si saldano per pressione al tagliente, per effetto dell'affinità chimica, dell'alta pressione e di una temperatura sufficientemente alta nella zona di taglio. Poi il tagliente di riporto si rompe, portando con sé anche pezzi dell'inserto e causando quindi scheggiature e rapida usura sul fianco.

Questo tipo di problema si verifica generalmente con materiali duttili, basse velocità, leghe per alte temperature, acciaio inossidabile e materiali non ferrosi, nonché durante operazioni di filettatura e foratura. Il tagliente di riporto si riconosce da alterazioni erronee nella dimensione o nella finitura del pezzo e da materiale lucido visibile in cima o sul fianco del tagliente dell'inserto.

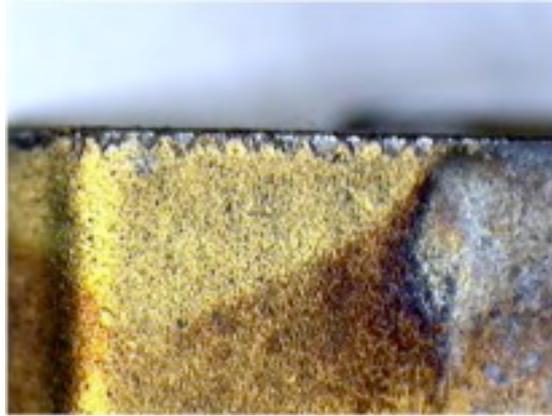
Il tagliente di riporto può essere controllato aumentando le velocità di taglio e gli avanzamenti, utilizzando inserti con rivestimento TiN (nitruro di titanio), applicando correttamente il refrigerante (ad esempio aumentandone la concentrazione) e scegliendo inserti con geometrie per sforzi di taglio ridotti e/o superfici più lisce.



3. Tagliente di riporto

4. Scheggiatura

La scheggiatura è causata dall'instabilità meccanica spesso creata da configurazioni non rigide, cuscinetti in cattive condizioni o mandrini usurati, zone indurite nei materiali in lavorazione o taglio interrotto. A volte si verifica in zone inaspettate, ad esempio durante la lavorazione di materiali da metallurgia delle polveri in cui la porosità dei componenti viene intenzionalmente mantenuta. Le inclusioni dure nella superficie del materiale ed i tagli interrotti causano sollecitazioni concentrate localmente e possono causare scheggiature. Quando si verifica questo tipo di problema, le scheggiature lungo il tagliente dell'inserto sono notevolmente visibili. Per impedire la scheggiatura occorre garantire la corretta impostazione in macchina, ridurre al minimo la flessione, utilizzare inserti arrotondati, controllare il tagliente di riporto e impiegare inserti di qualità più tenace e/o geometrie più robuste.



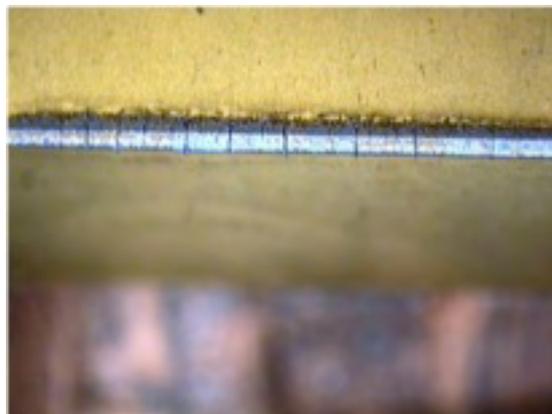
4. Scheggiatura

5. Rottura da shock termico

Fluttuazioni rapide della temperatura combinate a shock meccanici possono causare problemi termo-meccanici. Lungo il tagliente dell'inserto si creano cricche da sollecitazione, che possono causare l'eventuale esposizione delle sezioni di metallo duro e causarne la scheggiatura.

I problemi termo-meccanici sono i più diffusi nella fresatura e, a volte, anche nelle operazioni di tornitura con taglio interrotto, di sfacciatura su lotti grandi e in operazioni con flusso di refrigerante intermittente. I danni causati da problemi termo-meccanici si riconoscono da cricche multiple perpendicolari al tagliente. È importante identificare questo tipo di problema prima che degeneri in scheggiatura.

È possibile prevenire i problemi termo-meccanici applicando correttamente il refrigerante, o meglio ancora eliminandolo completamente, impiegando una qualità maggiormente resistente alle sollecitazioni, utilizzando una geometria che genera meno calore oppure riducendo l'avanzamento.



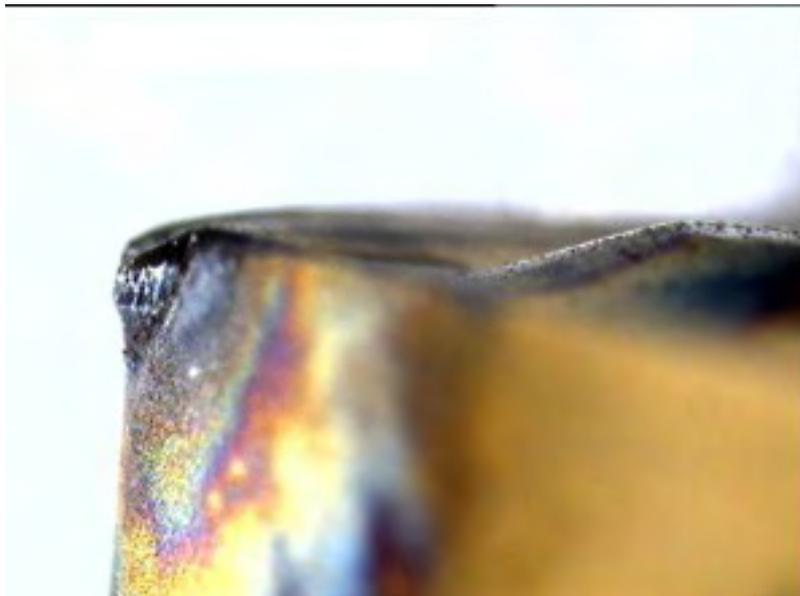
5. Rottura da shock termico

6. Deformazione del tagliente

Il calore eccessivo combinato con il carico meccanico sono le cause principali della deformazione del tagliente; spesso si riscontra a velocità ed avanzamenti elevati oppure durante la lavorazione di acciaio temprato, superfici trattate e leghe per alte temperature.

Il calore eccessivo causa l'ammorbidimento del legante (cobalto) del metallo duro presente nell'inserto. Il carico meccanico si causa quando la pressione dell'inserto contro il pezzo in lavorazione deforma l'inserto o lo curva sulla punta, eventualmente rompendola o causando la rapida usura sul fianco.

Questo problema si riconosce dalla deformazione sul tagliente e dalle dimensioni finali del pezzo in lavorazione non corrispondenti alle specifiche richieste. È possibile controllare la deformazione del tagliente applicando correttamente il refrigerante, utilizzando una qualità maggiormente resistente all'usura con un minor contenuto di legante, riducendo velocità ed avanzamenti ed impiegando una geometria per sforzi di taglio ridotti.

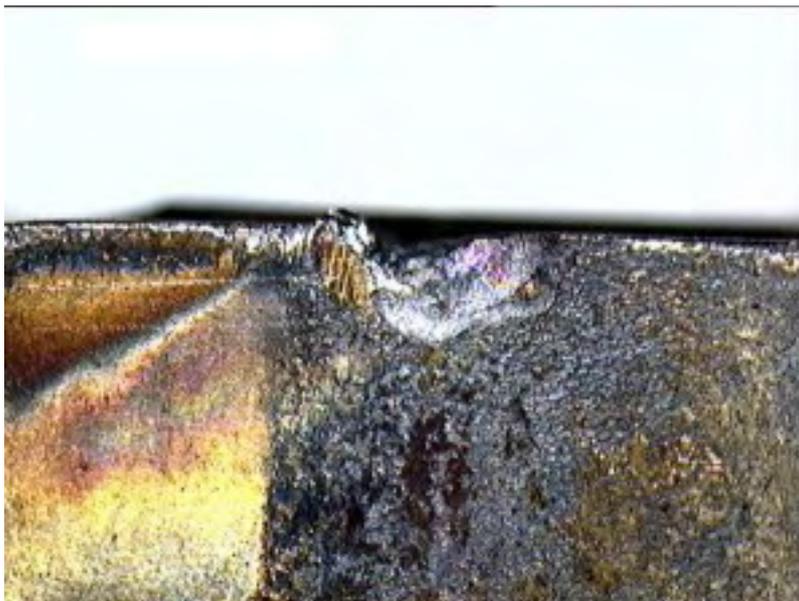


6. Deformazione del tagliente

7. Usura ad intaglio

L'usura ad intaglio si verifica quando la superficie abrasiva di un pezzo in lavorazione raschia o scheggia l'utensile lungo la profondità di taglio. Superfici colate, ossidate, autotemperate o irregolari possono causare intagli. Oltre all'abrasione, che rappresenta la causa principale, in quest'area possono verificarsi anche scheggiature. In un inserto, lungo la profondità della linea di taglio sono spesso presenti sollecitazioni di trazione che lo rendono quindi sensibile agli impatti.

Questo problema si riconosce quando lungo la profondità di taglio dell'inserto iniziano a evidenziarsi usura ad intaglio e scheggiature. Per prevenire l'usura ad intaglio è importante variare la profondità di taglio in caso di passate multiple, utilizzare un utensile con un angolo di imbocco maggiore, aumentare le velocità di taglio durante la lavorazione di leghe per alte temperature, ridurre gli avanzamenti, aumentare con cautela l'arrotondamento nell'area della profondità di taglio e prevenire la formazione del tagliente di riporto, specialmente su acciaio inossidabile e leghe per alte temperature.



7. Usura ad intaglio

8. Frattura meccanica

La frattura meccanica di un inserto si verifica quando la forza imposta supera la resistenza intrinseca del tagliente. Tutti i possibili problemi descritti in questo articolo possono contribuire alla frattura. È possibile evitare la frattura meccanica correggendo tutti i problemi diversi dalla normale usura sul fianco. Le azioni correttive efficaci sono: utilizzare una qualità maggiormente resistente alle sollecitazioni, scegliere inserti con geometria più robusta, utilizzare inserti di

spessore maggiore, diminuire gli avanzamenti e/o ridurre la profondità di taglio, verificare la rigidità della configurazione e controllare il pezzo in lavorazione per rilevare eventuali inclusioni di parti dure o difficoltà all'ingresso.



8. Frattura meccanica

Grazie alla conoscenza di questi otto possibili problemi comuni e allo sviluppo di competenze orientate all'analisi dei problemi, i produttori potranno ricavare enormi vantaggi: maggiore produttività, maggiore durata, migliore tolleranza e aspetto dei componenti prodotti, minore usura e deformazioni degli utensili, nonché minore possibilità di danni irreparabili all'inserto che potrebbero interrompere la produzione e compromettere una commessa importante.

Le Tecnologie di Lavorazione Meccanica per Asportazione di Truciolo

Il processo di lavorazione per asportazione di truciolo consiste nella separazione di materiale da un corpo di volume superiore rispetto all'oggetto che si vuole ottenere fino all'ottenimento della forma desiderata. Un utensile tagliente (che effettua l'asportazione) è posto, in moto relativo rispetto al pezzo da lavorare, a contatto con questo per effettuare l'asportazione. Esistono diversi utensili (pluritaglianti, monotaglianti, delle più diverse forme geometriche, di materiali vari) così come diversi sono i tipi di contatto tra essi ed il pezzo (continuo, intermittente, rettilineo, rotatorio, ...); di conseguenza diverse sono le macchine utensili (e le relative lavorazioni) che si hanno nel settore meccanico.

Quello delle macchine utensili per asportazione di truciolo rappresenta un settore che trova le sue origini in tempi remoti; si pensi, ad esempio, che la prima testimonianza di un tornio risale al 1400 e che già alla fine del secolo scorso esso era sostanzialmente strutturato (dal punto di vista meccanico) come le macchine tradizionali attuali (se le si svestono delle parti di carrozzeria con cui sono state completate per motivi di sicurezza). Analogo discorso vale anche per le altre macchine, dalle fresatrici alle dentatrici, alle rettificatrici, ecc. L'evoluzione sostanziale più recente delle macchine (a partire dal 1960) è dovuta al prepotente ingresso dell'elettronica e dell'informatica nel mondo delle macchine utensili; ingresso che si è via via sviluppato fino a diventare un elemento insostituibile in risposta alla sempre crescente esigenza di qualità del prodotto, flessibilità di lavorazione e rapidità richiesta dal mercato al processo produttivo. L'evoluzione delle macchine è tuttavia continua e di anno in anno vengono presentate significative novità anche per quanto riguarda la componentistica, gli accessori e gli utensili, tutti elementi che possono determinare cambiamenti notevoli.

ASPORTAZIONE AD ALTISSIMA VELOCITÀ DI TAGLIO (HSC - High Speed Cutting)

Si definisce **tempo macchina** il tempo in cui il pezzo, già posizionato sulla macchina, viene lavorato; si definisce **velocità di taglio** (m/min op. m/sec) la velocità con cui viene asportato il materiale dal pezzo in lavorazione; si definisce **capacità di truciolatura** la potenzialità di asportazione di volume di materiale nell'unità di tempo.

Il **tempo macchina** necessario per la lavorazione del pezzo rappresenta uno dei parametri principali e più importanti nella definizione sia del tempo di attraversamento (lead time) necessario per ottenere il pezzo finito, sia della potenzialità di una macchina utensile (e, di conseguenza, dell'intero sistema

produttivo). In questi ultimi anni ha avuto un notevole sviluppo il concetto di **alta velocità** che, grazie all'impiego di elettromandrini ad alta frequenza, ha permesso la sostanziale riduzione di tale tempo.

L'alta velocità di rotazione del mandrino non significa necessariamente incremento delle prestazioni dell'operazione di asportazione, se non è abbinata ad una **capacità di truciolatura** superiore a quella offerta dal metodo tradizionale conseguibile solo in determinate condizioni di lavorazione. Ad esempio nel caso di fresatura di cave con ridotta profondità assiale oppure di fresatura periferica in presenza di un esiguo sovrametallo radiale si hanno ridotte forze di lavorazione e ridotte deformazioni che permettono di ottenere elevate capacità di truciolatura rimanendo invariata la precisione della lavorazione con l'aumento della velocità di taglio.

La tecnologia HSC viene perciò utilizzata di preferenza per pezzi fusi in lega leggera, per pezzi a parete sottile con contorni cedevoli, per quelli in materiali speciali quali, ad esempio, componenti in materiali compositi per l'industria aeronautica.

Caratteristiche degli elettromandrini per HSC

Per arrivare all'elevato numero di giri dell'HSC si ricorre all'utilizzo di elettromandrini ad alta frequenza. Si tratta di mandrini nel quale è stato incorporato un motore asincrono trifase regolato (il rotore calettato sul mandrino e lo statore inglobato nel corpo testa). Tale tecnologia non è recentissima, recente è invece l'applicazione intensa nelle macchine utensili poiché sono stati risolti con l'ausilio dell'elettronica i problemi del suo controllo alle velocità tipiche delle macchine utensili.

La loro struttura di base presenta le seguenti caratteristiche:

- un motore asincrono alimentato da un convertitore statico di frequenza con tensione e frequenza variabili;
- cuscinetti di precisione precaricati a forza costante per garantire un'elevata rigidità del mandrino e provvedere a compensare le dilatazioni termiche lineari;
- un sistema ottimizzato di lubrificazione oleopneumatica (ad aria/olio), a iniezione o a grasso a vite, per consentire di raggiungere il massimo numero di giri ammesso dai cuscinetti;
- un sistema di raffreddamento a liquido a circuito chiuso per il motore e i cuscinetti;
- guarnizioni a labirinto per proteggere dall'imbrattamento l'interno del mandrino;
- sensori per il controllo del numero di giri, della temperatura del motore, del cambio automatico dell'utensile e della temperatura dei cuscinetti.

Altrettanto importante per la qualità di superficie ottenibile e per la trasmissione di elevate capacità di truciolatura è l'interfaccia tra mandrino e utensile per la quale occorre sempre cercare soluzioni ottimali.

In aggiunta al vantaggio della elevatissima velocità di taglio ottenibile, gli elettromandrini permettono miglioramenti dei risultati ottenibili attraverso:

- eliminazione degli elementi di trasmissione prima utilizzati tradizionalmente (cambio, cinghie, pulegge);
- aumento della rigidità della macchina grazie all'eliminazione di fattori vibrazionali e di giochi di inversione tipici dei sistemi tradizionali;
- eliminazione dei carichi radiali sui cuscinetti (grazie all'eliminazione delle pulegge di trasmissione);
- aumento della termostabilità della testa porta mandrino grazie al ricircolo del liquido di raffreddamento, indispensabile nell'elettromandrino immesso direttamente nell'intercapedine del motore;
- risparmio di 1/3 degli ingombri per la scomparsa totale degli spazi prima necessari per il motore, il cambio e gli organi di trasmissione;
- migliore precisione di lavoro dovuto ad un campo di regolazione del numero di giri del motore molto ampio.

GUIDE LINEARI (a cuscinetti su rotaia)

Uno degli elementi più critici e delicati delle macchine utensili con parti in scorrimento relativo tra loro, per via delle ristrettissime tolleranze richieste e delle forti sollecitazioni cui sono sottoposte, è rappresentato dalle guide di scorrimento (tra slitta e carro, tra carro e bancale, ecc.). In questi ultimi anni si sta assistendo all'ingresso nel mercato di centri di lavoro, fresatrici, alesatrici e torni dotati di **guide a cuscinetti su rotaia** (dette guide lineari).

Esse sono composte da rotaie su cui scorrono pattini dotati di cuscinetti a sfere o cilindrici e vanno montati le prime sull'elemento fisso e i secondi su quello in movimento.

I sistemi tradizionali di scorrimento prevedono, solitamente, il contatto superfici temprate ad induzione, rettificate ad un elevato grado di finitura superficiale e lubrificate mediante apposito impianto idraulico; tali superfici possono essere integrali, se realizzate direttamente sui grezzi di fonderia, o riportate se ricavate da lamiera e successivamente applicate al bancale o al carro. In alternativa è possibile che sulle guide vengano riportati materiali particolari (ad es la Turcite) in modo che lo scorrimento avvenga con bassissimo attrito radente.

I vantaggi che si ottengono, utilizzando le guide a cuscinetti, rispetto ai tradizionali metodi di scorrimento sono i seguenti:

- eliminazione della tempra ad induzione

- semplificazione delle operazioni di rettifica delle superfici di contatto;
- riduzione dei tempi di lavorazione e montaggio;
- riduzione drastica dei coefficienti di attrito (volvente e non più radente);
- maggiore velocità di rapido ottenibili (oltre i 20 m/min);
- riduzione dei costi di lavorazione.

Per contro esistono ancora problemi sulle conseguenze che derivano da possibili sollecitazioni dinamiche violente quali urti e interferenze dovute, ad esempio, ad errori di programmazione del ciclo di lavorazione sul controllo numerico o ad errori ancora dell'operatore; per tale motivo le guide a cuscinetti non trovano ampia diffusione dove tali incidenti sono statisticamente più frequenti per disparati motivi.

MOTORI LINEARI

Si tratta di una tecnologia altamente innovativa, quasi ancora a livello di ricerca, realizzata su alcuni centri di lavoro di dimensioni medio-grande. Essi consistono in uno statore ed in un rotore a sviluppo lineare grazie al quale la slitta, solidale con il *rotore*, trasla rispetto al bancale senza l'utilizzo di vite a ricircolazione di sfere. Lo statore deve essere montato in posizione parallela rispetto alle guide di scorrimento.

Il vantaggio principale derivante da questa innovazione consiste principalmente nella semplificazione radicale dei cinematismi di movimentazione, con l'eliminazione delle viti e dei relativi supporti, dei sensori e dei trasduttori per la misura del posizionamento relativo tra le slitte, delle pulegge per la trasmissione del moto da motore a vite e del motore tradizionale esterno.

Necessitano, però, dell'utilizzo di **guide lineari** per il loro basso coefficiente di attrito. Tra i vantaggi funzionali va sottolineata l'alta velocità di rapido ottenibile.

SISTEMI DI MANIPOLAZIONE PEZZI A BORDO MACCHINA

Quello del carico/scarico dei pezzi a bordo macchina è uno dei problemi più importanti che i costruttori di macchine utensili si sono trovati a dover affrontare in questi ultimi tempi. La sempre maggiore automazione, che da un lato permette una produzione "non presidiata" e dall'altro spinge sia verso alta flessibilità che verso alti ritmi produttivi, ha creato l'esigenza di costruire attrezzature specifiche per il carico/posizionamento/scarico automatico dei pezzi. Le soluzioni "classiche" (in realtà a volte estremamente innovative esse stesse) prevedono l'utilizzo, ad esempio, di nastri a rulli e robot **esterni** alla macchina che: convogliano i pallet contenenti i pezzi da lavorare nella zona di carico; prelevano il pezzo e lo posizionano sul mandrino o sulla piattaforma di lavoro; scaricano il pezzo nella zona di scarico una

volta lavorato; infine, convogliano un nuovo pallet pieno di pezzi lavorati verso il successivo stadio di lavorazione.

Essendo una delle tendenze attuali quella di rendere le macchine le più compatte possibili, una delle scelte progettuali attualmente in atto è quella di dotare le stesse di sistemi di manipolazione pezzi a bordo macchina.

L'applicazione che prenderemo in analisi ora a titolo di esempio è riferita ad un **portale integrato** in un tornio di dimensioni medio/piccole non si ha più a che fare con una macchina (tornio) + un'altra macchina (portale) ma con un solo sistema, con il vincolo che la presenza del caricatore automatico non deve costituire un ostacolo ad un eventuale uso manuale del tornio.

Gli obiettivi che si vogliono raggiungere con questo tipo di applicazione sono i seguenti:

- **UNIVERSALITÀ:** il carico/scarico deve essere possibile per una grande varietà di pezzi, in termini di misure/pesi e di tipologia (flange/alberi);
- **GESTIONE:** la maggiore automazione non deve richiedere una maggiore specializzazione dell'operatore (omogeneità di programmazione del CNC);
- **INTEGRAZIONE:** l'automazione non deve causare un aumento sensibile delle dimensioni della macchina o duplicazioni di strutture hardware o software;
- **MODULARITÀ:** la macchina completata dell'applicazione deve essere integrabile in impianti più complessi;
- **DIAGNOSTICA E SORVEGLIANZA:** alcune operazioni che normalmente vengono svolte dall'operatore devono ora essere affidate al CNC della macchina.

L'applicazione nella macchina presa in esame è così costituita (la descrizione avverrà seguendo semplici analogie antropomorfe ed in rif. alla fig. 2.1):

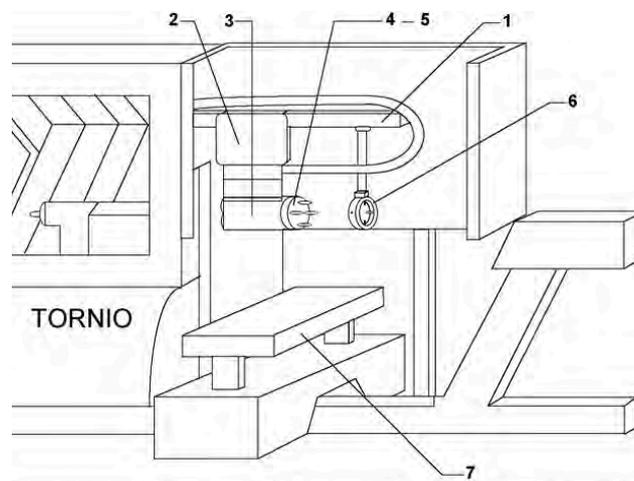


Fig 2.1 - Sistema di manipolazione pezzi a bordo macchina

1. Asse longitudinale di movimentazione; 2. Braccio verticale di movimentazione; 3. Polso per la rotazione della flangia;
4. Mani per la presa di una flangia grezza e di una flangia finita; 5. Polso per la rotazione di alberi; 6. Mani per la presa di un albero grezzo e di un albero finito; 7. Trasportatore di pallet e relativi pallet; Più un dispositivo per il ribaltamento di flange (opzionale);

Vediamo una breve descrizione dei vari elementi:

1. È costituito da un trave in estruso di alluminio al cui interno è fissata una guida a sfere sulla quale scorre un carrello mosso da una cinghia dentata tramite un servomotore AC brushless. La realizzazione idraulica di tutte le successive movimentazioni permette di non avere cablaggi o componentistica elettrica in movimento sul portale, con notevoli vantaggi di compattezza ed affidabilità.
2. Il braccio verticale movimentato idraulicamente il pezzo da lavorare in direzione verticale tra due posizioni fisse di salita e discesa. I fissaggi sono realizzati mediante molle che permettono oscillazioni dovute a piccoli urti o disallineamenti tra asse macchina e asse mano prendipezzo. Il braccio termina inferiormente con una serie di attacchi rapidi dove si innestano sia il polso per alberi che quello per flange.
3. Il polso per flange permette di posizionare la mano prendipezzo per flange su 4 posizioni disposte a 90°;
4. Il polso per alberi permette di posizionare la mano prendipezzo per alberi su 2 posizioni disposte a 180°;
5. La pinza è fissata al polso mediante viti. È costituita da due mani autocentranti, una adibita al trasporto dei pezzi grezzi, l'altra al trasporto dei finiti. I comandi sono idraulici con forze di serraggio regolabili. Le dita di presa pezzo sono personalizzabili. Nella zona centrale delle mani è posto un piattello precaricato a molla che agisce da espulsore in fase del grezzo sull'attrezzo di presa della macchina.
6. La pinza è fissata al polso mediante viti. È costituita da due mani autocentranti, una adibita al trasporto dei pezzi grezzi, l'altra al trasporto dei finiti. I comandi sono idraulici con forze di serraggio regolabili. Le dita di presa pezzo sono personalizzabili. Ogni mano può avere 1 o 2 dita.
7. L'alimentatore pallet è un gruppo meccanico adibito ad alimentare il sistema automatico di movimentazione pezzi con grezzi ed all'evacuazione dei finiti. I pallet scorrono su 2 rotaie per mezzo di 4 rotelle montate sul lato inferiore del pallet, il movimento è trasmesso da una cinghia dentata azionata da un motoriduttore. Esiste un dispositivo di segnalazione presenza pallet in zona di prelievo e "alimentatore troppo pieno". I pallet sono disposti entro una dima che deve essere personalizzata in funzione dei pezzi da produrre.

8. Il ribaltatore flange è un gruppo meccanico che permette la rotazione del pezzo fuori area di lavoro della macchina. Esso dà la possibilità di lavorare da entrambe le facce del pezzo, scaricandolo poi completamente finito: il caricatore preleva il pezzo lavorato nella prima fase, lo posiziona nel ribaltatore, il quale ne effettua la rotazione di 180°; e lo cede nuovamente al caricatore che lo riposiziona in macchina per la successiva lavorazione.

L'operazione di ribaltamento avviene in "tempo mascherato" (mentre la macchina lavora un altro pezzo). I movimenti di presa delle dita avvengono idraulicamente con pressione regolabile e la chiusura è autocentrante. Anche la rotazione di ribaltamento è idraulica.

GLI UTENSILI

Lo sviluppo che si è avuto ultimamente e che si prevede si avrà negli anni prossimi si stima che sarà determinato innanzitutto dallo sviluppo di nuovi materiali per utensili che permetteranno di rimanere al passo con gli incrementi di prestazioni conseguibili con le nuove macchine utensili (si veda l'**alta velocità di taglio HSC**) e di stimolare ulteriori miglioramenti nelle macchine utensili.

In Fig. 2.2 è possibile vedere come sia ripartita, nei vari materiali, la produzione attuale degli utensili per la tornitura.

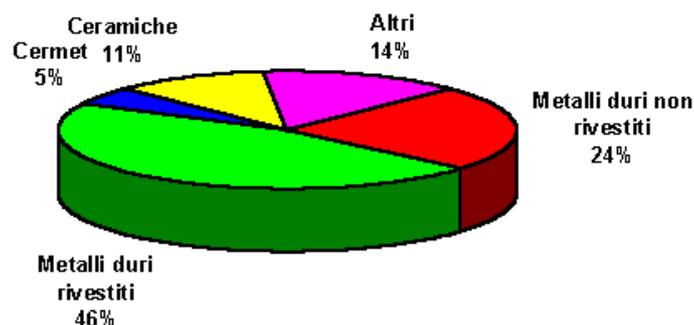


Fig. 2.2 - Classificazione in percentuale dei materiali per utensili

Per quanto riguarda le previsioni future vi sarà un aumento percentuale degli utensili in cermet a scapito di quelli a metalli duri (non rivestiti) e una percentuale costante di quelli in ceramica. Il mercato si sta orientando verso lo sviluppo di nuove ceramiche utilizzabili anche per rivestimenti, utensili integrali sinterizzati, nuove composizioni cermet e l'impiego di polveri di carburi ultrafini. Gli utensili in ceramica forniscono elevate prestazioni sia dal punto di vista delle prestazioni di taglio che della resistenza. Il problema principale, tuttora oggetto di ricerca da parte delle aziende produttrici, è la fragilità dovuta ai legami ionici o covalenti delle particelle: l'energia di deformazione immagazzinata sul tagliente non può essere compensata da una deformazione plastica, ma viene rilasciata di colpo, causando la rottura dell'inserito.

Per ciò che riguarda i sinterizzati di metallo duro fabbricati con particelle ultrafini, il loro sviluppo è incentrato sull'aumento della resistenza all'usura (e cioè della durata) più che sulle prestazioni di taglio.

Le Tecnologie di Lavorazione Meccanica per Deformazione Plastica

Il processo di lavorazione meccanica per deformazione plastica consiste nel dare la forma e le dimensioni determinate ai materiali grezzi sfruttando, a caldo o a freddo, le loro proprietà plastiche. Anche in questo settore, negli ultimi anni, il modo di produrre si è dovuto adattare a dimensioni dei lotti sempre minori, crescente grado di complessità dei pezzi, velocità di produzione in continuo aumento ecc.; anche in questo settore l'applicazione estesa dell'elettronica industriale con l'impiego di macchine e sistemi accessori a controllo numerico ha consentito notevoli incrementi di produttività. Date le notevoli differenze tra le tecnologie di deformazione plastica, è opportuno individuare dei sottosectori che in linea di massima presentino problematiche ed aspetti tecnici omogenei e considerarli quindi separatamente per una loro analisi. La ripartizione che si propone distingue le tecnologie per:

- **la punzonatura, il taglio, la piegatura della lamiera;**
- **la lavorazione di tubi, barre e profilati;**
- **lo stampaggio a caldo;**
- **lo stampaggio (imbutitura) a freddo.**

Vediamo brevemente alcune tra le innovazioni degli ultimi per ciascun sottosectore.

Punzonatura, taglio e piegatura della lamiera

Le operazioni indicate sono quelle che, nella lavorazione della lamiera, condizionano maggiormente la competitività della produzione anche se non si può trascurare l'importanza delle fasi preliminari del ciclo di preparazione del foglio o del rotolo di lamiera o finali dei trattamenti superficiali.

Sia per la preparazione della lamiera che per il suo trattamento superficiale finale le scelte prevalenti sono quelle di eseguire le lavorazioni presso terzisti specializzati in grado di conseguire consistenti economie di scala attraverso l'automazione dei processi.

Per quanto riguarda invece la punzonatura/roditura la soluzione tecnologica più aggiornata consiste nell'impiego di presse a torretta dotate di un sistema per il cambio automatico di matrice/punzone e di un magazzino degli insiemi matrice/punzone che può arrivare anche a 100 postazioni. L'alternativa è un centro di lavoro multipresse, costituito cioè da una serie di piccole unità indipendenti (fino ad oltre 50), che viene allestito in funzione del prodotto da realizzare; è molto più rapido a fronte di un costo decisamente superiore e con il limite di volumi di produzione richiesti piuttosto elevati per il recupero dei tempi di allestimento.

Per il taglio della lamiera si fa ormai largo impiego del laser utilizzato anche in combinazione su centri di punzonatura.

Infine, riguardo la piegatura, merita un breve cenno la pressopiegatura flessibile con macchine a CNC.

Fino a non molto tempo fa la fabbricazione di una serie di pezzi esige la realizzazione di una piega per volta. Questa procedura risultava più rapida di quanto fosse la registrazione manuale del traguardo posteriore o del posizionamento del pezzo dopo ciascuna piegatura. Nel caso si disponesse di varie piegatrici, si potrebbe preparare ciascuna di queste per l'esecuzione di una piega, in maniera tale che il pezzo passi successivamente da una macchina all'altra, con l'inconveniente di impegnare più piegatrici contemporaneamente. Ad ogni modo nessun pezzo è mai completato finché il primo non ha subito l'ultima operazione; pertanto tutta la serie è soggetta contemporaneamente alla lavorazione. Le piegatrici a CNC hanno consentito di modificare questo processo, infatti con una sequenza programmabile effettuata dal controllo della macchina, il percorso della matrice e la posizione del traguardo posteriore diventano funzioni automatiche. Una volta stabilito il programma, il principale compito dell'operatore è introdurre il pezzo posizionando il bordo grezzo contro l'estremità del traguardo posteriore, mentre la sua estremità anteriore viene posizionata sulla matrice posta sul longherone inferiore della piegatrice. Non appena realizzata una piega, la scanalatura sale e le estremità dei traguardi posteriori si posizionano in maniera idonea per la piegatura successiva. Durante la sequenza di piegatura, queste operazioni automatiche vengono regolate in maniera tale che si possa disporre del tempo necessario per il posizionamento del nuovo pezzo. Con questo procedimento ciascun pezzo si completa prima che inizi la lavorazione del successivo; in tal modo, qualunque sia il volume della serie, si dispone di pezzi finiti in pochi minuti o addirittura in pochi secondi. La maggior parte delle presse piegatrici a CNC sono idrauliche, con piegatura libera, diversamente dalla piegatura comune effettuata con matrice.

I controlli numerici delle pressopiegatrici sono in grado di effettuare i calcoli per le tolleranze delle piegature, indicando la posizione più conveniente della grinza. Sono inoltre dotati di sistemi d'allarme per segnalare eventuali interferenze tra gli utensili e il pezzo e di schermo video grafico per segnalare la successione delle pieghe, il posizionamento del traguardo posteriore e lo stato degli utensili.

Lavorazione di tubi, barre e profilati

Uno dei problemi principali, se non il principale, delle macchine curvatubi e curvaprofilati tradizionali è quello di dover sostituire, o regolare, l'utensile curvatore ogniqualevolta si debba cambiare diametro o forma del profilato o raggio di curvatura. Per superare l'inconveniente di avere un solo attrezzo a bordo macchina, nell'impossibilità sostanziale di introdurre un sistema di cambio automatico, i principi tecnologici seguiti dalle aziende per conferire alle macchine una maggiore flessibilità sono essenzialmente due:

- l'aumento degli assi di curvatura della macchina;

- l'aumento del numero delle attrezzature disponibili su di uno stesso asse di curvatura contemporaneamente.

L'applicazione dell'una o dell'altra soluzione ha imposto l'adozione del controllo numerico anche per queste macchine utensili che, date le possibilità offerte da CN, si sono ulteriormente evolute con l'integrazione di asservimenti, accessori e unità per lavorazioni complementari alla semplice piegatura. A titolo di esempio, uno di tali accessori è il rilevatore ottico o a correnti parassite che permette di orientare le saldature dei profili in lavorazione in modo da porli nella posizione che risulta meno sollecitata durante la piegatura.

Stampaggio a caldo

Anche nello stampaggio a caldo ci si è dovuti preoccupare delle esigenze del mercato che richiedono prodotti differenziati e quindi lotti di dimensioni contenute e frequenti cambi di produzione. Pur nei limiti legati alla peculiarità del settore che non consente di scendere al di sotto di certi volumi di produzione soprattutto a causa del costo degli stampi e dei tempi necessari per raggiungere le condizioni ideali di lavoro a caldo, si sono pertanto introdotte interessanti innovazioni in ottiche di produzioni JIT.

L'evoluzione delle macchine e dei sistemi per lo stampaggio a caldo ha riguardato soprattutto le apparecchiature per l'alimentazione del materiale grezzo, la regolazione dei parametri di stampaggio, la manipolazione del pezzo stampato e il cambio del mezzo operatore. In linea con la pressa vengono quindi posti a monte: un forno a induzione per il riscaldamento della billetta, una cesoia a ghigliottina per il taglio dello spezzone, un robot manipolatore per il suo posizionamento sotto la pressa.

La regolazione dei parametri di stampaggio avviene sfruttando le capacità dei controlli numerici delle presse in grado sempre di riferirsi ai parametri delle messe a punto e di procedere con aggiustamenti automatici.

Per la manipolazione del pezzo stampato, nelle soluzioni più avanzate, si utilizza o lo stesso robot che carica la pressa dotato di una doppia pinza o manipolatori indipendenti quando sono richiesti ritmi di produzione molto elevati. In ogni caso tuttavia, per guadagnare produttività, l'elemento chiave è il cambio del mezzo operatore, lo stampo, che deve avvenire nel tempo più breve possibile garantendo comunque una precisione assoluta negli accoppiamenti per il buon risultato dello stampaggio. Si tratta dunque di posizionare nel portastampo lo stampo e successivamente tutto il complesso nella pressa. La prima operazione deve avvenire naturalmente fuori linea e lo stampo deve essere bloccato con sistemi a fissaggio rapido estremamente affidabili e tali da ridurre a un decimo i tempi normali di messa a punto; la seconda avviene attraverso meccanismi particolari a carrello e rotaia che

consentono il cambio di produzione in qualche decina di minuti.

Stampaggio (imbutitura) a freddo

Lo stampaggio a freddo, in particolare l'imbutitura della lamiera, presenta problematiche (la sostituzione del mezzo operatore, la regolazione dei parametri di stampaggio), risolte in modo simile a quello dello stampaggio a caldo. Sono state tuttavia sviluppate alcune soluzioni tecnologiche molto interessanti e tipiche del sottosectore cui si accenna brevemente.

Lo stampaggio con matrice flessibile

Il processo di stampaggio con stampi flessibili (detti Flexform) viene utilizzato per la fabbricazione di prototipi (ad esempio, particolari di carrozzeria di automobili) e per produzioni in serie limitate. Normalmente gli stampi per lamiera sono composti da due o, frequentemente, tre o più parti. Il loro costo è normalmente piuttosto elevato e così pure può essere il tempo totale di produzione, dato che sono spesso necessari ritocchi manuali al prototipo stampato quando si voglia contenere il costo dello stampo.

Lo stampo a matrice flessibile consiste in un solo semistampo rigido, che può essere indifferentemente il positivo o il negativo, mentre l'altra metà dello stampo è una membrana di gomma che, sotto la spinta di un fluido in pressione assume la forma negativa o positiva, una volta interposto il foglio di lamiera, e realizza il pezzo con una precisione elevata. Le condizioni limite di operatività oggi raggiunte con tale tecnica permettono la lavorazione di lamiere di notevole spessore.

Con tale tecnica si riducono:

- i costi degli stampi di oltre il 50;
- i tempi di esecuzione degli stampi di oltre il 35%;
- il tempo per il montaggio degli stampi di oltre il 70%;
- il tempo di messa a punto del processo di circa il 50%;
- le riprese degli stampati dell'80% circa;
- le attrezzature per le riprese dell'80% circa.

Inoltre lo stampato ha una qualità superiore e le modifiche degli stampi sono più rapide ed economiche.

Le macchine a recupero di energia

Il risparmio energetico assume un duplice significato in quanto si traduce, da una parte, in un risparmio dei costi variabili di produzione della singola azienda e, dall'altra, nel contributo che il settore industriale dà al sistema ecologico mondiale.

Anche per lo stampaggio di lamiera si stanno quindi realizzando presse con circuito a recupero di energia.

L'energia per l'operazione di imbutitura è somma di due elementi: l'energia per il lavoro di deformazione del pezzo e di contrasto agli attriti dello stampo; l'energia dissipata in calore per creare e mantenere la pressione di reazione del premilamiera corrispondente alla forza del premilamiera per la velocità dello stesso. Oltre allo spreco di energia, le macchine sono lente oppure richiedono maggiori potenze installate e si rende necessaria anche una consistente capacità di raffreddamento consistente. In pratica può divenire antieconomico costruire presse idrauliche molto veloci per l'imbutitura profonda.

Mediante le presse a recupero di energia il problema viene risolto realizzando un circuito energetico completamente chiuso in cui la pompa non lavora per creare una portata ed una pressione tali da vincere le resistenze, ma per fornire al fluido circolante la differenza di pressione e di energia necessarie fra la mandata e le alimentazioni della pompa stessa che provengono dal cuscinio del premilamiera e dal ritorno del principale. La potenza installata va di conseguenza per la gran parte nel lavoro di deformazione.

Il beneficio economico che si può conseguire per ciascuna pressa di media potenza è quantificabile attualmente in circa 15.000.000 di lire l'anno, supponendo un utilizzo su due turni, cui si può aggiungere anche il risparmio di acqua di raffreddamento. Le macchine utensili per lo stampaggio della lamiera si sono dovute anche adattare per consentire l'applicazione di originali tecniche operative che permettono di ottenere eccellenti risultati in termini di prestazioni richieste al prodotto. È il caso, ad esempio, dei cosiddetti "tailored blanks", vale a dire pannelli di lamiera saldati o incollati tra loro che possono essere di spessore ed in parte anche di materiali e di rivestimenti superficiali diversi mediante i quali è possibile ottenere un particolare finito:

- di peso ridotto per l'ottimizzazione dei rapporti peso/prestazioni degli strati sovrapposti;
- senza giunti di collegamento a sovrapposizione, sfruttando saldature e incollaggi, con conseguente miglioramento del comportamento alla corrosione;
- composto da un numero ridotto di parti con conseguente diminuzione delle fasi di lavorazione e riduzione dei mezzi di produzione.

Mentre per lo stampaggio dei pannelli si sono dovute progettare presse con prestazioni particolari, per il loro assiemaggio si è reso indispensabile l'uso di tecnologie "non tradizionali" quale la saldatura laser.

UTENSILI

Stampi rivestiti in PVD

Una delle principali voci di costo nelle lavorazioni per deformazione plastica è rappresentata dal mezzo operatore e dagli stampi. La riduzione di tale costo dipende anche dall'aumento della vita utile dello stampo preservandolo dall'usura e dalla corrosione. Per raggiungere tale scopo ha riscontrato negli ultimi anni un sempre maggior impiego la tecnica di rivestimento dello stampo attraverso la **Physical Vapor Deposition (PVD)**, deposizione allo stato fisico di vapore di carburi o nitruri di titanio o altre sostanze particolarmente resistenti all'usura e alla corrosione. Tale tecnica è anche usata per il rivestimento degli utensili taglienti. La tecnica attualmente utilizzata industrialmente è la **placcatura ionica** (ion plating). Il processo avviene in una camera sottovuoto. La prima fase consiste nella generazione del plasma della sostanza base (metallo) da depositare; successivamente il plasma di metallo (ad esempio, il titanio) viene fatto reagire con un gas (ad esempio, azoto, metano o loro miscele nel caso si voglia ottenere il deposito di TiN, TiC o TiCN). La crescita dello strato protettivo avverrà, applicato un potenziale negativo al pezzo, per nucleazione ed accrescimento cioè con l'apporto di atomi, ioni e molecole, con una struttura cristallina influenzata dal potenziale negativo applicato al pezzo .

I rivestimenti PVD non riducono solo l'usura degli stampi o degli utensili ma migliorano in modo sostanziale la qualità del prodotto. I pezzi stampati non hanno striature o bave e praticamente non presentano scostamenti qualitativi e dimensionali per tutta la durata dello stampo; è così possibile evitare, come invece accade con gli stampi non rivestiti, di smontare lo stampo e ricondizionarlo, nel mezzo di campagne di stampaggio, in quanto la qualità dello stampato non risponde più alle specifiche richieste.

A parità di qualità dello stampato, nell'imbutitura profonda di acciaio inossidabile austenitico, la durata di uno stampo rivestito di TiN è 10 volte quella di uno stampo normale, mentre la durata di uno stampo rivestito di CrN è addirittura 30 volte. Il rivestimento in CrN si adatta inoltre molto bene nello stampaggio a caldo degli acciai, grazie alla temperatura di ossidazione del CrN dell'ordine di 800 °C circa.

Le Tecnologie di Montaggio Meccanico

Il montaggio (o assemblaggio) è il processo attraverso il quale si ottiene un prodotto finale (assieme) dalle singole parti meccaniche e non che lo costituiscono (componenti).

L'incidenza dell'assemblaggio sul costo dei prodotti industriali dà un'idea dell'importanza che tale fase assume nel processo produttivo dell'azienda.

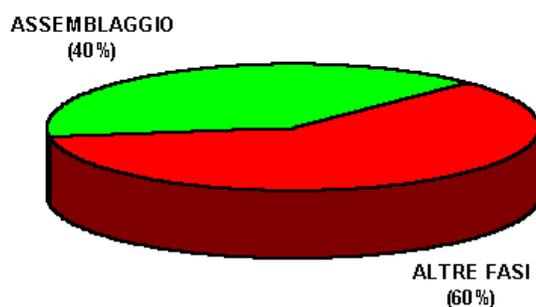


Fig. 5.1 - Incidenza dei costi di assemblaggio sul costo totale di produzione

Se si pensa poi che è tendenza attuale "specializzare" e "snellire" l'attività aziendale così che si hanno sempre più aziende di assemblaggio (le quali, in un'ottica di Lean Production, terziarizzano a partner le fasi di lavorazione meccanica), è evidente quale importanza assume tale fase per queste aziende.

A partire dagli anni '80 si è assistito, anche per il montaggio, al prepotente ingresso dell'automazione che si è spinta fino alla realizzazione di reparti di assemblaggio totalmente automatizzati e non presidiati. Tale situazione si è concretizzata attraverso la realizzazione di sistemi flessibili di assemblaggio FAS (Flexible Assembly System) con l'adozione massiccia di apparecchiature automatiche di pick-and-place e di robot di montaggio.

Per i montaggi, sempre in dipendenza di vari fattori (complessità e durata delle operazioni, esigenze di organizzazione del lavoro, volumi di produzione da realizzare, dimensione unitaria dei pezzi, ecc.), si possono presentare di massima le tipologie descritte di seguito.

- Montaggio a posto fisso. In questo caso il prodotto da realizzare non si trasferisce da una postazione di montaggio ad una successiva; è l'operatore che compie l'intero ciclo di assemblaggio (ed eventualmente di collaudo) del

prodotto avendo a disposizione tutte le parti e le attrezzature necessarie nella medesima postazione (es.: montaggio macchine utensili, navi, ecc.). Il montaggio a posto fisso è sempre da preferirsi nel caso di produzioni in piccola serie.

- Montaggio in linea (a trasferimento). Per descrivere questa tipologia di montaggio è opportuno chiarire il significato di alcuni termini ricorrenti. Per linea di montaggio si intende una successione di postazioni di lavoro in ognuna delle quali si compiono operazioni di montaggio diverse; per tempo di ritmo, o cadenza, si intende il tempo che intercorre tra l'uscita dalla linea di montaggio di due prodotti consecutivi; per trasferimento si intende la modalità con la quale l'oggetto in via di montaggio viene trasferito da una postazione alla seguente. Ad ogni postazione della linea viene assegnato un insieme di operazioni che richiede complessivamente un tempo per il montaggio simile, e comunque mai superiore, al tempo di ritmo. Le linee di montaggio, utilizzate per produzioni di grande serie (es.: automobili, lavatrici, ecc.), si possono classificare nei tipi:
 - ***A ritmo non imposto (a trasferimento non vincolato)***: sono costituite essenzialmente da una serie di stazioni di lavoro cui si alternano in successione ***polmoni*** (o depositi) interoperazionali. Le stazioni sono collegate da un sistema di trasporto eventualmente meccanizzato (es. convogliatore a nastro o a rulli). Questa soluzione può essere vista come un insieme di posti fissi per i quali la linea rappresenta il sistema meccanico di trasporto che agevola i trasferimenti dell'assieme in crescita da un posto di lavoro al successivo. I trasferimenti tuttavia avvengono solo quando le operazioni di montaggio sono state completate e solo se il polmone interoperazionale è libero.
 - ***A ritmo imposto (a trasferimento fisso)***: in esse non esistono polmoni interoperazionali. Il sistema di trasporto è costituito da una catena (aerea o a pavimento), recante i prodotti da assemblare intervallati fra loro a distanza costante, a movimento intermittente. Lo scatto in avanti di un passo della catena avviene allo scadere del tempo di ritmo; il tempo di lavoro risulta pertanto uguale per tutte le stazioni. I pezzi i cui montaggi non vengono terminati vengono tolti dalla linea per essere completati a parte. Spesso la linea, per dare maggiore elasticità operativa in caso di arresti o di rallentamenti, viene suddivisa in una serie di sezioni diverse tra le quali possono essere presenti polmoni di disaccoppiamento delle postazioni.
 - ***A trasferimento continuo***: sono essenzialmente costituite da una serie di stazioni disposte lungo un convogliatore a catena dei tipi visti in precedenza in moto continuo. Il tempo a disposizione per montare un assieme nelle varie stazione è quello di passaggio del prodotto per la stazione stessa che si estende per un certo tratto. L'addetto quindi compie le operazioni di montaggio in movimento. Come nel caso precedente, i pezzi che non vengono completati vengono tolti dalla linea.

Le due soluzioni (*posto fisso e linea*) presentano i seguenti punti di forza e di debolezza:

MONTAGGIO A POSTO FISSO

Punti di forza:

- Investimento ridotto
- Lavoro vario
- Controllo di qualità semplificato
- Rapido avvio di nuove produzioni

Punti di debolezza:

- Alti tempi di ciclo
- Elevato *WIP* (Work In Progress, cioè quantità di semilavorati in corso di lavorazione)
- Flusso dei componenti e delle parti intrecciato
- Alti costi di manodopera
- Notevole ingombro
- Difficile addestramento manodopera

MONTAGGIO IN LINEA

Punti di forza:

- Ridotti tempi di ciclo
- Ridotto *WIP*
- Ingombro limitato
- Ridotto costo di manodopera (anche per l'addestramento)
- Flusso di parti più razionale

Punti di debolezza:

- Notevole rigidità
- Investimenti elevati
- Difficile bilanciamento
- Lavoro ripetitivo
- Elevato tempo di avvio nuove produzioni

Una soluzione alternativa, in grado di migliorare la gestione del flusso dei componenti e impiegata normalmente nei casi di produzioni di media serie di prodotti abbastanza complessi e non necessariamente ripetitivi, è quella del montaggio a celle o a isole. Ogni isola di montaggio è composta da un certo numero di postazioni ed è in grado di svolgere e gestire autonomamente un complesso di operazioni. All'isola di montaggio sono avviati *set* completi, comprendenti tutte le parti necessarie per realizzare un dato assieme: l'organizzazione del lavoro al suo interno è compito dei responsabili della cella che devono unicamente rispettare vincoli di consegna e di qualità.

La scelta tra le alternative viste è spesso problematica. La soluzione da adottare deve mediare tra *flessibilità e capacità unitaria di produzione*, garantita sempre la qualità in senso lato della produzione. Il diagramma di fig. 5.2 delinea, in linea di massima, quando sono proponibili le differenti tipologie.

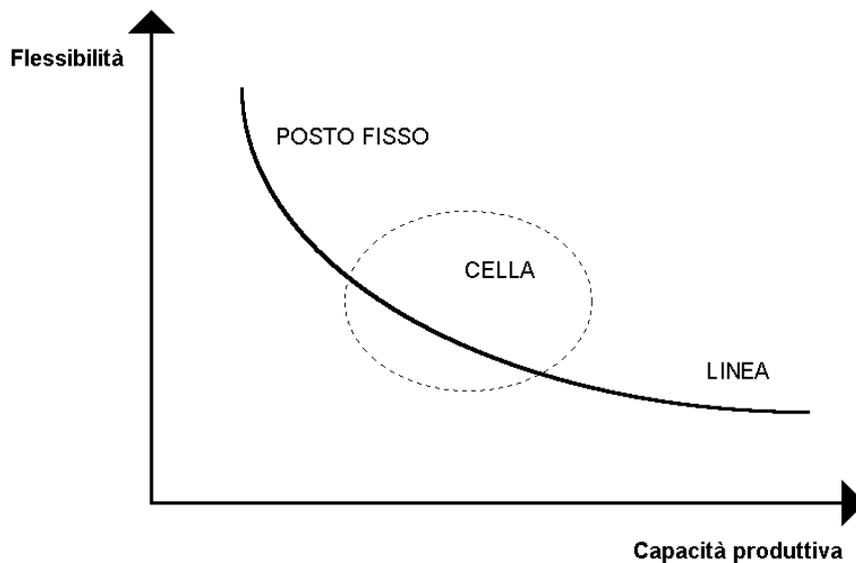


Fig. 5.2 - Trade-off tra flessibilità e capacità produttiva nei sistemi di montaggio

L'automazione del montaggio

Accanto al profilo di classificazione dei montaggi precedentemente illustrato, è essere interessante considerare il profilo del *grado di automazione* del sistema di montaggio; si possono così avere sistemi di montaggio:

- **manuali;**
- **semiautomatici;**
- **automatici.**

La tendenza attuale (di questi ultimissimi anni) è quella di utilizzare sistemi misti semiautomatici, dai quali si possono ottenere i vantaggi tipici delle due soluzioni estreme.

L'operazione di montaggio, infatti, pone ancora oggi, malgrado l'utilizzo di tecniche di progettazione particolari che tengono conto dei problemi successivi della produzione, notevoli difficoltà operative, il cui superamento mediante tecniche automatizzate può diventare antieconomico, se non per grossi volumi di produzione. Un tipico problema che si incontra è, ad esempio, quello dell'esatta **posizione** ed **orientamento** che il pezzo da montare deve avere: se l'operazione deve essere automatizzata si devono studiare dispositivi meccanici ad-hoc (costruiti apposta per il pezzo da assemblare) quali alimentatori vibranti, a serbatoio, centrifughi ecc. che riescono ad individuare la geometricità del pezzo e di conseguenza ad orientarlo nel modo giusto; un altro problema è quello dell'**afferraggio** automatico del pezzo che viene risolto realizzando manipolatori quali pinze ed utensili anch'essi realizzati ad-hoc per il pezzo che si sta montando e robot più o meno complessi che, per l'elevato costo di realizzazione, non sono dedicati ad un unico pezzo da montare, ma ad una famiglia.

La classificazione dei sistemi automatici di montaggio richiama in sostanza la classificazione generale dei sistemi di montaggio vista precedentemente. Avremo quindi sistemi:

1. **a stazione singola;**
2. **sincroni** (i gruppi vengono trasferiti contemporaneamente da una stazione alla successiva = a ritmo imposto);
3. **asincroni** (trasferimenti indipendenti per le varie stazioni con possibilità di accumulo = a ritmo non imposto);
4. **continui** (i gruppi fluiscono attraverso le stazioni senza fermarsi)

Il criterio di scelta tra uno dei precedenti sistemi dipende da una svariata serie di motivi:

- produzione richiesta;
- dimensioni e peso dei componenti da assemblare;
- eventuali operazioni manuali;
- numero delle operazioni;
- complessità delle operazioni;
- flusso dei materiali a monte ed a valle dei sistemi

Ad esempio, per elevatissime cadenze si propende per sistemi continui (linee transfert); per componenti piccolissimi con poche operazioni e scarsa variabilità si propende per isole a tavola rotante; per componenti di medie e grandi dimensioni con molte operazioni e stazioni manuali alternate a quelle automatiche si propende per sistemi asincroni a carosello.

Qualora si intenda inserire nei sistemi di montaggio macchine programmabili, i robot, occorre compiere analisi ancora più approfondite per arrivare non solo all'ottimizzazione del ciclo di montaggio ma anche del disegno del prodotto. Diventa pertanto indispensabile ricorrere ad una tecnica, cui già nella parte introduttiva del presente lavoro si era accennato e che si sta sempre più diffondendo per i vantaggi che porta: il **Design For Assembly**.

IL DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA)

Il DFA consiste nella progettazione di un prodotto meccanico secondo criteri tali da facilitarne il montaggio.

Lo studio di DFA su un prodotto analizza la possibilità di montaggio, in particolare automatico, e suggerisce soluzioni progettuali per il suo miglioramento; ad esso si ricorre quando:

- si vuole progettare un nuovo prodotto;
- si vuole modificare un prodotto esistente per adattarlo ad un processo produttivo automatizzato;
- si vuole migliorare un prodotto esistente semplificandolo e aumentandone la qualità intrinseca.

Utilizzando il DFA si riesce a:

1. eliminare il maggior numero di componenti che risultano superflui ricorrendo a soluzioni progettuali originali;
2. facilitare le operazioni di montaggio evitando situazioni nelle quali notoriamente il montaggio è difficoltoso;
3. facilitare l'alimentazione, l'orientamento e la manipolazione dei componenti (ad es.: eliminando incastri e asimmetrie non significative).

Lavorazione per Fusione

Il procedimento tecnologico più antico è quello per “Fusione” che, col perfezionamento dei mezzi di indagine, delle attrezzature e degli impianti, ha assunto via via carattere industriale.

Il grande sviluppo di questa industria è dovuto in gran parte ad un fattore economico, perché i pezzi ottenuti per via di fusione, specialmente se hanno forme complesse, sono in genere meno costosi degli oggetti ottenuti con altri procedimenti tecnologici anche se, in genere, possiedono caratteristiche meccaniche inferiori.

La fonderia interessa notevolmente il settore produttivo, per la quantità dei getti ricavabili per fusione, per il numero di fonderie esistenti ad alto grado di organizzazione, di meccanizzazione ed anche automatizzazione, per la manodopera assorbita.

MATERIALI ADATTI AL GETTO

Per essere adatti al getto, i materiali devono avere i seguenti requisiti:

- Fusibilità: fondere a temperatura non troppo elevata ($< 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Colabilità: fornire getti sani (omogenei, esenti da alterazioni e da soffiature).

Le leghe sono più fusibili di almeno uno dei componenti della lega stessa e sono meno soggette alle soffiature ed alla ossidazione. Hanno maggiore fusibilità quei metalli che passano rapidamente dallo stato solido allo stato liquido.

Le leghe più adatte al getto sono:

- Le Ghise
- Gli Acciai con $C > 1\%$
- I Bronzi per getti
- Gli Ottoni per getti
- Le Leghe leggere per getti (soprattutto al silicio)

La colata del materiale fuso può essere effettuata in forme di terra (dette transitorie) o in conchiglie metalliche (forme permanenti).

FONDERIA IN TERRA

Nel caso di colata in terra, il materiale utilizzato per realizzare la forma è una miscela di sabbia, leganti, additivi ed acqua.

La tecnica operativa consiste nella costipazione (pigiatura) del materiale intorno ad un modello posto entro una staffa.

Il modello, che riproduce la forma del pezzo da colare, può essere in legno, ma anche in ghisa, ottone, alluminio, plastica, cera. La forma di terra viene distrutta per estrarre

il getto e deve pertanto essere sostituita con una nuova per ogni getto. Per questo si dice che la forma è transitoria.

TERRE DA FONDERIA

Le terre da fonderia, che possono essere naturali o sintetiche, devono possedere i seguenti requisiti:

- Refrattarietà resistenza alle alte temperature
- Plasticità lasciarsi plasmare per assumere la forma del modello
- Permeabilità lasciarsi attraversare dai gas incorporati nel metallo liquido durante la colata o svilupparsi all'atto della solidificazione.
- Coesione: conservare la forma del modello, senza lasciarsi sgretolare sotto la spinta del metallo liquido.

Le terre da fonderia sono generalmente miscele di:

- Sabbia silicea (che conferisce refrattarietà)
- Leganti (che sono sostanze, come per esempio l'argilla, che si miscelano con la sabbia per rendere possibile la coesione fra i granelli di silice)
- Additivi (che sono sostanze carboniose che si aggiungono alla terra e che controllando l'espansione dei granelli e producendo uno strato di gas protettivo, evitano difetti nei getti). Non devono essere in eccesso, altrimenti sviluppano gas.

IL MODELLO

Il modello costituisce la riproduzione "corretta" del pezzo da colare. L'aggettivo "corretto" deriva dal fatto che la forma del modello deve essere maggiorata per compensare la contrazione (ritiro) dovuta al raffreddamento, deve possedere angoli di spoglia per facilitare l'estrazione dalla terra, bordi arrotondati e sovrametallo per successive lavorazioni.

Materiali

I materiali utilizzati per la fabbricazione del modello dipendono dal tipo di produzione: per produzione limitata sono adoperati materiali anche scadenti, per produzione in serie sono adoperati materiali più costosi.

Migliori sono le caratteristiche del modello, migliori saranno quelle del getto.

Un materiale molto utilizzato è il legno.

Il legno è poco costoso, facile da lavorare, leggero, però resiste meno del metallo all'usura. Il più economico è l'abete. Per i modelli che richiedono molto lavoro di intaglio si adopera il frassino, il melo, il pero. Per i modelli che debbano possedere molta resistenza all'uso ripetuto, si adopera la quercia. I legnami per la costruzione del modello devono essere ben stagionati (da 2 a 4 anni).

Altri materiali adoperati sono la ghisa, l'ottone, le leghe di alluminio, le resine sintetiche e la cera.

Ritiro

Poiché il metallo versato nella forma, solidificando, si contrae, le dimensioni della forma e, quindi, del modello devono essere maggiori di quelle previste per il getto.

La contrazione (o ritiro) dipende da:

- tipo di metallo costituente il getto
- spessore, lunghezza e geometria del getto

Per esempio, le ghise grigie hanno un ritiro di $0,7 \div 1,2 \%$, le leghe Al-Si hanno un ritiro di $1,3 \%$, i bronzi comuni di $1,2 \div 1,6 \%$

Se il getto non è a sezione uniforme, varia la velocità di raffreddamento, cioè gli spessori più grandi si raffreddano più lentamente e si contraggono meno velocemente.

Il modello, rispetto al pezzo finito, deve essere sovradimensionato anche per tenere conto di eventuali lavorazioni da eseguire sul getto per migliorarne la finitura superficiale. Per facilitare l'estrazione dalla terra, il modello deve essere costruito con pareti inclinate.

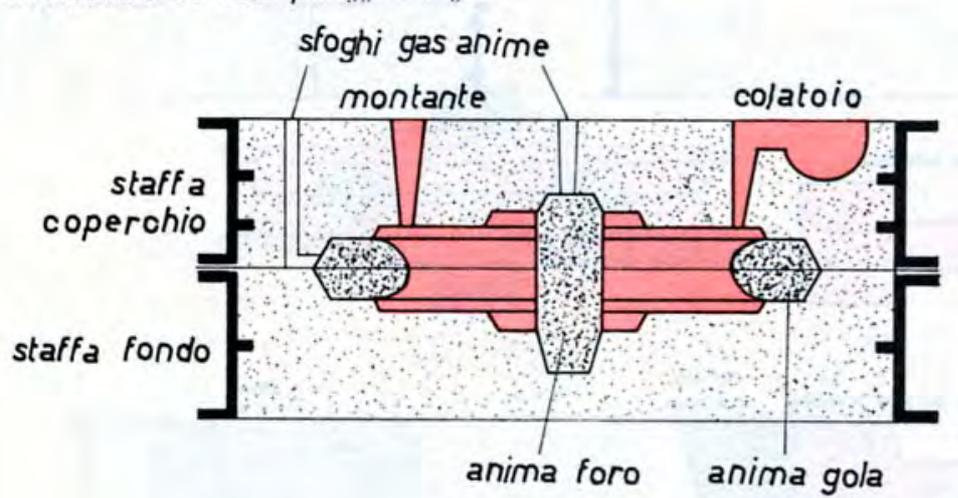
PREPARAZIONE DELLE FORME E DELLE ANIME

Si definisce "formatura" la preparazione, manuale o meccanizzata, delle forme transitorie destinate a ricevere nella loro impronta in negativo, lasciata dal modello, il metallo liquido che darà origine al getto.

Tali forme si chiamano "transitorie" in quanto vengono utilizzate per una sola volta dato che, per togliere i getti occorre ogni volta demolirle (distaffatura).

Per mantenere unita la terra della forma, si impiegano staffe, costituite da telai solitamente in acciaio ma anche in ghisa o lega leggera.

Formatura di una puleggia a gola.



Le operazioni principali nella preparazione di una forma sono:

1. posizionamento del modello su un piano
2. inserimento della staffa
3. immissione della sabbia
4. pigiatura
5. preparazione degli sfoghi per l'uscita dell'aria
6. chiusura della forma
7. capovolgimento della forma
8. estrazione del modello

Se la forma è in due parti, si ripetono le operazioni precedenti per la seconda metà; poi si inseriscono le anime (se ci sono), si richiude la forma e si eseguono i canali di colata. La forma è così pronta per la colata.

Dato che le "anime" devono riempire gli spazi delle forme che il metallo fuso non deve occupare, al fine di lasciare nel pezzo fori e cavità, esse evidentemente si trovano all'interno del getto sia appena il metallo è stato colato, sia durante la solidificazione e il raffreddamento.

Le anime devono essere sempre preparate con terra nuova da fonderia avente elevata resistenza, permeabilità, refrattarietà, cedevolezza e buona sgretolabilità.

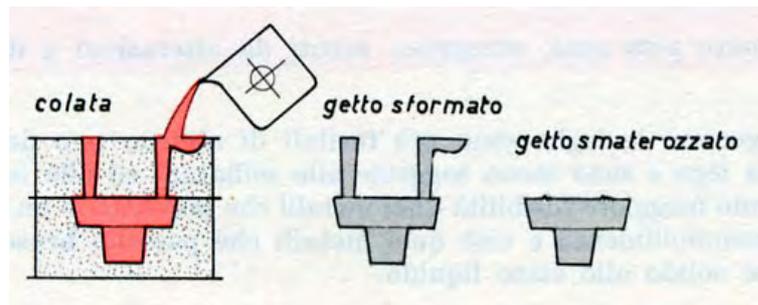
Le cavità nella terra dove viene collocata l'anima sono dette "portate d'anima".

FUSIONE

Il materiale che costituirà il getto, a forma di "pane" nel caso di ghisa o di lingotto nel caso di leghe di rame o di alluminio, insieme ad altre cariche (per esempio combustibile come coke o metano e/o fondente), viene introdotto allo stato solido nel forno (detto "*cubilotto*", nel caso della fonderia della ghisa), dove viene riscaldato fino a raggiungere la "temperatura di colata", che è maggiore della "temperatura di fusione" in modo da conservare lo stato liquido dal momento dello spillamento dal forno fino al momento della colata nella forma.

COLATA

A seconda delle posizioni di ingresso del metallo nella forma, la colata può essere dall'alto, dal basso o in sorgente, laterale.



1) Nella colata dall'alto il riempimento avviene dal basso verso l'alto e, quindi, la temperatura è crescente verso l'alto. Non ci sono vuoti nel getto perché vi è sempre del metallo liquido che li può riempire. L'eccessiva velocità del metallo liquido urta però la base della forma rischiando di distaccare frammenti di terra che rimangono inclusi nel getto.

2) Nella colata dal basso il riempimento avviene ancora dal basso verso l'alto, la temperatura, però, diminuisce verso l'alto in quanto in alto giunge il metallo più freddo. La colata è vantaggiosa perché il flusso di risalita del liquido è esente da turbolenze, ma nel contempo è svantaggiosa perché, diminuendo la temperatura verso l'alto, ivi il metallo forma delle cavità di ritiro nel getto. Si ovvia a ciò sormontando il getto con una materozza.

3) La colata laterale è un compromesso tra i due metodi precedenti: la temperatura è distribuita più uniformemente e la turbolenza è minore.

SOLIDIFICAZIONE

La solidificazione del getto comincia dalla superficie esterna e procede man mano verso l'interno via via che il getto si raffredda.

In uno stesso getto, le parti sottili si raffreddano prima di quelle di maggior spessore e ciò determina una diversa struttura con conseguente differenti proprietà meccaniche tra una parte e l'altra del getto. Da ciò la necessità di avere getti con spessori il più possibile uniformi.

OPERAZIONI FINALI DI FONDERIA

Si ha dapprima la distaffatura (con l'eliminazione della terra attorno al pezzo). Segue la sbavatura (con l'asportazione dei residui della forma e delle anime che ancora aderiscono al getto e di tutti quegli elementi che non ne sono parte integrante (materozze, canali di colata).

Sul pezzo ottenuto per fusione può essere fatto un trattamento termico. Esso ha un duplice scopo:

- il rilassamento delle tensioni generate dal raffreddamento e da tutte le operazioni successivamente compiute di riparazione o di altro tipo;
- lo sviluppo di certe proprietà di tipo strutturale.

Il ciclo di lavorazione si conclude col controllo ed il collaudo del pezzo.

FONDERIA IN CONCHIGLIA

Le forme “permanenti” o conchiglie sono costituite da materiali metallici, in genere ghise speciali o acciai speciali al cromo aventi media durezza superficiale e buona resistenza anche alle alte temperature.

Vengono costruite per lavorazione meccanica alle macchine utensili, per elettroerosione ecc.

La fonderia in conchiglia ha il vantaggio che:

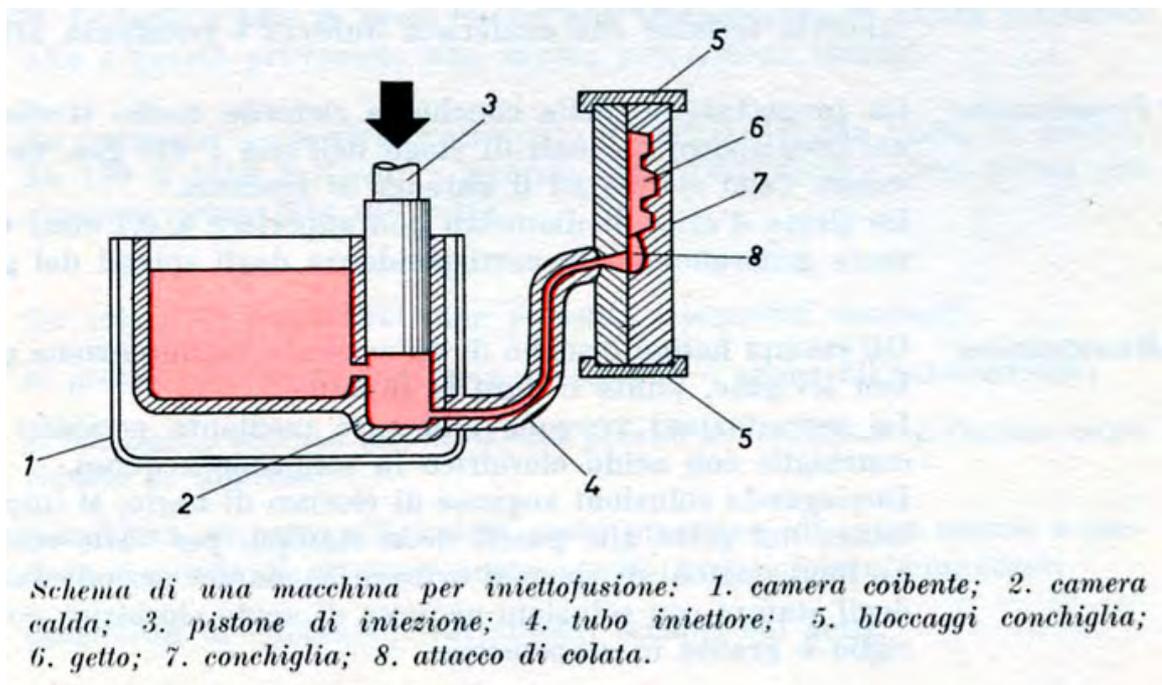
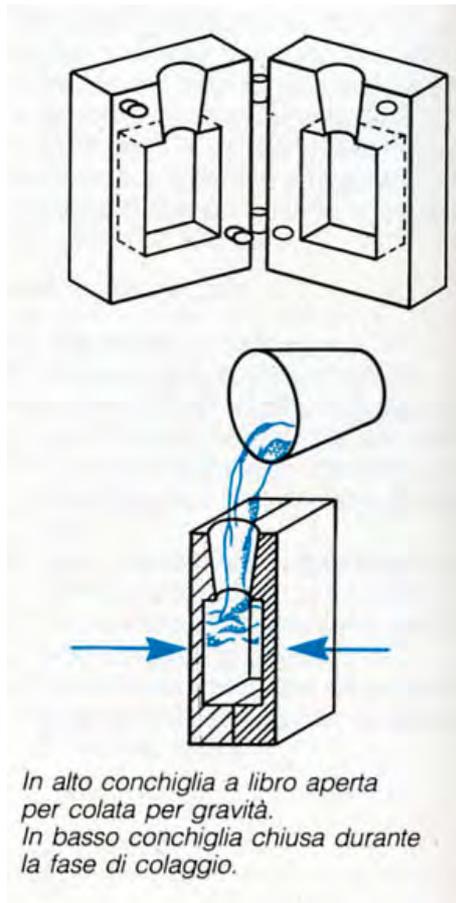
- il procedimento è più rapido di quello in terra
- con una forma si possono ottenere un gran numero di getti
- rispetto ai getti ottenuti con le forme di terra la finitura è migliore e la precisione maggiore.

L'elevato costo della forma costituisce invece uno svantaggio.

La colata in forme metalliche è adatta per produzioni in serie di getti piccoli semplici (0,5 ÷ 50 kg).

Nell'industria normalmente si producono con tale sistema getti in leghe di zinco, piombo e stagno, getti in leghe leggere da fonderia, in leghe di magnesio ed in alcune leghe di rame.

Uno dei più diffusi sistemi di colata in conchiglia è quello sotto pressione. Con tale procedimento il metallo liquido viene introdotto nella forma metallica e spinto a riempirla sotto l'azione di elevate pressioni (150 ÷ 1 500 kg/cm²).



Attuatori Pneumatici

Gli attuatori pneumatici sono organi che compiono un lavoro meccanico usando come vettore di energia **l'aria compressa** con indubbi vantaggi in termini di pulizia, antideflagranza, innocuità e insensibilità alle variazioni di temperatura.

Al contrario dei sistemi oleodinamici, non si possono raggiungere pressioni elevate (max 10 bar) né si possono sviluppare grandi forze. Il maggior limite è costituito dalla comprimibilità dell'aria che rende impossibile controlli in posizione.

L'aspetto di un attuatore pneumatico a moto lineare è quello di un cilindro con un pistone che scorre dentro di esso, esistono anche attuatori con moto rotativo limitato (cilindri rotativi) ed attuatori con moto rotativo continuo (avvitatori, trapani ecc.).

I cilindri pneumatici sono generalmente usati in applicazioni a due posizioni tra gli arresti di fine corsa e per evitare carichi d'urto di solito incorporano un dispositivo d'ammortizzamento interno.

I principali vantaggi degli attuatori pneumatici sono:

- economicità
- disponibilità (ampia gamma di configurazioni disponibili per il montaggio),
- semplicità
- sicurezza (sistema protetto da limitazione interna delle forze),
- resistenza
- rapidità

Gli svantaggi sono invece:

- lunghezza di corsa limitata (problemi di stabilità)
- la mancanza di rigidità nel conservare le posizioni di fine corsa se il pistone non è bloccato
- controllo di velocità poco preciso

Le prestazioni dei sistemi di attuazione ad aria compressa sono fortemente influenzate dalla comprimibilità dell'aria. Ciò in particolare è la causa della scarsa rigidità nel controllo di posizione. Tuttavia, quando l'obiettivo principale è la regolazione della forza questi sistemi trovano largo impiego (regolazione della frizione, del rollio del veicolo, freni antiblocco).

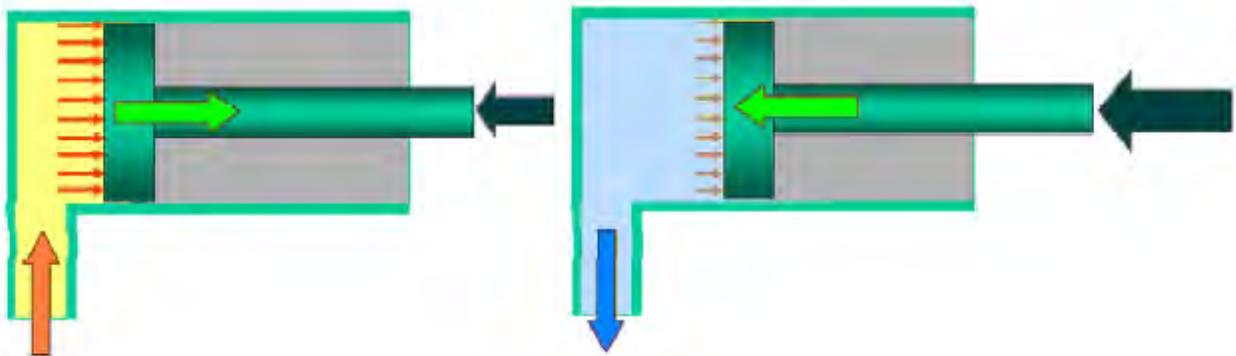
Cilindro a singolo effetto

I cilindri a semplice effetto, dispongono di una sola camera e la forza viene sviluppata in una sola direzione. Lo stelo si riposiziona per mezzo di una molla o per l'azione di una forza esterna.

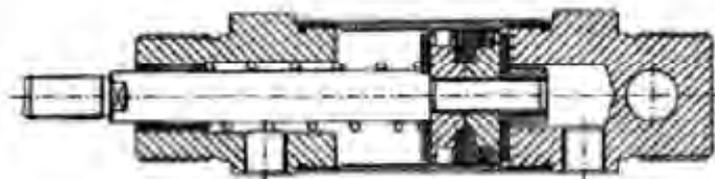
L'immissione del fluido in pressione nella camera genera una pressione sulla parete dell'organo mobile.

Quando tale pressione supera la risultante dei carichi resistenti l'organo mobile comincia a muoversi e tende accelerare. Dopo una fase iniziale di accelerazione, se si raggiunge una condizione di equilibrio tra spinta motrice e carichi resistenti, si passa ad una fase di moto a regime.

Per riportare l'organo mobile nella posizione iniziale, bisogna eliminare la spinta del fluido, che viene scaricato in atmosfera, ed applicare una forza esterna per riposizionare l'organo mobile.



Un cilindro a semplice effetto si dice in spinta se l'aria compressa agisce sulla camera priva dello stelo o in trazione nel caso in cui l'aria compressa agisce sulla camera che racchiude lo stelo.



S.E. IN SPINTA

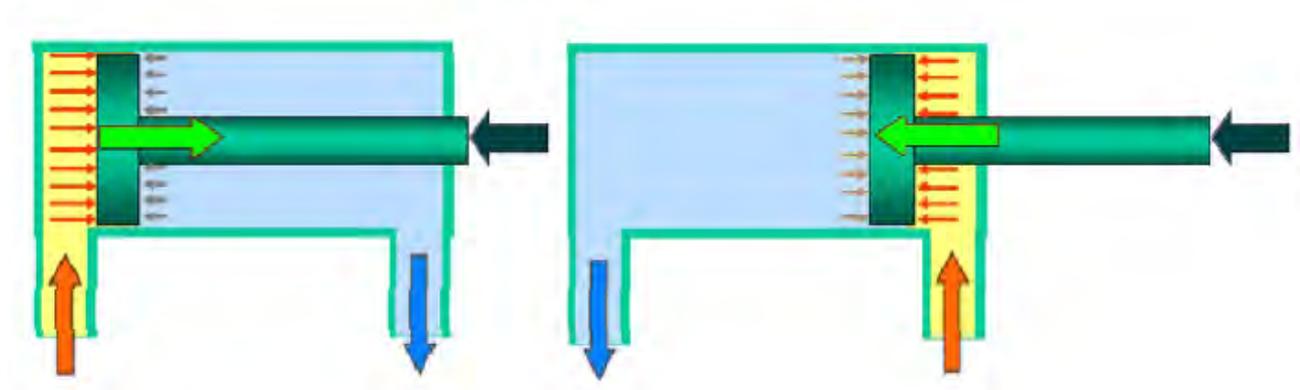


S.E. IN TRAZIONE

Cilindri a doppio effetto

I cilindri a doppio effetto dispongono di due camere in cui fare agire alternativamente il fluido in pressione, in modo da sfruttare la spinta del fluido sia durante la corsa di lavoro, sia durante quella di riposizionamento

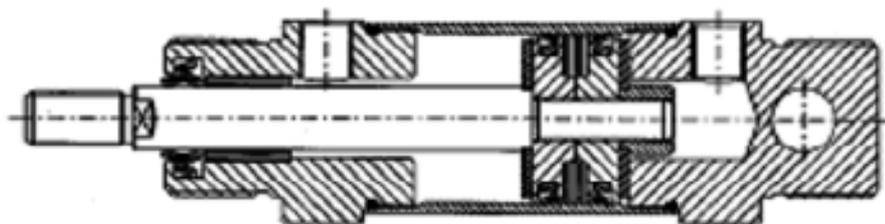
Per ottenere la corsa di ritorno occorre invertire i flussi dalle due camere, collegando alla mandata la camera che prima era in scarico e allo scarico la camera che prima era in mandata.



Appositi fori (luci) permettono l'entrata e l'uscita dell'aria.

Particolare importanza rivestono le tenute sottoposte a condizioni meccaniche e termodinamiche fortemente variabili.

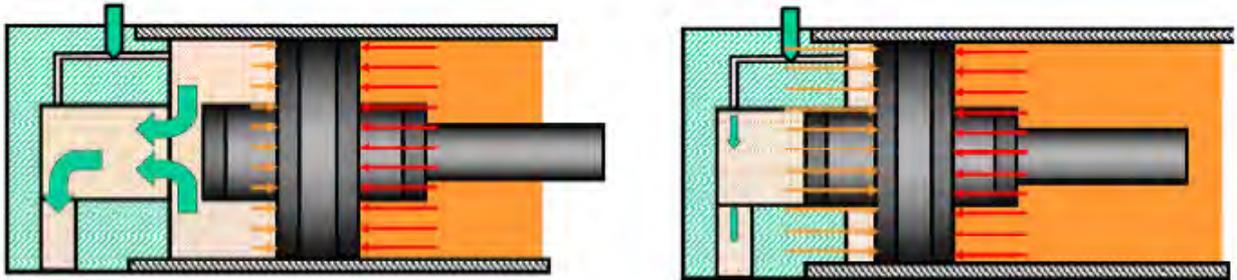
La pressione normale di esercizio è 6-7 bar, però i cilindri possono lavorare fino ad oltre 10 bar.



DOPPIO EFFETTO (D.E.)

Ammortizzatori interni

Durante la parte terminale della corsa il maschio si impegna in una corrispondente cavità della testata, in modo da delimitare un volume chiuso in cui avviene la compressione dell'aria intrappolata a spese della energia cinetica delle masse mobili.



Fine - corsa

Un fine-corsa è un dispositivo che segnala al sistema di controllo l'avvenuta effettuazione di un'intera corsa del pistone.

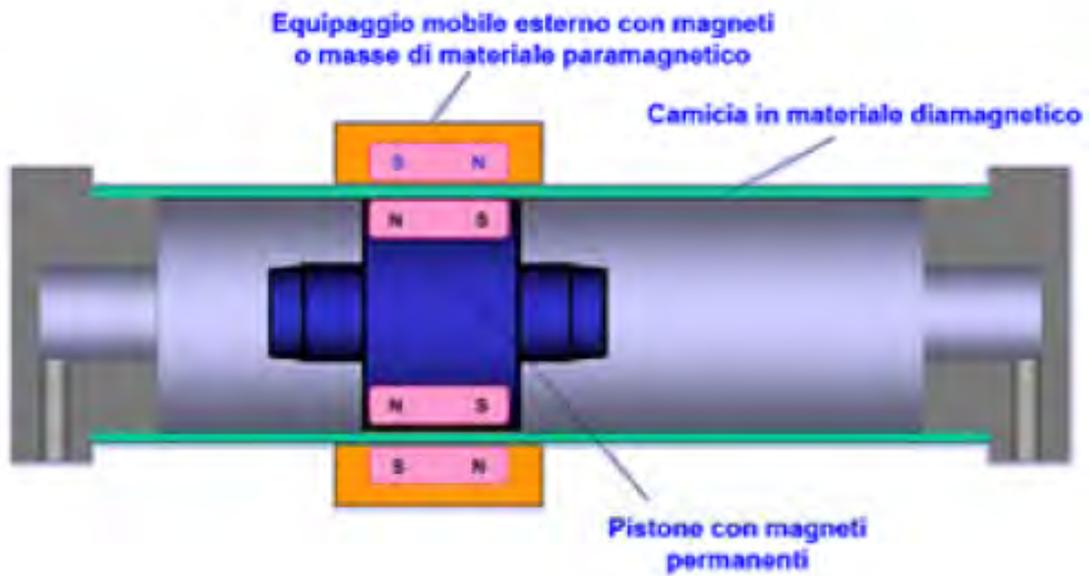
Si distinguono:

- Fine corsa a interruttore – Un interruttore (elettrico o pneumatico) connesso allo stelo del cilindro
- Fine corsa magnetico – Un magnete è connesso allo stelo ed aziona un sensore induttivo, un contatto Reed, o un sensore ad effetto Hall
- Fine corsa virtuale- Il segnale di fine corsa è ottenuto elaborando misure della pressione all'interno di una delle due camere del cilindro



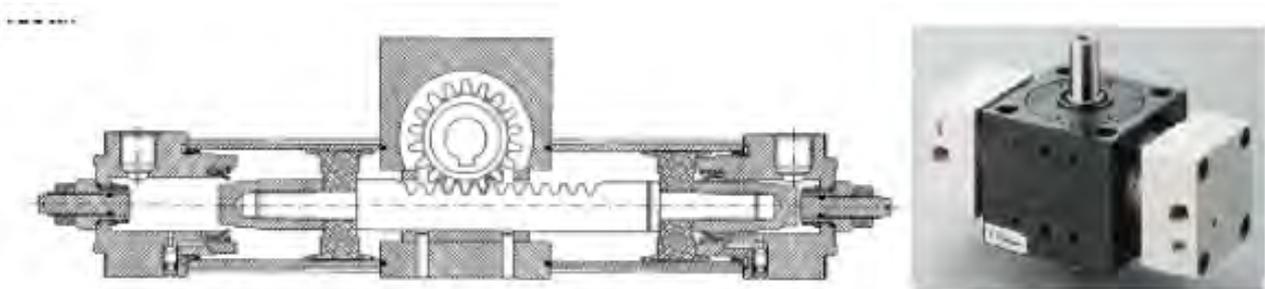
Fine corsa magnetici
a) contatto non eccitato
b) contatto eccitato.

Cilindri con trasmissione della forza per via magnetica



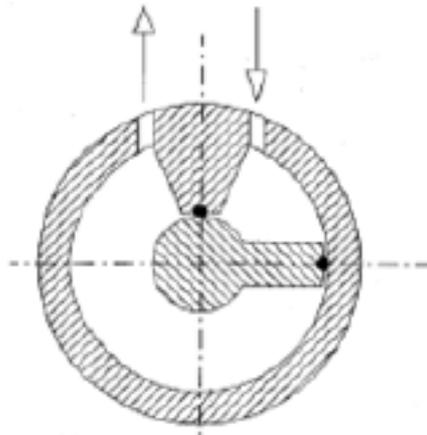
Cilindri rotativi

Se sono necessari moti rotazionali limitati è possibile trasformare il moto lineare del cilindro in moto rotativo tramite accoppiamenti elicoidali o meccanismi a ingranaggi.



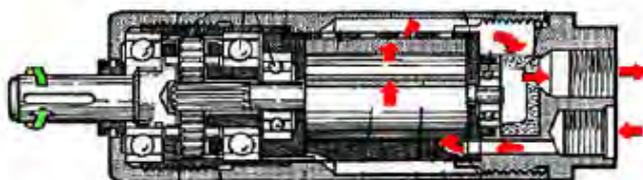
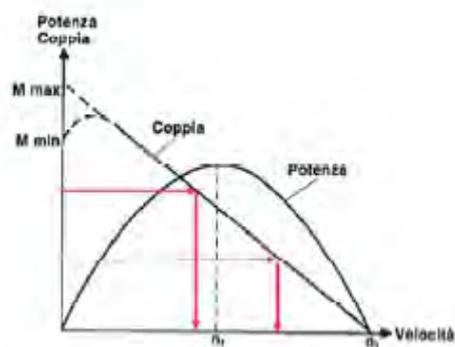
Attuatori a palette

Altri attuatori pneumatici con moto rotazionale limitato sono gli attuatori a palette, costituiti da un rotore inserito in una sede cilindrica.



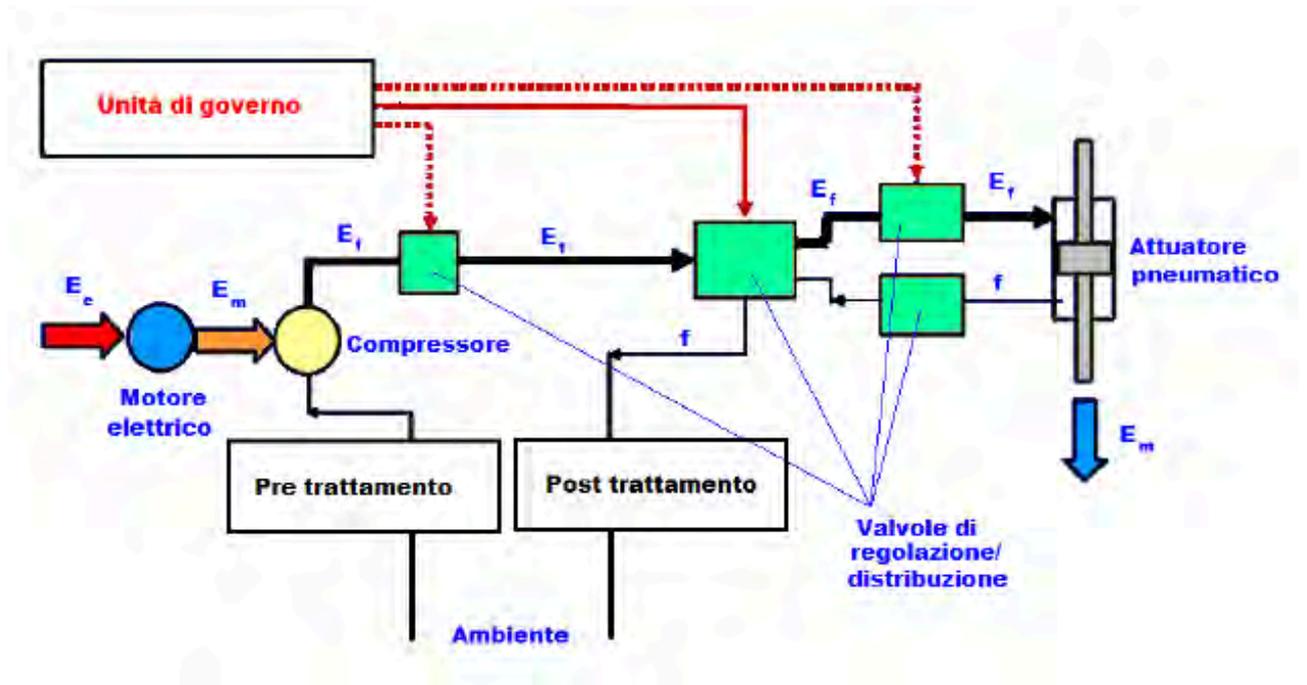
Motore rotativo a palette

Il motore rotativo produce moto continuo in ambedue i sensi di rotazione.



Circuito pneumatico

Il circuito di un sistema pneumatico è aperto nel senso che l'aria viene prelevata e rilasciata nell'ambiente.



Valvole pneumatiche

Gli attuatori pneumatici sono controllati mediante **valvole** che regolano la pressione e la direzione del flusso d'aria. Le valvole pneumatiche possono regolare la pressione agendo sul flusso d'aria in maniera lineare proporzionalmente segnale comando oppure possono essere lineari, ad un di comando, operare in modalità on-off.

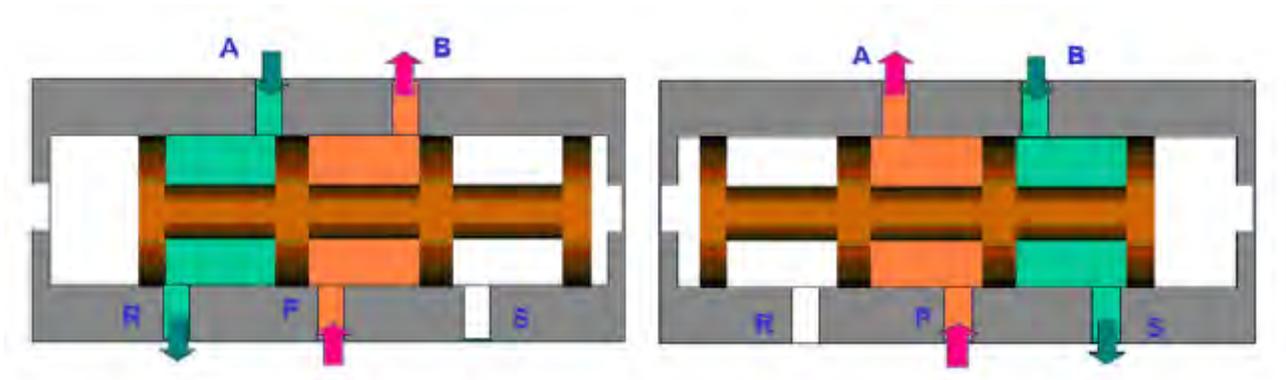
In base al meccanismo di attivazione possono essere divise in due categorie:

- **valvole a funzionamento automatico**: la funzione prevista viene svolta sotto l'azione della pressione del fluido agente nel circuito in cui il componente stesso è inserito, non è necessario un comando da parte dell'unità di governo.
- **valvole a funzionamento comandato**: la funzione prevista viene eseguita solo se viene applicato un comando generato a tale scopo dalla unità di governo.

Valvole di controllo direzionale

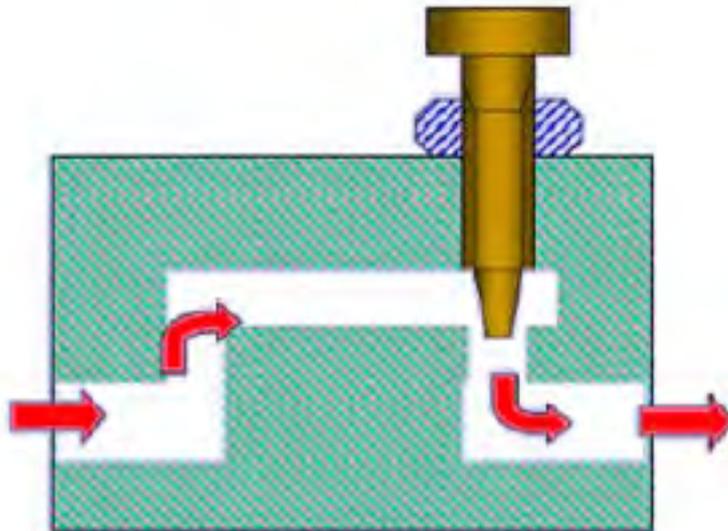
Le valvole di controllo direzionale (distributori) hanno il compito di definire il

percorso del flusso di aria in ingresso ed in uscita dai vari elementi del circuito. Consentono di passare da una situazione di lavoro all'altra.

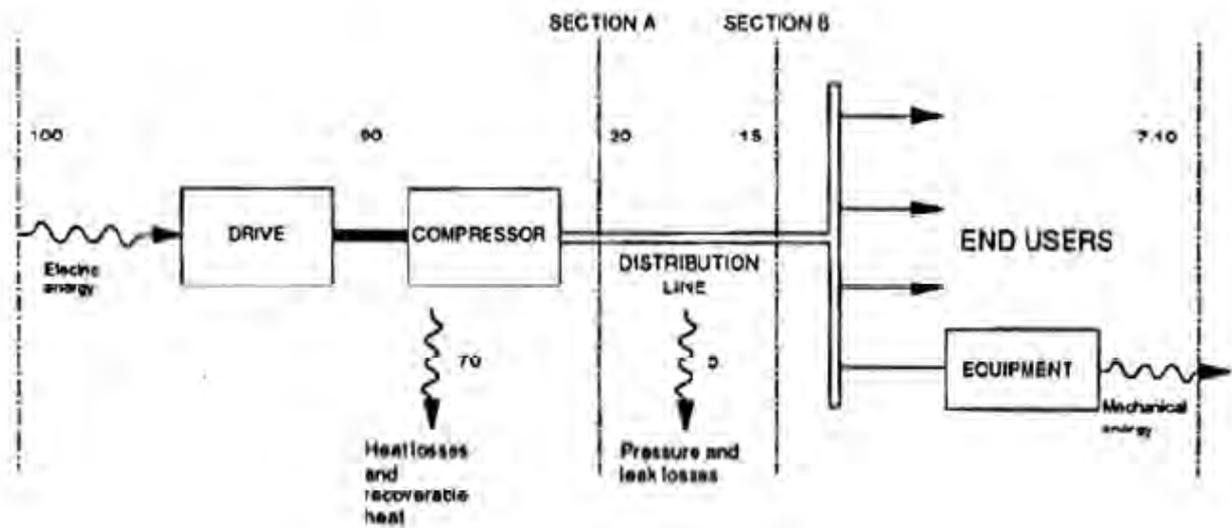


Valvole regolatrici di flusso

Le valvole regolatrici di flusso si comportano come resistenze pneumatiche regolabili. Hanno il compito di controllare la portata di fluido che attraversa un tratto di condotto.

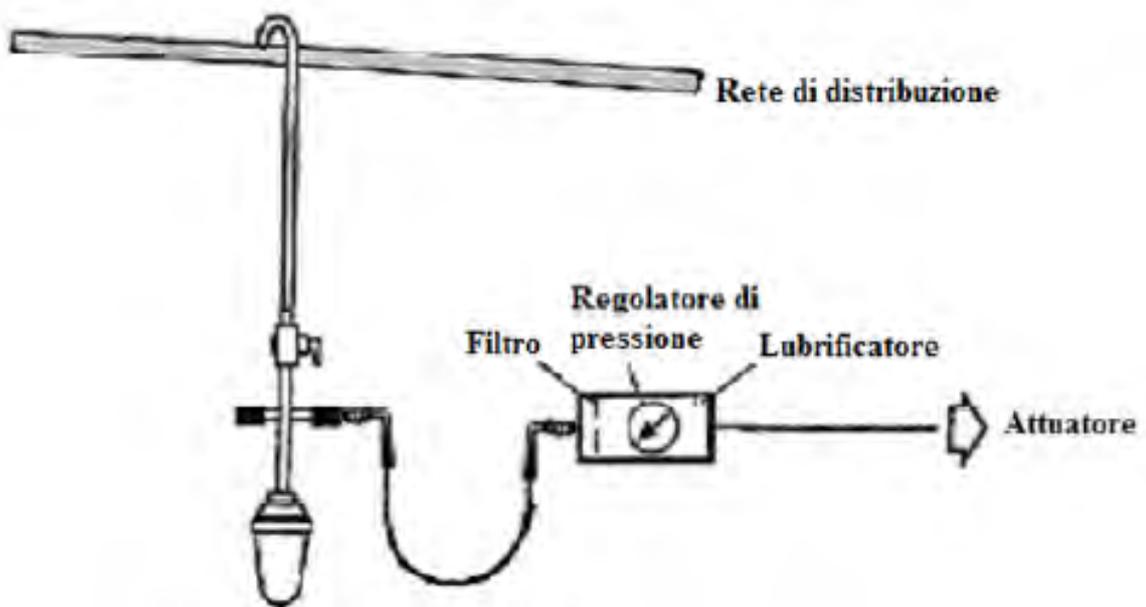


Alimentazione e distribuzione



L'aria compressa viene prodotta da un compressore azionato da un motore (elettrico o a combustione interna), immagazzinata in un serbatoio, e trasportata agli attuatori da una rete di tubazioni. Ognuno di tali elementi è sede di perdite di potenza.

Impianti Pneumatici



Il **filtro** serve ad eliminare eventuali particelle solide e l'umidità condensata. Per un corretto funzionamento degli attuatori pneumatici è infatti essenziale che l'aria sia il più possibile pura e secca.

Il **regolatore di pressione** consente di ridurre, regolare e stabilizzare la pressione dell'aria compressa a disposizione. L'aria compressa nei serbatoi e nelle reti di distribuzione è infatti soggetta continue oscillazioni di pressione che influenzano negativamente il funzionamento degli attuatori pneumatici.

Il **lubrificatore** libera durante il funzionamento una piccola quantità di lubrificante che viene trasportata dall'aria compressa nell'attuatore.

Forza sviluppata da un cilindro

La scelta di un cilindro viene fatta in base alla forza sviluppata ed alla corsa.

La forza sviluppata da un cilindro a doppio effetto durante la corsa di uscita dello stelo (aria compressa immessa nella camera libera dallo stelo) è in generale funzione dell'area del pistone e della pressione applicata.

$$F_u = p_a \frac{\pi D^2}{4} - F_a$$

Ove F_a è la forza d'attrito tra il pistone ed il cilindro. La forza sviluppata durante la corsa di ritorno (aria compressa immessa nella camera che comprende lo stelo) vale invece:

$$F_r = -p_a \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} + F_a$$

D = diametro del cilindro

d = diametro dello stelo

p_a = pressione relativa di alimentazione (6 bar è il valore più utilizzato nei circuiti pneumatici)

Per un cilindro ad effetto semplice la forza sviluppata durante la corsa di uscita dallo stelo vale:

$$F_u = p_a \frac{\pi D^2}{4} - F_M - F_a$$

essendo F_M la forza della molla.

Nella corsa di ritorno si ha invece:

$$F_u = -F_M + F_a$$

Nel calcolo della forza sviluppata dal pistone bisogna tenere conto anche delle perdite per attrito dovute allo strisciamento delle guarnizioni di tenuta.

Quando all'interno del cilindro si raggiunge una certa differenza di pressione il pistone comincia a muoversi vincendo l'attrito di primo distacco. Durante lo stazionamento del pistone cessano le condizioni di lubrificazione, cioè si estingue il velo lubrificante interposto tra le guarnizioni di tenuta e il cilindro.

Pertanto l'attrito di primo distacco è dovuto al contatto 'secco' tra pistone e cilindro, ma non appena il pistone si muove si ricostituisce il velo di lubrificante e la forza resistente decresce repentinamente.

Il **rapporto di carico** esprime in percentuale il rapporto tra la forza effettivamente necessaria a bilanciare il carico e la massima forza teorica disponibile.

$$R_c = \frac{\text{Forza richiesta}}{\text{Forza disponibile}} \times 100$$

Il rapporto di carico determina la potenza disponibile per accelerare il carico. Ogni incremento di velocità comporta una diminuzione della pressione di alimentazione del cilindro ed un aumento della contropressione sul lato opposto del pistone ciò

stabilizza e limita la velocità del pistone. All'aumentare del rapporto di carico la riserva di potenza utilizzabile per controllare la velocità diminuisce. Con rapporti di carico elevati anche piccole variazioni del carico meccanico rendono difficile la regolazione della velocità.

Poiché ad ogni inversione di velocità dello stelo, l'aria compressa immagazzinata in una delle due camere viene scaricata nell'ambiente si ha un consumo d'aria. Il volume di aria compressa richiesto per effettuare una completa corsa d'uscita dello stelo è:

$$V_u = \frac{\pi D^2}{4} c \frac{p_e}{p_{st}} \frac{T_{st}}{T}$$

c = la corsa del cilindro

p_e = la pressione assoluta di alimentazione

p_{st} = la pressione di normalizzazione

T = la temperatura dell'aria di alimentazione

T_{st} = la temperatura di normalizzazione

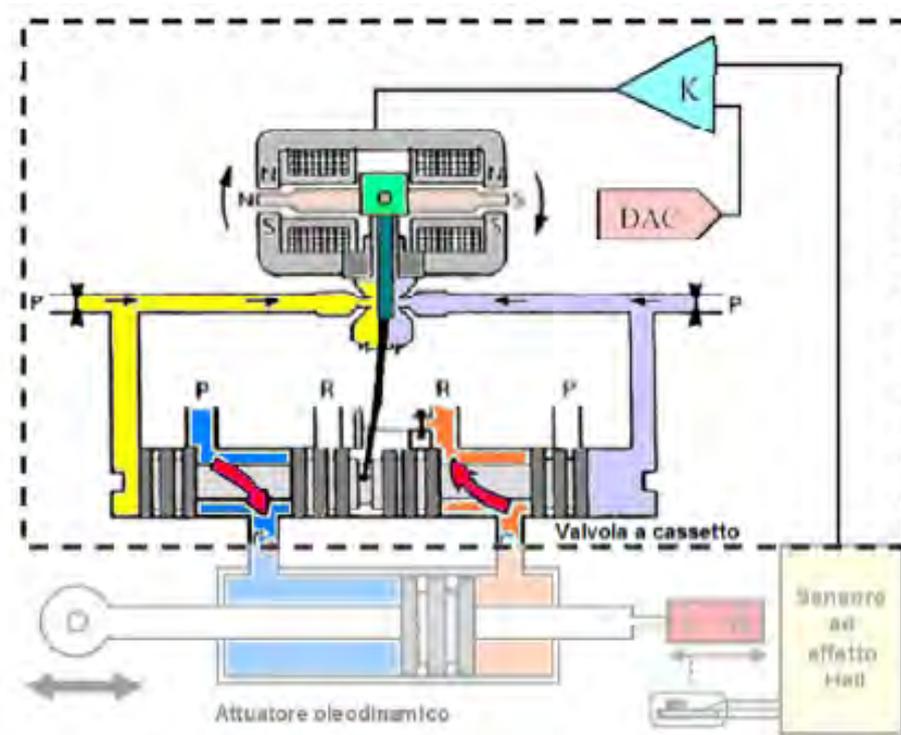
Per la corsa di ritorno si ha invece:

$$V_r = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} c \frac{p_e}{p_{st}} \frac{T_{st}}{T}$$

Per calcolare la **portata volumetrica** (consumo d'aria) che il compressore e la linea di distribuzione devono assicurare è necessario moltiplicare la somma del volume d'aria compressa richiesto dalle corse di uscita e di ritorno per il numero di cicli (ciclo=uscita+rientro) effettuati nell'unità di tempo.

La somma dei consumi di tutti i cilindri presenti nell'impianto determina il dimensionamento del gruppo di alimentazione.

Un particolare tipo di attuatore pneumatico è la **servovalvola**, che funge da amplificatore di potenza in molti sistemi oleodinamici.



Elementi principali di una servovalvola sono:

- Lo stadio di regolazione
- L'astina di retroazione
- Lo stadio di potenza

Lo stadio di regolazione è composto da un **attuatore elettrico a moto limitato** che aziona una **valvola regolatrice di flusso**.

A seconda dell'intensità e del segno della tensione di alimentazione il rotore dell'attuatore elettrico si sposta facendo aumentare la pressione in uno dei due condotti della valvola regolatrice di flusso. Tali condotti sono connessi alle camere di **una valvola a cassetto**, che regola il flusso d'olio nelle due camere dell'attuatore oleodinamico.

L'**astina di retroazione** collega il pistone della valvola a cassetto e l'attuatore meccanico. Essa esercita sul rotore dell'attuatore una coppia di reazione, proporzionale alla posizione del pistone, che si oppone alla coppia motrice.

Grazie all'effetto linearizzante della retroazione meccanica, la funzione di trasferimento tra tensione di alimentazione dell'attuatore elettrico V_c e posizione dello stelo della valvola a cassetto X è data da:

$$\frac{X(s)}{V_c(s)} = \frac{G_s}{1 + sT_s}$$

Essendo:

G_s il guadagno equivalente della servovalvola.

T_s la costante di tempo della servovalvola, dell'ordine dei millisecondi.

Lavorazione al Trapano

Generalità sulle tipologie di macchine

Come è noto nella operazione di foratura al trapano l'utensile possiede entrambi i moti di taglio e di avanzamento mentre il pezzo è bloccato sulla tavola. L'utensile per forare è la punta ad elica normalmente a due taglienti ed è idonea a realizzare anche fori profondi.

I trapani possono così classificarsi:

- Portatili
- Sensitivi
- A colonna montante
- Radiali

Il trapano portatile non è una vera macchina utensile ma è uno strumento validissimo non solo per le lavorazioni domestiche ma anche nelle officine quando si devono fare fori in posizioni difficili o obbligate. Normalmente il massimo foro consentito è 13 mm. L'azionamento è generalmente elettrico.

Il trapano sensitivo che può essere sia da banco che da colonna è così denominato per il fatto che avendo l'avanzamento manuale è la sensibilità dell'operatore che determina lo sforzo necessario alla operazione di foratura. Ne consegue che la capacità di foratura non supera i 20 mm. Queste macchine possiedono un cambio di velocità (in genere 3) con pulegge trapezoidali e cinghia. Il cambio della velocità richiede alcuni minuti per essere effettuato. Sono macchine comunissime all'interno delle officine.

Il trapano a colonna montante rappresenta una macchina certamente più importante in quanto può disporre di potenza sufficiente per eseguire fori anche di 50 mm; è dotato di avanzamento automatico e di un cambio di velocità ad ingranaggi. Strutturalmente appare assai più robusto dei trapani sensitivi.

Accessori per usi particolari

Se si debbono fare delle forature in serie a distanze prestabilite si possono montare sul mandrino del trapano delle teste a più mandrini che derivano il moto dal mandrino principale. Le più semplici sono a tre mandrini (foto a ds) ma vi sono anche a più mandrini con snodi cardanici (foto a sn).



Queste attrezzature consentono di poter operare più fori con una discesa applicandole ad un trapano a colonna ma anche a un trapano radiale.

I trapani radiali sono trapani robusti e sono in genere indicati per eseguire forature su pezzi ingombranti ed anche pesanti, dove è necessario che sia la punta a raggiungere la posizione del foro e quindi non necessita spostare il pezzo. Sono dotati di cambio di velocità ed avanzamento e il raggio della bandiera determina la loro zona di operatività.



Utensili

I vari tipi di utensile più comuni utilizzati per forare si possono così distinguere:

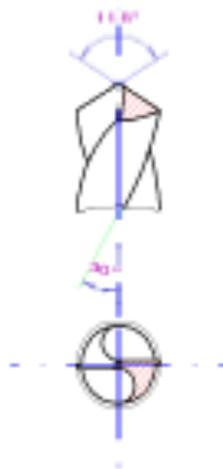
- Punta elicoidali realizzate in acciaio HS non rivestito e rivestito con nitruri di titanio (TiN) e quelle con inserti in widia intercambiabili. L'estremità è cilindrica per piccoli diametri e conica (cono Morse) per diametri più grandi. Vi sono punte elicoidali con canalini di refrigerazione interni per raffreddare la punta ove c'è più necessità, cioè sul fondo del foro. Queste punte sono ottenute partendo dal cilindro nel quale viene eseguita la doppia foratura assiale, dopodiché viene torta a caldo la punta prima di ricavarne i solchi elicoidali.



Per ciascun diametro esistono punte di varia lunghezza per soddisfare le varie profondità di foratura.

Le norme UNI 3806 prevedono tre esecuzioni delle punte elicoidali N, D e T.

L'esecuzione N è l'esecuzione normale più comune adatta per acciai da costruzione, ghise e l'angolo che formano i due taglienti sulla punta è $\varphi=118^\circ$, mentre l'angolo di inclinazione dell'elica γ varia da 15° a 30° . L'esecuzione T è più adatta per materiali teneri come alluminio, rame e leghe relative $\varphi = 140^\circ$ e $\gamma = 30-45^\circ$. L'esecuzione D è indicata per materiali duri ma anche materiali non metallici, $\varphi = 80^\circ$ e $\gamma = 8 - 16^\circ$.



- Punta a centrare; in realtà queste punte sono più utilizzate sulla controtesta del tornio.
- Punta a cannone utilizzate per fori profondi. Il nome deriva dall'utilizzo nella foratura delle canne da fuoco. Hanno la forma di un puntale cilindrico interrotto per una frazione di angolo giro in modo da ricavare una scanalatura laterale. In testa

hanno un solo tagliente e dei pattini di guida. La lubrificazione avviene per mezzo di un foro, parallelo all'asse della punta, attraverso il quale il liquido in pressione giunge sulla punta e risalendo lungo la scanalatura asporta i trucioli.



Fra le punte speciali segnaliamo due particolari punte che danno la possibilità di eseguire due lavorazioni diverse senza sostituire l'utensile.

Foro con svasatura per alloggiare la testa della vite svasata.



Foro con sede per alloggiare la testa delle viti a frugola TCEI (testa cilindrica esagono incassato).



I vantaggi in termini di tempo che si possono ottenere con queste punte, specie per forature di serie sono notevoli.

- Alesatori. I fori eseguiti di punta non sono precisi né eccessivamente finiti; ciò è perfettamente compatibile per la maggioranza delle lavorazioni (ad esempio in carpenteria), ma a volte certe funzionalità richiedono forature in tolleranza. In tal caso si procede alla preventiva foratura lasciando un leggero sovrametallo (0.1-0.5mm) dopodiché si passa nel foro l'alesatore di dimensioni idonee. Vi sono in commercio anche alesatori registrabili a lamelle espansibili che possono quindi essere utilizzati su più diametri.



- Maschi a macchina. Anche questa operazione può essere eseguita al trapano, quando questo è dotato di avanzamento automatico (uguale al passo da realizzare) e di invertitore del senso di rotazione del mandrino per il ritorno della punta.



Se la maschiatura è eseguita manualmente i maschi sono detti a mano, in tal caso si deve usare la serie di tre maschi usati in sequenza.

Parametri di foratura

Come è noto l'utensile possiede sia il moto di lavoro che il moto di avanzamento. Le punte più usate sono realizzate in acciaio super-rapido (HSS) e sempre di più la tipologia rivestita in nitruro di titanio (TiN – color giallo oro).

Le velocità riportate nelle tabelle si riferiscono ad una durata prevista dell'utensile pari a una lunghezza complessiva di foratura di 2000 mm. L'avanzamento di riferimento è circa 1/100 del diametro della punta.

MATERIALE UTENSILE – ACCIAIO HSS		
<i>Materiale da lavorare</i>	<i>Velocità di taglio (m/1')</i>	<i>Avanzamento (mm/giro)</i>
Acciaio non legato ($R_m < 700 \text{ dN/cm}^2$)	25 - 40	0.015 - 0.40
Acciaio non legato ($R_m > 700 \text{ dN/cm}^2$)	20 - 30	0.01 - 0.30
Acciai legati ($R_m < 900 \text{ dN/cm}^2$)	15 - 20	0.01 - 0.30
Acciai legati ($R_m > 900 \text{ dN/cm}^2$)	10 - 15	0.07 - 0.20
Ghisa tenera (HB < 200)	20 - 30	0.02 - 0.50
Ghisa dura (HB > 200)	10 - 20	0.01 - 0.40
Acciai inox	5 - 10	0.01 - 0.30
Ottoni, bronzi (durezza media)	50 - 70	0.02 - 0.50
Leghe di alluminio	50 - 100	0.02 - 0.50

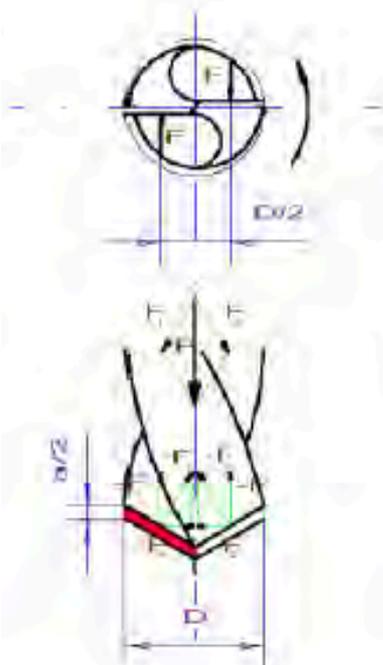
MATERIALE UTENSILE – ACCIAIO HSS – RIVESTITO IN TiN			
<i>Materiale da lavorare</i>	<i>Diametro punta (mm)</i>	<i>Velocità di taglio (m/1')</i>	<i>Avanzamento (mm/giro)</i>
Acciaio ($R_m 850 - 1400 \text{ N/cm}^2$)	2 - 10	40 - 45	0.02 - 0.05
	10 - 20	45 - 60	0.04 - 0.08
	20 - 40	60 - 70	0.08 - 0.12
Getti di acciaio ($R_m > 700 \text{ N/cm}^2$)	2 - 10	15 - 20	0.02 - 0.05
	10 - 20	20 - 25	0.04 - 0.08
	20 - 40	25 - 30	0.08 - 0.12
	2 - 10	15 - 20	0.02 - 0.03

Acciaio al Ni-Cr	10 - 20	20 - 25	0.03 - 0.05
	20 - 40	25 - 30	0.06 - 0.08
Acciaio da utensili	2 - 10	8 - 10	0.02 - 0.03
	10 - 20	10 - 12	0.03 - 0.04
	20 - 40	12 - 15	0.04 - 0.05
Ghisa (HB < 200)	2 - 10	50 - 55	0.04 - 0.08
	10 - 20	55 - 60	0.08 - 0.15
	20 - 40	60 - 65	0.15 - 0.30
Ghisa (HB > 200)	2 - 10	25 - 30	0.03 - 0.05
	10 - 20	30 - 35	0.05 - 0.10
	20 - 40	35 - 40	0.10 - 0.20
Ottoni , bronzi (durezza media)	2 - 10	70 - 80	0.06 - 0.10
	10 - 20	80 - 85	0.10 - 0.15
	20 - 40	85 - 90	0.15 - 0.20
Leghe leggere	2 - 10	200 - 230	0.06 - 0.10
	10 - 20	230 - 260	0.10 - 0.18
	20 - 40	260 - 300	0.18 - 0.25

Calcolo potenza di taglio e di penetrazione

Le sollecitazioni cui è sottoposta la punta sono un momento torcente M e una forza di penetrazione $-P$. La coppia di reazione è data dalla forza di taglio per il braccio che ha un valore prossimo a $D/2$.

$$M = F \frac{D}{2}$$



$$F = K_s \times q = K_s \times \frac{aD}{4}$$

dove:

- $K_s = (4 - 6) R_m$ è la tensione di strappamento
- $q = \frac{a}{2} \times \frac{D}{2} = \frac{aD}{4}$ è la sezione del truciolo

La potenza assorbita in Kw sarà:

$$P = \frac{M \times \omega}{1000}$$

se η è il rendimento del trapano, la potenza del motore elettrico sarà:

$$P_m = \frac{M \times \omega}{1000 \times \eta}$$

La potenza di avanzamento è invece data da:

$$P_a = \frac{P \times a \times n}{60 \times 10^6}$$

dove, se $\beta = \sim 120^\circ$ (angolo fra i taglienti)

$$P = 2F_2 = 2F_1 \text{sen} \frac{\beta}{2} \cong F_1 \times \sqrt{3}$$

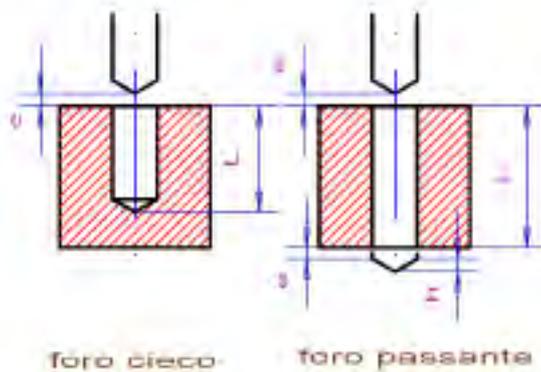
dove $F_1 = \sim F$ (forza di taglio) e quindi la potenza di avanzamento è trascurabile rispetto a quella di taglio.

Tempo di lavorazione

Il tempo di lavorazione si calcola con la nota formula:

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

a seconda che il foro sia cieco o passante cambierà il valore di e :



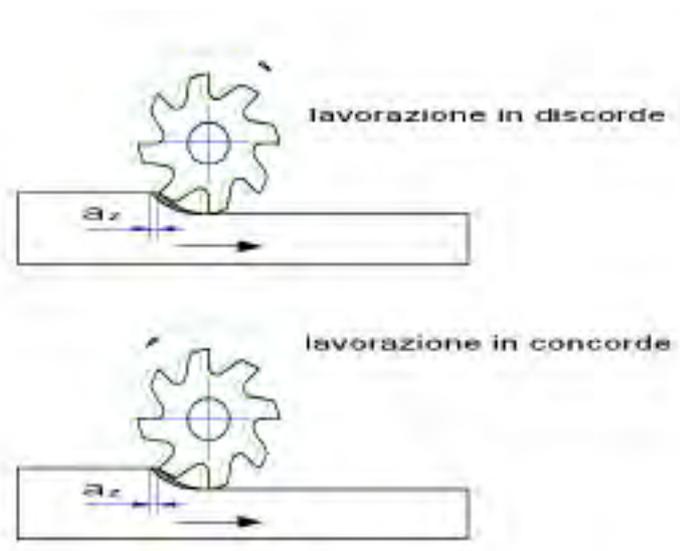
Dove h si può assumere $= 0,3D$

Lavorazioni alla Fresatrice

Moti di lavoro e alimentazione

I moti di lavorazione e di avanzamento nella fresatrice sono posseduti rispettivamente dall'utensile (fresa) e dalla tavola (pezzo). Le lavorazioni più comuni che si possono effettuare sono le spianature, anche se è possibile realizzare lavorazioni diverse.

I metodi di lavoro sono in discorde e in concorde a seconda che l'avanzamento della tavola vada rispettivamente contro o favorisca il senso di rotazione dell'utensile durante il taglio.



La fresatura in discorde viene utilizzata quando fra vite e madrevite della tavola vi sono possibilità di gioco, il pezzo in questo caso tende a sollevarsi dalla tavola, inoltre la finitura superficiale non è ottimale perché il truciolo non può formarsi con spessore "0" e quindi inizialmente si ha un ricalcamento del materiale prima dell'inizio dell'azione tagliente.

Di contro la lavorazione in concorde dà stabilità al pezzo in quanto premuto contro la tavola, dà luogo ad una migliore finitura iniziando il taglio dallo spessore massimo ma richiede che non vi siano giochi fra vite e madrevite altrimenti l'utensile tende a impuntarsi. Questo fatto ne limita l'impiego specie sulle macchine vecchie, ma viene utilizzato quando il comando avviene tramite viti a ricircolazione di sfere come nelle macchine a CNC.

Generalità sulla macchina

La fresatrice convenzionale più attrezzata è la universale. Questa macchina possiede

il mandrino orizzontale per lavorare come una fresatrice orizzontale con motore autonomo, possiede il mandrino verticale per lavorare verticalmente anch'esso con motore autonomo, ha la tavola inclinabile così come la testa verticale.



I pezzi possono essere fissati direttamente sulla tavola mediante staffaggio, ma si possono montare sulla tavola morse normali, morse con piattaforma girevole o l'apparecchio divisore.

L'apparecchio divisore

La testa a dividere o apparecchio divisore è un apparecchio necessario per la esecuzione di scanalature su alberi, per la costruzione di ruote dentate o quando occorra effettuare un certo numero di divisioni di ampiezza angolare assegnata, oppure in cui occorra dividere in un certo numero di parti uguali una circonferenza.



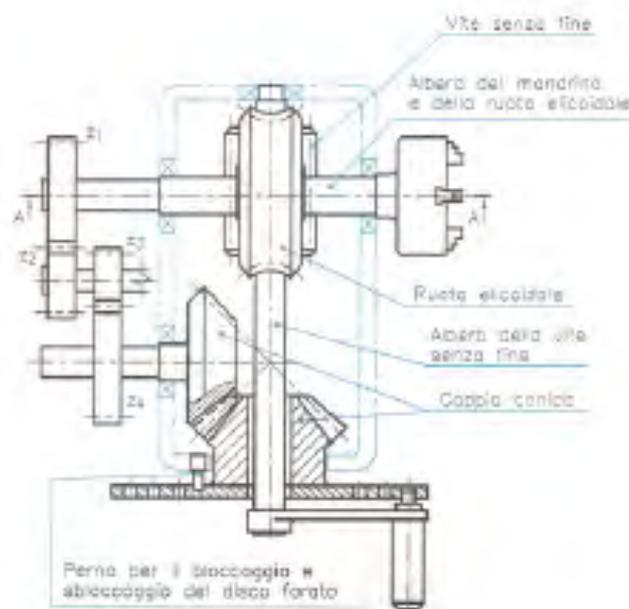
Con il divisore viene fornito il gruppo contropunta per montare pezzi cilindrici fra le punte.

Inoltre accessori al divisore sono il mandrino autocentrante, la brida (diversa da quella del tornio perché disco e brida sono univocamente collegati) con menabrida, una serie di dischi con varie serie di fori su circonferenze diverse, una staffa per il montarvi ruote dentate, una serie di ruote dentate.

L'apparecchio divisore può essere ruotato di 90° , ossia il mandrino viene a trovarsi da orizzontale a verticale.

All'interno del divisore c'è una vite senza fine che ingrana con una ruota elicoidale (rapporto in genere $1/40$). La ruota è sull'asse del mandrino e l'albero fuoriesce posteriormente dalla scatola.

Dalla scatola esce un altro albero (più basso) che può trasmettere, se collegato con un nottolino, un moto di rotazione al disco forato mediante due ruote coniche esattamente uguali; oppure se non collegato si può trasmettere la rotazione al mandrino derivandola dalla vite della tavola.



La divisione semplice prevede l'utilizzo del divisore senza le ruote dentate esterne in tal caso si utilizza la formula:

$$x = \frac{40 \times f}{n}$$

dove:

- x è il numero di fori da contare per eseguire la rotazione voluta
- f rappresenta il numero dei fori presenti sulla circonferenza forata prescelta
- n è il numero di suddivisioni da eseguire

esempi:

se si vuole ricavare un quadrato da un tondo, occorre ruotare il pezzo di 90° (1/4 di giro quindi 4 divisioni) per cui:

$$x = \frac{40 \times f}{4} = 10 \times f$$

ossia, indipendentemente dalla circonferenza scelta, è necessario eseguire 10 giri della manovella per ruotare in pezzo di 90°.

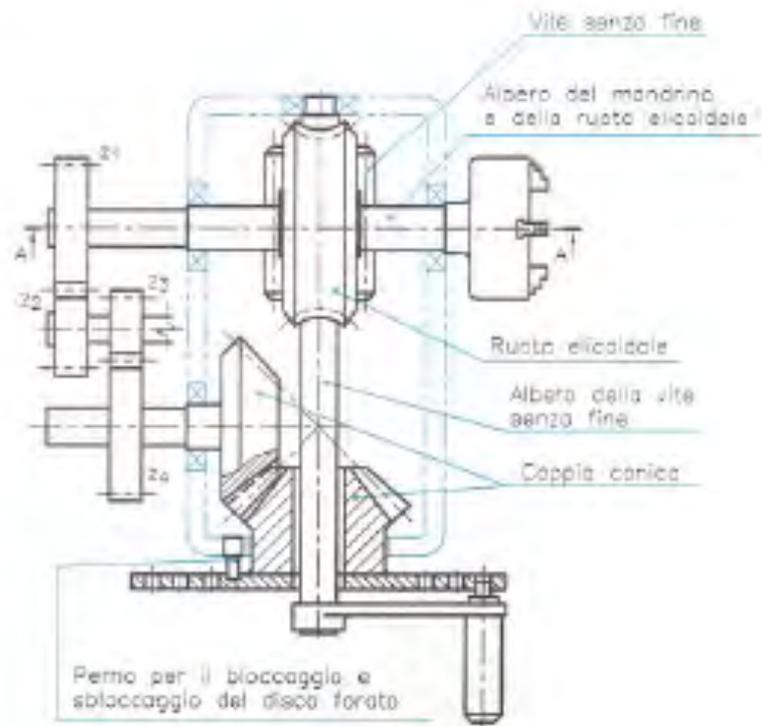
Se si volesse un esagono, occorre eseguire 6 divisioni in un giro e quindi:

$$x = \frac{40 \times 15}{6} = 100$$

per ottenere ciò, si è prima semplificato 40 e 6 dividendo per 2, dopodiché si è scelta una circonferenza contenente un numero di fori multiplo di 3; la più piccola è 15 ottenendo così 100.

Per eseguire lo spostamento voluto occorre fare con la manovella 6 giri completi (6x15=90) dopodiché si contano 10 fori e si inserisce il nottolino. Per facilitare l'operazione si usano le alidade, le squadrette mobili presenti sulla superficie del disco forato.

Nel caso non si disponga di una circonferenza forata che consenta di ottenere un numero intero, occorre far ricorso alla divisione differenziale rappresentata sotto in figura



esempio si debbano eseguire 47 divisioni (numero primo), non esistendo la circonferenza con 47 fori si commette un errore esempio facendo 50 divisioni e correggendo l'errore commesso facendo spostare il disco come in figura.

$$x = \frac{40xf}{n} = \frac{40 \times 25}{50} = 20$$

abbiamo scelto la circonferenza con 25 fori e quindi per effettuare lo spostamento dobbiamo contare 20 fori sulla circonferenza di 25.

Per correggere l'errore commesso $e = 50 - 47 = 3$

Si calcolano le ruote con la formula del rapporto di trasmissione $r = \frac{40 \times e}{50} = \frac{40 \times 3}{50} = \frac{12}{5}$

$$r = \frac{z_1 \times z_3}{z_2 \times z_4} = \frac{12}{5} = \frac{30 \times 40}{25 \times 20}$$

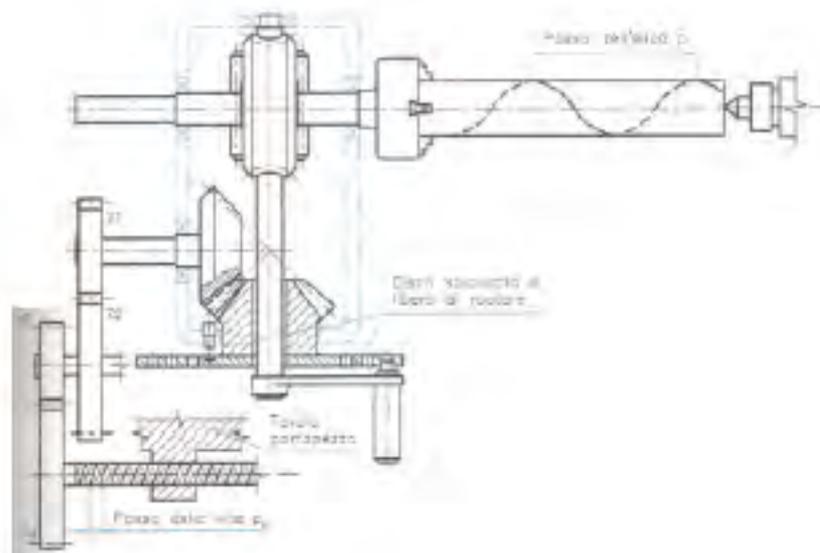
avendo commesso l'errore in eccesso il disco deve ruotare in senso orario (in avanti), se l'errore era in difetto il disco doveva ruotare in senso antiorario, quindi occorre inserire una ruota oziosa nel cinematismo.

Per eseguire ruote dentate elicoidali oppure scanalature elicoidali lungo una circonferenza è necessario che il pezzo ruoti mentre avanza, per far ciò occorre combinare la rotazione del pezzo con la rotazione della madre vite sotto la tavola. Si deriva il moto dalla vite e tramite opportune coppie di ruote dentate si porta il moto dentro il divisore alla coppia di ruote dentate coniche che fanno ruotare il disco forato; questo è reso solidale alla manovella tramite il nottolino e da questa il moto passa alla vite senza fine e quindi alla ruota elicoidale che comanda il mandrino.

Nel caso che i passi dell'elica e della vite non siano molto distanti come valore si può escludere il rapporto 1/40 portando il moto direttamente dalla vite madre all'asse del mandrino.

Tenendo presente che i passi sono inversamente proporzionali ai rispettivi giri avremo:

$$\frac{p_e}{pv} = \frac{n_v}{n_e} = \frac{40 \times z_3 \times z_1}{z_2 \times z_4}$$



Se si vuole realizzare un passo della elica di 200mm e il passo della vite madre è 6mm si avrà:

$$\frac{p_e}{40 \times p_v} = \frac{z_3 \times z_1}{z_2 \times z_4} = \frac{200}{40 \times 6} = \frac{10}{12} = \frac{20 \times 50}{30 \times 40}$$

Se per fare la scanalatura elicoidale si impiegano frese a candela (fresatrice verticale) la tavola rimane dritta, se invece si impiegano frese circolari (fresatrice orizzontale) la tavola deve essere inclinata come l'elica per poter eseguire il taglio circolare.

Utensili fresa

Gli utensili per fresatura a seconda del modo con cui tagliano si classificano in:

- tangenziali quando i denti sono ricavati sulla parte cilindrica dell'utensile
- frontali quando i denti sono ricavati su una superficie piana
- a due tagli se i denti sono attivi su due lati
- a tre tagli con denti attivi su tre lati
- frese a profilo costante (es. modulari per ingranaggi)

Nella fotografia sono riportati una gamma completa di frese in HSS



Le frese a profilo costante per fresare, ad esempio gli ingranaggi, sono così denominate perché a seguito dell'affilatura non variano il profilo di taglio. Per ottenere ciò la fresa deve avere il dorso sagomato secondo la spirale di Archimede, e l'affilatura, eseguita sul petto dell'utensile con una mola a tazza, è radiale.

Condizioni di taglio nella fresatura

La velocità di taglio è espressa dalla formula:

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

dove D è il diametro della fresa ed n il numero dei giri.

Per le frese in acciaio HSS, la velocità di taglio deve consentire una durata della affilatura almeno di 240 minuti, tenuto conto delle difficoltà della riaffilatura.

Nella tabella seguente sono indicati valori orientativi delle velocità:

Materiale da lavorare	Acciaio HSS	Taglienti in carburi	Qualità ISO carburil
Acciaio $R_m < 600$ N/mm ²	18 - 30	120 - 200	P20
Acciaio $R_m = 600-1000$ N/mm ²	15 - 24	70 - 100	P20
Acciaio $R_m = 1000-1200$ N/mm ²	8 - 14	30 - 50	P10
Ghisa HB < 180	15 - 25	70 - 100	K20
Ghisa HB > 180	12 - 16	50 - 70	K10
Ottoni - bronzi	15 - 24	70 - 100	K20
Rame	40 - 50	80 - 120	K20
Leghe alluminio HB < 50	100 - 180	300 - 400	K20
Leghe alluminio HB > 50	70 - 120	150 - 250	K10

I valori più bassi per la sgrossatura e gli alti per la finitura.

Per calcolare la velocità di avanzamento è necessario riferirsi all'avanzamento a dente a_z che costituisce il riferimento di base, secondo la relazione:

$$V_a = a_z \times z \times n$$

dove z rappresenta il numero dei denti o taglienti della fresa ed n il numero dei giri.

Materiale da lavorare	Frese cilindriche e frontali	Frese a disco e di forma	Frese a codolo	Frese a lame riportate
Acciaio $R_m < 600$ N/mm ²	0.08 - 0.20	0.02 - 0.08	0.04 - 0.08	0.10 - 0.25
Acciaio $R_m = 600-1000$ N/mm ²	0.05 - 0.15	0.02 - 0.07	0.02 - 0.06	0.10 - 0.20
Acciaio $R_m = 1000-1200$ N/mm ²	0.04 - 0.10	0.02 - 0.07	0.02 - 0.06	0.05 - 0.10
Ghisa HB < 180	0.08 - 0.20	0.02 - 0.05	0.03 - 0.06	0.10 - 0.30
Ghisa HB > 180	0.04 - 0.10	0.02 - 0.04	0.04 - 0.05	0.10 - 0.20
Ottoni - bronzi	0.08 - 0.20	0.03 - 0.06	0.06 - 0.10	0.10 - 0.40
Rame	0.10 - 0.20	0.04 - 0.08	0.04 - 0.10	0.10 - 0.30
Leghe alluminio HB < 50	0.10 - 0.25	0.06 - 0.10	0.08 - 0.15	0.08 - 0.30
Leghe alluminio HB > 50	0.08 - 0.15	0.04 - 0.08	0.04 - 0.12	0.06 - 0.20

I valori più bassi per la finitura e gli alti per la sgrossatura

Potenza di fresatura

La potenza di fresatura è data dalla somma della potenza di taglio e dalla potenza di avanzamento. quest'ultima si può valutare da 12-15% della prima per cui la potenza massima di fresatura sarà:

$$N_{\max} = 1.15 N_{t\max}$$

La potenza assorbita dal motore è:
$$N_{\text{mot}} = \frac{N_{t\max}}{\eta}$$

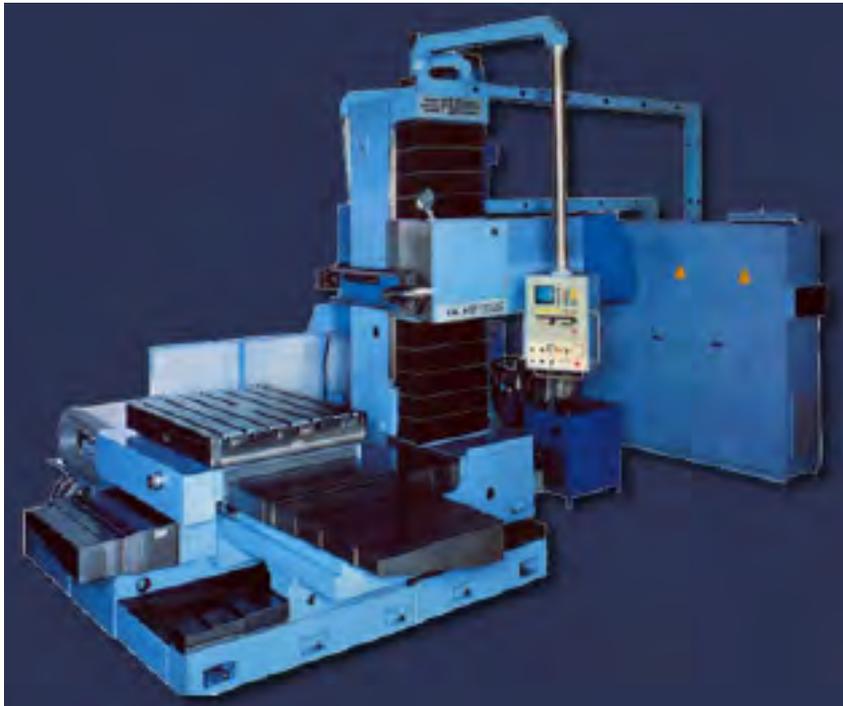
Dove il rendimento si può assumere $\eta = 0.70-0.80$

A differenza del tornio la potenza durante l'operazione non è costante ma varia in funzione sia del numero di denti in presa, sia dello spessore diverso che si trova sotto il tagliente.

La Macchina Alesatrice

Generalità sulla macchina alesatrice

L'alesatrice è una macchina di dimensioni medio-grandi in grado di lavorare pezzi di dimensioni e peso anche rilevanti, mantenendo però una precisione di lavoro notevole. Si può dire che è una evoluzione della macchina fresatrice, con una particolare attitudine alla esecuzione di forature.



La macchina è costituita da un robusto basamento sul quale scorrono il gruppo delle slitte per il posizionamento e l'orientamento della tavola portapezzo nel piano orizzontale e quindi slitta longitudinale, slitta trasversale e tavola girevole.

Su un lato della macchina si trova il montante, lungo le cui guide verticali scorre la testa motrice con il suo motore che fornisce il moto al mandrino.

Su alcune macchine un po' datate, all'altra estremità, può trovare alloggio, sulle guide longitudinali del basamento, un contromontante dotato di un supporto il cui

asse è perfettamente allineato col mandrino. Su questo asse può ruotare una robusta barra portautensili denominata “bareno” e utilizzata per alesature di lunghi e grossi diametri.

Il moto di lavoro rotatorio è posseduto dal mandrino; il moto di avanzamento può essere affidato all’utensile che quindi fuoriesce per un certo tratto, oppure alla tavola portapezzo.

Il moto di registrazione e di alimentazione verticale (es. per spianare una superficie verticale) è affidato alla testa motrice che scorre sulle guide del montante. I moti orizzontali trasversale e longitudinale sono posseduti dal pezzo tramite le slitte.

Le macchine odierne sono tutte a controllo numerico per la facilità e rapidità di gestione delle lavorazioni. Queste possono essere di foratura, alesatura, maschiatura, singole o multiple, nonché fresature di superfici secondo qualsiasi angolazione.

Per quanta riguarda le velocità di taglio di foratura, alesatura e fresatura si fa riferimento a quelle usate nelle specifiche macchine con gli stessi utensili.

La Macchina Stozzatrice

Generalità sulla stozzatrice

E' una macchina a moto rettilineo alternativo che avviene in verticale. In genere il movimento è ottenuto attraverso un meccanismo di biella-manovella. Viene essenzialmente utilizzata per compiere lavorazioni interne previa operazione di foratura tale da permettere all'utensile di entrare. Il basamento è dotato di una tavola che possiede le due traslazioni e la rotazione.

La testa può anche ruotare di 45° nei due sensi.

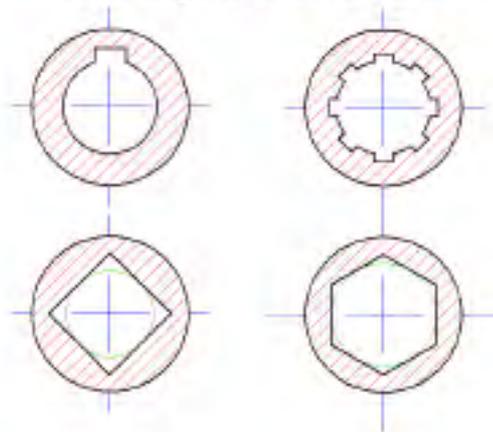


La macchina è abbastanza semplice poco costosa ed assai diffusa nelle officine. Con essa si eseguono sagomature interne su fori passanti, ma è l'unica macchina che consente di fare sagomature anche su fori ciechi.

Le sagomature devono essere eseguite una per volta per cui nell'esempio di lavorazione in figura solo il primo non necessita di rotazione del pezzo. Ciò comporta tempi di lavorazione piuttosto lunghi per cui non è indicata per lavorazioni di serie.

Nelle officine è assai diffusa per l'esecuzione di cave per chiavette e linguette sui mozzi delle ruote.

Esempi di sagomature eseguibili con stozzatrice



La Brocciatrice

La brocciatrice: macchina e lavorazioni

La **brocciatrice**, è una macchina utensile che lavora per asportazione di truciolo, realizzando la lavorazione tramite un utensile detto broccia, costituito da una serie di taglienti che rimuovono progressivamente il materiale dalla superficie del pezzo. Le brocciatrici possono essere per interni o per esterni, ed a struttura orizzontale o verticale.

Le brocciatrici per interni servono a realizzare fori di geometria fissata a partire da fori preesistenti. La broccia è fornita di più serie di denti di sporgenza crescente, in modo da asportare progressivamente il materiale dalla superficie interna del foro iniziale e realizzare la geometria finale desiderata. È ovviamente necessario che il foro iniziale abbia una dimensione tale da consentire l'inserimento della parte iniziale dell'utensile. Si possono realizzare fori sagomati nelle geometrie più disparate, quali fori scanalati, rigati, quadrati, esagonali, eccetera. Il moto di lavoro è fornito alla broccia, per trazione o compressione, mentre il pezzo è opportunamente fissato al banco della macchina.

Le brocciatrici per esterni servono per la lavorazione di superfici esterne. Gli utensili non hanno una forma di asta dentata come quelle per interni, ma si presentano invece come delle piastre dotate di più file di denti. Il moto di lavoro può essere fornito all'utensile o al pezzo.

Nella esecuzione di tagli di chiavette sostituisce utilmente la stozzatrice.

L'utensile broccia

Dato il costo elevato dell'utensile, con il quale si può eseguire solo la lavorazione per cui è progettata, l'operazione di brocciatura è indicata per le lavorazioni di serie.



Brocche per interni

Brocche per chiavette



La broccia è un utensile speciale, costruito appositamente per realizzare una lavorazione la cui precisione dipende dall'utensile e non dalla macchina.

La broccia per interni, la più comune, si caratterizza per avere tre parti:

- 1 il codolo anteriore formato dall'attacco e dalla guida anteriore
- 2 la dentatura che può essere suddivisa a sua volta in tre zone: per sgrossare, per semifinire e per finire
- 3 il codolo posteriore con la guida

Per progettare una broccia è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri:

- diametro del foro iniziale. Può essere il foro finito o con sovrametallo se necessita di rettifica.
- spessore del materiale da asportare ricavabile dal disegno del pezzo
- incremento dei denti: è la differenza radiale fra un dente e il suo successivo
- passo dei denti in mm $p = (1.75 \div 1.8)\sqrt{L}$ dove L(mm) è la lunghezza da brocciare
- profilo dei denti
- numero dei denti deriva dallo spessore (S) da asportare e dall'incremento

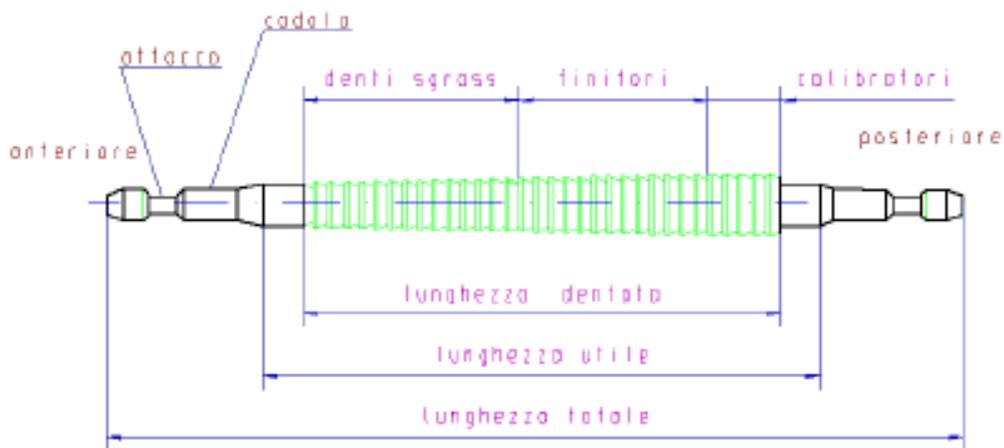
$$z = \frac{S}{i} + (5 \div 6 \text{isciatori})$$

- numero delle brocche occorrenti (la lavorazione è di serie e l'affilatura provoca la variazione del profilo e quindi della precisione, inoltre se la lunghezza dentata supera il metro la broccia si spezza in due)
- verifica della resistenza a trazione della sezione minima che è in genere l'attacco. A tale scopo si calcola lo sforzo di taglio:

$$F_t = K_s \cdot q = K_s \cdot n_z \cdot p \cdot i$$

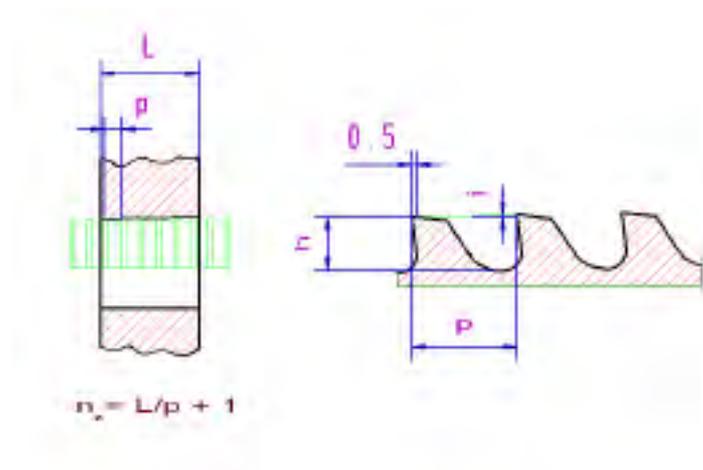
dove: K_s è la tensione di strappamento, n_z il numero dei denti contemporaneamente in presa,

- p è il perimetro di taglio e i è l'incremento
- tipo di attacco
- materiale per la costruzione: in genere acciai superrapidi, ma per brocche di grosse dimensioni i denti sono in placchette riportate di carburi
- lubrificazione è continua ed abbondante (tranne che per le ghise)
- lunghezza totale della broccia: $L_t = p \cdot (z+5) + 250$ dove con 250 mm abbiamo stimato le lunghezze degli attacchi e dei codoli
- altezza del dente: $h = (0.4-0.5) p$



Indicazioni per la scelta degli incrementi

Acciai dolci e semiduri	0.03-0.08 mm
Acciai duri e extraduri	0.02-0.05 mm
Ghise e bronzi teneri	0.08-0.15 mm
Ghise e bronzi duri	0.05-0.12 mm
Ottoni e alluminio duro	0.10-0.20 mm



Parametri di taglio e tempo di lavorazione

La velocità di brocciatura è piuttosto bassa per due motivi, innanzi tutto perché deve durare senza affilatura per 15000-20000 pezzi, in secondo luogo perché la velocità di taglio corrisponde alla velocità di avanzamento e quindi essendo molto alta comporta tempi di lavoro ridottissimi.

Con brocche in acciaio super rapido si ha:

- acciai: da 2.5 a 4 m/1'
- ghise : da 1.5 a 2 m/1'
- ottoni e bronzi: 6 m/1'
- leghe leggere: 10 m/1'

Il tempo di lavoro si calcola: $t = \frac{C}{V}$

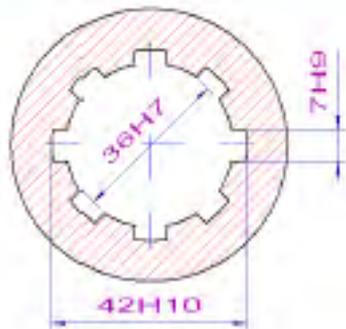
dove: $C =$ lunghezza della broccia + lunghezza di bocciatura + extracorsa

La potenza di brocciatura è data da: $P = F_t \cdot V$

Esempio

Progettare la broccia in acciaio HS per eseguire il profilo scanalato a disegno di un mozzo di ruota dentata larga $L=30$ mm : Materiale $R_m 850$ N/mm² bonificato.

Profilo scanalato UNI 8953 7x36x42 NT serie media



Le Dentatrici

Generalità sul taglio delle ruote dentate

Abbiamo visto che le ruote dentate possono essere realizzate sulle fresatrici, ma vedremo che tale operazione, anche per produzioni di piccolissima serie non è conveniente sia in termini di tempo sia come precisioni ottenibili.

Infatti per valutare il tempo di esecuzione sulla fresatrice occorre considerare, oltre al tempo macchina vero e proprio, tutti i movimenti senza asportazione di truciolo derivanti sia dall'uso del divisore sia dai ritorni a vuoto dopo aver eseguito il vano di ogni dente.

Nelle dentatrici i tempi passivi sono ridottissimi, inoltre la generazione della ruota dentata avviene per una combinazione di moti che simula l'ingranamento fra utensile e pezzo generando il cosiddetto taglio per involuppo.

Il moto di taglio è posseduto sempre dall'utensile, il moto di alimentazione è posseduto da entrambi. Il taglio per involuppo offre vari vantaggi rispetto al taglio sulla fresatrice; su questa macchina infatti il taglio del materiale avviene singolarmente vano per vano, mentre nella dentatrice la dentatura si sviluppa contemporaneamente su tutto il pezzo e quindi si ottiene una precisione più elevata, inoltre occorre un solo utensile per modulo indipendentemente dal numero di denti della ruota, a differenza della fresatrice, in quanto la forma del dente è determinata dal moto di involuppo stesso.

Richiami sulle ruote dentate cilindriche

Il dimensionamento delle ruote dentate è modulare, ossia è determinato da un numero razionale " il modulo m " che si ottiene in funzione della coppia che deve trasmettere la ruota e del materiale con cui è realizzata.

Quindi elementi caratteristici di una ruota dentata sono: il modulo, il numero dei denti z e l'angolo di pressione θ (rappresenta la direzione della forza che si trasmettono le due ruote quando il contatto è sulla circonferenza primitiva).

Passo :	$p = m \cdot \pi$
Diametro primitivo:	$d_p = m \cdot z$
Diametro esterno:	$d_e = d_p + 2m = m \cdot (z + 2)$
Diametro interno:	$d_i = d_p - 2 \cdot 1.25m$
Altezza del dente:	$h = m + 1.25m = 2.25m$

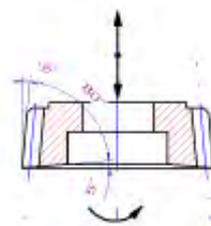
Nelle ruote elicoidali compare l'angolo di inclinazione dell'elica β quindi abbiamo un passo circonferenziale, un passo normale e il passo dell'elica.

Passo elicoidale:	$p_e = \pi \cdot d / \operatorname{tg}\beta$
Passo circonferenziale:	$p_c = m_c \cdot \pi$
Passo normale:	$p_n = p_c \cdot \cos\beta = m_n \cdot \pi$
Diametro primitivo:	$d_p = m_c \cdot z$
Diametro esterno:	$d_e = d_p + 2m_n$
Diametro interno:	$d_i = d_p - 2 \cdot 1.25m_n$
Altezza del dente:	$h = m_n + 1.25m_n = 2.25m_n$

Dentatrice Fellows

La dentatrice Fellows si caratterizza per avere l'utensile a forma di ruota dentata di modulo uguale a quella da costruire, ovviamente di materiale duro (HS) e dotato di angoli di spoglia.

Da notare che con questo tipo di utensile è possibile tagliare sia dentature esterne come dentature interne.



Utensile a coltello Fellows per ruote a denti dritti



Il moto di lavoro è rettilineo alternativo ed è posseduto dall'utensile. Se l'ingranaggio è elicoidale al moto rettilineo si sovrappone una piccola rotazione che dà luogo ad un moto rettilineo alternato elicoidale.

Il moto di generazione del profilo dei denti è realizzato dalla contemporanea rotazione della ruota e dell'utensile.

Il moto di registrazione (penetrazione iniziale di tutta l'altezza del dente fino al

contatto delle circonferenze primitive) è in genere posseduto dal pezzo.
Durante la corsa di ritorno l'utensile si allontana dal pezzo di alcuni decimi per evitare lo sfregamento contro la superficie lavorata.
La lavorazione ha termine quando il pezzo ha compiuto un giro completo.



Moderna dentatrice Fellows
a controllo numerico

Il tempo di lavoro può valutarsi con la formula:

$$t = \frac{7,5 \times m \times z \times c}{1000 \times V_t \times a}$$

dove:

- m è il modulo della ruota
- z è il numero dei denti
- c la corsa che fa l'utensile
- a l'avanzamento a corsa sul diametro primitivo (0,10-0,20mm/corsa)
- V_t è la velocità di taglio ($V_t = 20-25$ m/1' per acciai $V_t = 50-60$ m/1' per alluminio)

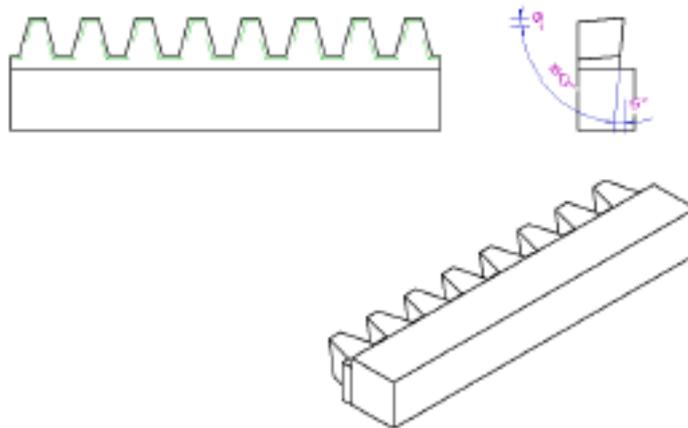


Dentatrice Fellows che esegue una ruota dentata
tipo "Michelin" a doppia inclinazione

Dentatrice Maag

Si caratterizza perché l'utensile impiegato per ricavare i denti è costituito da una dentiera con un numero limitato di denti rettilinei che viene comunemente detto "pettine".

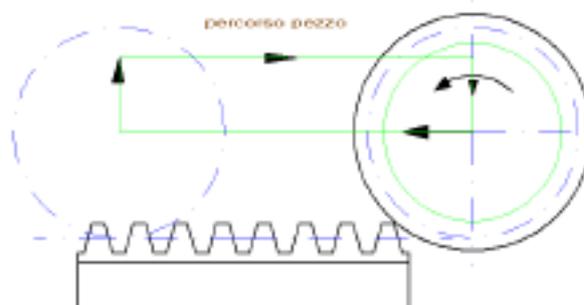
Anche in questo caso con un pettine di determinato modulo si possono tagliare ruote di qualsiasi numero di denti purchè dello stesso modulo.



L'utensile possiede il moto di lavoro rettilineo alternativo e per la peculiarità dell'utensile può solo effettuare il taglio di dentature esterne.

Anche in questo caso il moto di registrazione porta a contatto la retta primitiva del pettine con la circonferenza primitiva della ruota, dopodiché la ruota inizia un lento movimento di roto-traslazione (rotolamento) durante il quale i denti del pettine penetrano nella ruota asportando il materiale che corrisponde ai vani della dentatura.

Essendo il numero dei denti del pettine limitato (in genere inferiore a 10) è necessario al termine della sua corsa utile riportarlo indietro, dopo aver fermato la rotazione e disimpegnato la ruota, per un numero intero di passi. Quindi il ciclo ricomincia e la lavorazione termina quando la ruota ha effettuato un giro completo.



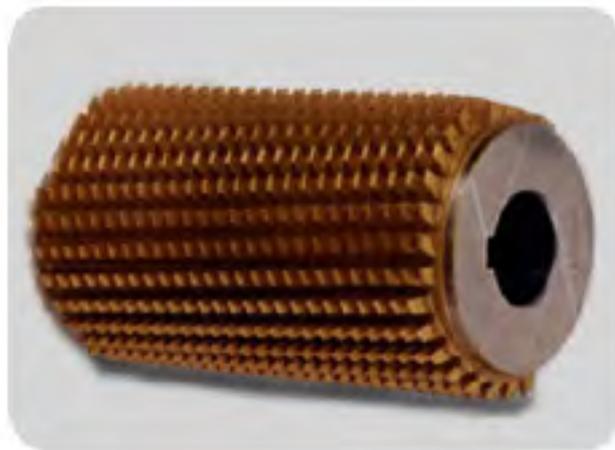
Il moto di stozzatura avviene in una sola delle 4 fasi del ciclo compiuto dal pezzo, cioè inizia quando è avvenuta la fase di accostamento.

Dentatrice a creatore Pfauter

Il taglio dei denti con creatore è basato sullo stesso principio del taglio a involuppo, a differenza delle precedenti dentatrici il moto di lavoro (taglio) è rotatorio e non rettilineo alternativo.

L'utensile denominato creatore è una fresa ricavata da una vite il cui filetto ha un profilo di tipo modulare il cui passo $P = \pi m$.

Il materiale del creatore può essere metallo duro o acciaio HS in genere rivestito.



Le facce di taglio dei denti del creatore risultano dal taglio di canali elicoidali perpendicolari ai filetti, ossia inclinati dell'angolo della vite rispetto all'asse della stessa.

Il creatore ricava i denti della ruota ingranando con essa.

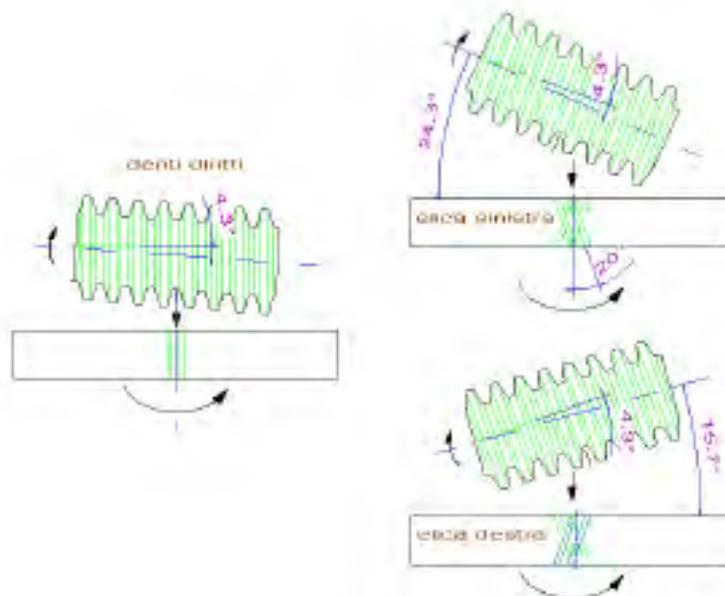
Se si tagliano denti dritti il creatore deve avere il proprio asse inclinato dell'angolo di inclinazione dell'elica, intorno al quale possiede il moto di lavoro. Contemporaneamente il creatore inizia la discesa con lento movimento di avanzamento.

La ruota da intagliare ruota ingranando con il creatore, quindi i suoi giri sono in relazione al rapporto di trasmissione. Se il creatore ha un solo principio fa z -giri mentre la ruota compie un giro (z è il numero dei denti sulla ruota).

$$R = \frac{i}{z} = \frac{n^{\circ} \text{principicreatore}}{n^{\circ} \text{dentiruota}}$$



Per dentare le ruote cilindriche a denti elicoidali, l'asse del creatore deve essere inclinato di un angolo pari alla somma delle inclinazioni delle due eliche se la dentatura è sinistra, pari alla differenza fra l'angolo dell'elica della ruota e l'angolo dell'elica del creatore se la dentatura è destra.



Con la dentatrice a creatore si possono eseguire le ruote dentate per viti senza fine. Questa lavorazione è assai diversa dalla classica, in quanto il creatore, se cilindrico, ha avanzamento solo radiale (a tuffo nella ruota) se, con imbocco conico, l'avanzamento è tangenziale alla ruota. In ogni modo il creatore deve essere eguale come diametro e modulo alla vite che dovrà ingranare con la ruota da costruire.

Velocità di taglio e avanzamenti per creatori in acciaio superrapido				
Materiale in lavorazione	Sgrossatura		Finitura	
	V_t (m/min)	a_s (mm/giro-ruota)	V_t (m/min)	a_s (mm/giro-ruota)
Acciaio $R_m < 700\text{N/mm}^2$	30 - 40	0.8 - 1.2	40 - 60	0.3 - 0.8
Acciaio $R_m > 700\text{N/mm}^2$	20 - 30	0.6 - 0.8	30 - 40	0.2 - 0.5
Ghisa HB < 180	40 - 50	0.6 - 1.2	50 - 60	0.3 - 0.6
Ghisa HB > 180	30 - 40	0.4 - 1.2	40 - 50	0.2 - 0.5
Bronzo e ottone	50 - 60	0.6 - 1.2	60 - 80	0.2 - 0.6
Leghe leggere	150 - 200	1.6 - 2.4	200 - 250	0.5 - 1.2

Finitura delle ruote dentate

La finitura delle ruote dentate è assai diversa a seconda dell'impiego dell'ingranaggio; ci sono situazioni di impiego che non richiedono nessuna finitura a seguito della dentatura, altre invece richiedono finiture più o meno accurate. Ad esempio ingranaggi per argani di sollevamento per cantieri non richiedono finitura, mentre le ruote di un cambio di velocità per auto richiedono non solo precisioni accurate ma anche silenziosità di ingranamento.

Naturalmente ingranaggi che non richiedono prestazioni elevate in termini di precisione, velocità e rumorosità possono ottenersi direttamente da acciai bonificati, mentre per impieghi più sofisticati è consigliabile dentare lasciando un piccolo sovrametallo, eseguire il trattamento termico (in genere superficiale) e successivamente eseguire la finitura.

Sbarbatura o rasatura

Questa semplice operazione si fa per asportare le eventuali bave e per meglio rifinire il profilo del dente guadagnando anche silenziosità.

L'utensile sbarbatore ha la forma di una ruota dentata avente i fianchi dei denti intagliati da scanalature parallele che realizzano gli spigoli taglienti.



L'utensile ingrana con la ruota ad alta velocità con assi leggermente sghembi per creare lo sfregamento che asporta minuscoli trucioli e la lisciatura del pezzo. L'operazione si fa con abbondante lubrificazione e termina in pochi minuti si esegue prima del trattamento termico.

Rodaggio

Il rodaggio è un metodo semplice per ottenere una super finitura per una coppia di ruote che durante la loro vita ingraneranno sempre fra di loro quindi, nel caso una delle due si rendesse inutilizzabile, deve essere sostituita la coppia (esempio la coppia ipoidale nel differenziale dell'auto). Il metodo è adottato per trasmissioni veloci e riduce gli attriti e la rumorosità.

Il processo non asporta truciolo; si esegue facendo ingranare la coppia per alcuni minuti ad alta velocità e versando olio contenente in sospensione polvere abrasiva finissima sui denti che ingranano. La finitura corrisponde ad una lappatura.

Rettifica

Il sistema più impiegato è quello che utilizza due mole a disco che lavorano in contemporanea due fianchi del dente uno destro e uno sinistro su denti vicini. I fianchi attivi delle mole rappresentano i fianchi immaginari del dente con il quale ingrana la ruota da rettificare, quindi ruota e mole hanno movimenti di rotazione oscillante, le mole poi percorrono con moto parallelo all'asse la lunghezza dell'ingranaggio. Una variante a questo metodo è la raschiatura in cui si aggiunge il moto di entrata e uscita delle mole a disco.

Questa lavorazione permette una più efficace lubrificazione dell'area di contatto.

L'operazione di rettifica si può eseguire anche con mole profilate e quindi con il metodo di involuppo usato per il taglio ad esempio mole aventi la forma del creatore senza però l'intaglio dei denti. Le rettifiche sono previste di dispositivi automatici che provvedono a compensare il consumo e periodicamente a ricreare il profilo consumato con diamantatura.

La Rettificatrice

La rettifica

La rettifica è l'operazione mediante la quale si asporta materiale sotto forma di minutissimi trucioli da un pezzo, mediante un utensile abrasivo particolare detto "mola". L'operazione è particolarmente usata per lavorare i pezzi dopo il trattamento di tempra.

La mola è quindi costituita da un miscuglio di sostanza abrasiva più legante che ha il compito di fissare e tenere assieme i granelli di abrasivo.

Elementi caratteristici delle mole

- La forma della mola dipende dalla lavorazione a cui è destinata (mola a disco, a tazza cilindrica o conica, a bisello, etc.)
- Le dimensioni caratteristiche: diametro esterno, spessore e diametro del foro di attacco
- La specifica della mola che ne determina le caratteristiche: abrasivo, grana, durezza, struttura, agglomerante

Abrasivo

E' la sostanza fondamentale in quanto esercita direttamente l'azione di asportazione del truciolo. Alcuni abrasivi più comuni:

- naturali: diamante, corindone, quarzo, silice
- artificiali: diamante artificiale, ossido di alluminio (A-alundum), carburo di silicio (C-carborundum), carburo di boro e nitrato di boro (CB-borazon).

Grana

E' la dimensione media dei grani componenti l'abrasivo. Misurandosi con un setaccio, più è alto il numero delle maglie più è fine la grana. E' evidente che le grane più fini sono indicate per finiture e le grane più grandi per sgrossature.

- molto grossa da 6 a 12
- grossa da 14 a 24
- media da 30 a 60
- fine da 70 a 120
- molto fine da 150 a 140
- finissima da 320 a 500

Durezza

La durezza non ha nessun rapporto con la durezza dell'abrasivo, ma misura la capacità dell'agglomerante a tenere più o meno i granelli di abrasivo. Una mola tenera è quindi una mola che cede più facilmente i granuli abrasivi, quindi è più indicata per lavorare materiali duri, mentre una mola dura che trattiene più a lungo i granelli abrasivi è indicata per lavorare materiali più dolci.

- molto tenere: D – E – F – G
- tenere: H – I – J – K
- medie: L – M – N – O in neretto le più usate
- dure: P – Q – R – S
- durissime: T – U – W – Z

Struttura

E' la distanza media che intercorre fra i granuli abrasivi. La struttura può essere aperta (porosa) quando le distanze sono abbastanza elevate, la struttura è chiusa se i granelli sono assai ravvicinati. La struttura aperta si impasta meno e quindi riesce a scaricare meglio il truciolo. La struttura si esprime con un numero convenzionale:

- chiusa: da 1 a 4
- media: da 5 a 8
- aperta: da 9 a 12
- molto aperta: da 13 a 16
- superporosa: da 17 a 20

Agglomerante

E' il materiale che tiene assieme i granelli abrasivi e il modo con cui li circonda determina la porosità . Si distinguono tre gruppi di abrasivi:

- minerali: vetrificato (V), ceramico (V), silicato (S), magnesiaco (O)
- organici o resinoidi: gomma e gomma lacca (R)
- metallici: bronzo e lega bianca

La disgregazione dell'agglomerante che ovviamente è meno duro dell'abrasivo, determina nel tempo delle superfici della mola leggermente irregolari per cui si ricorre alla diamantatura che consiste nel far sfregare la mola in rotazione contro una bacchetta metallica alla cui estremità è incastonato un diamante artificiale. In questo modo si ricreano anche profili complessi seguendo il percorso di una sagoma tramite un copiatore.

Esempio di classificazione di una mola: **32 A 46 M 6 V**

Mola con: 32 tipologia dell' abrasivo indicazione facoltativa del costruttore, A abrasivo in Alundum (ossido di alluminio), grana 46 (media), durezza M (media) struttura 6 (media), agglomerante V (vetrificato)

Generalità sulle macchine

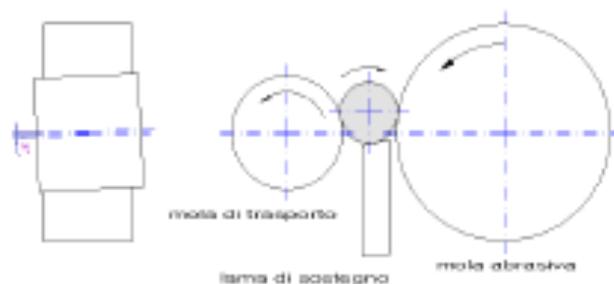
Oggi le rettificatrici sono a controllo numerico e in genere universali per gestire al meglio tutte le lavorazioni e i rispettivi movimenti. Il grado di automazione viene scelto in base alle necessità dell'utilizzatore, comunque il sistema controlla tutti gli assi, la gestione delle velocità della mola e del pezzo in base alle dimensioni, la programmazione degli avanzamenti e la diamantatura della mola secondo il profilo richiesto.

Un tipo particolare di rettificatrice è la rettifica senza centri, particolarmente usata nelle lavorazioni in serie di pezzi cilindrici, comunque a diametro costante anche se con presenza di gole. La particolarità della lavorazione è l'assenza di punte da centro per sostenere il pezzo che risulta libero assialmente.

Si distinguono: la mola abrasiva che compie il lavoro di rettifica; la mola di trasporto posta di fronte alla mola abrasiva; la lama che sostiene il pezzo in lavorazione permettendogli la rotazione e lo spostamento.

Nell'operazione di rettifica, il pezzo avanza fra la mola operatrice e la mola di trascinamento entrando da un lato della zona di lavoro ed uscendone dal lato opposto. Il pezzo ruota e si sposta contemporaneamente in senso longitudinale, scorrendo sulla lama. Lo spostamento longitudinale del pezzo è ottenuto inclinando la mola di trasporto usualmente di 2-3°. Se i gradi sono più elevati, maggiore risulta la velocità di avanzamento del pezzo.

L'asportazione del materiale avviene progressivamente durante l'avanzamento assiale del pezzo.



Parametri tecnologici di lavorazione

Nella tabella seguente forniamo alcune utili indicazioni sulle scelte dei parametri di taglio, la lettera **b** indica la larghezza della mola.

Velocità, avanzamenti e prof. di passata nella rettificazione						
Rettifica cilindrica						
Materiale del pezzo	Velocità di rotazione del pezzo (m/1')		Profondità di passata (mm/corsa andata e ritorno)		Avanzamento assiale (mm/giro pezzo)	
	sgrossatura	finitura	sgrossatura	finitura	sgrossatura	finitura
Acciaio	9-12	12-14	0.01-0.04	0.001-0.01	$\cong \frac{1}{4}b$	$\cong \frac{2}{3}b$
Ghisa	14-16	16-18	0.02-0.06	0.01-0.02	$\cong \frac{3}{4}b$	$\cong \frac{2}{3}b$
Leghe alluminio ottoni - bronzi	16-20	20-25				
Rettifica piana						
	Velocità di avanzamento longitudinale			Profondità di passata		
Acciai/ghise	5-30 m/1'			0.01-0.06		
Materiali non ferrosi	10-40 m/1'					

Come detto in precedenza la velocità massima della mola è prescritta dal costruttore ed è indicata sulla etichetta, di seguito diamo alcuni valori indicativi per tali velocità ricordando che solo per questa macchina utensile le velocità sono espresse in m/sec:

- | | |
|---|---------------------------------|
| - agglomerante magnesiaco o silicato | 20 m/sec mole di forma 15 m/sec |
| - agglomerante ceramico (ossido di alluminio) | 25 m/sec mole di forma 20 m/sec |
| - agglomerante a base di resine sintetiche | 30 m/sec mole di forma 25 m/sec |

Project Management

Con l'espressione project management (in italiano **gestione di progetto**) si intende l'insieme di attività volte alla realizzazione degli scopi/obiettivi di un progetto.

Secondo il PMBOK (pubblicato dal PMI) il project management è l'applicazione di conoscenze, attitudini, tecniche e strumenti alle attività di un progetto al fine di conseguirne gli obiettivi.

La collocazione in un arco temporale finito distinguono il progetto dai processi operativi di un'azienda (le cosiddette attività di routine) che sono invece permanenti o semi-permanenti e sono diretti a produrre in modo ripetitivo lo stesso prodotto o servizio. Proprio la diversa natura di queste attività richiede lo sviluppo di filosofie, attitudini e approcci diversi per la loro gestione.

La sfida principale del project management è quella di raggiungere gli obiettivi del progetto restando all'interno del perimetro costituito dai classici vincoli determinati dal contesto del committente, solitamente il costo, il tempo e lo scopo (nel senso anche della qualità). La sfida secondaria - ma non meno ambiziosa - è quella di ottimizzare l'allocazione delle risorse e integrare gli input necessari a raggiungere gli obiettivi definiti. Queste sfide infine devono essere portate avanti risolvendo i problemi e mitigando i rischi che ciascun progetto, in misura diversa, troverà comunque lungo la sua strada.

Cenni storici sul project management

Fondamenti di una cultura di project management si sono sviluppati fin da tempi remoti presso diverse civiltà anche geograficamente distanti e con labili legami tra loro. Le Piramidi egizie (alla piramide di Cheope lavorarono 100.000 uomini per 20 anni), il Colosseo (eretto in 10 anni) e i grandi acquedotti romani, rimangono testimonianze concrete di progetti che non avrebbero potuto essere sviluppati in assenza di una buona cultura nel campo del project management. La capacità di gestire grandi progetti venne meno nel corso della civiltà occidentale sia per il disfacimento del sistema imperiale romano, che comportò la dispersione delle capacità ingegneristiche (presenti in particolare nel genio militare delle legioni), e sia per il superamento dello schiavismo, che rendeva più difficilmente realizzabili grandi progetti per via dell'aumento dei costi causato dalla progressiva diminuzione della manodopera gratuita (facendo collassare il classico triangolo dei vincoli del project management - vedere più avanti). A riprova di come, già in tempi antichi, l'idea di gestire risorse complesse in ottica progettuale fosse diffusa e in qualche modo strutturata, è utile citare il De bello Gallico: nei paragrafi XVII, XVIII e XIX del libro IV Giulio Cesare descrive i dettagli tecnici ed organizzativi (tempi, obiettivi,

materiali utilizzati, gestione delle risorse) della costruzione di un ponte sul Reno nel corso della quinta campagna di Gallia.

In epoca moderna il project management si è sviluppato a partire da diversi campi di applicazione incluso il settore delle costruzioni, l'ingegneria industriale, la difesa (logistica e organica militare) e, in tempi più recenti, la realizzazione di software.

Uno dei contributi più precoci e più importanti venne dato dall'ingegnere statunitense Henry Gantt, che introdusse nei primi anni del XX secolo una tecnica di pianificazione ricordata ancora oggi con il suo nome (Diagramma di Gantt) tuttora parte essenziale di ogni attività di pianificazione, a suo tempo sviluppata da Gantt per supportare l'introduzione delle teorie di Taylor di cui fu importante collaboratore. Sulla base del suo lavoro sono nati successivamente altri fondamentali concetti ampiamente usati nelle prassi di project management, come quello di allocazione delle risorse e quello di Work Breakdown Structure (WBS), utilizzato per rappresentare la struttura delle attività di un progetto.

Nel corso della Seconda guerra mondiale e nel periodo successivo presero luce i primi veri e propri progetti strutturati secondo una concezione moderna del project management. Il Progetto Manhattan, lanciato dal governo degli U.S.A. con l'obiettivo di realizzare per primo armi nucleari in anticipo rispetto agli sforzi in corso da parte del governo nazista, è riconoscibile come il primo grande progetto organizzato secondo un modello scientificamente somigliante ai grandi progetti attuali. Il fisico Robert Oppenheimer che ne venne nominato direttore nel 1942, sfruttando la sua abilità organizzativa (nonché ovviamente la sua profonda conoscenza teorica degli argomenti trattati) riuscì a dare una forma organizzativa e una profonda motivazione a tutto il team di progetto (vi lavorarono per diversi anni circa 700 persone). Oltre ai diagrammi di Gantt e altre tecniche e strumenti informali, negli anni successivi al 1950 vennero sviluppate altre importanti tecniche: il PERT (Program Evaluation and Review Technique) sviluppato dalla società Booz Allen Hamilton per il progetto di sviluppo del missile Polaris da parte della Marina statunitense (in collaborazione con la Lockheed Corporation) e il CPM (Critical Path Method) sviluppato congiuntamente da DuPont Corporation and Remington Rand Corporation per gestire i progetti di manutenzione degli impianti industriali. Negli anni successivi queste tecniche si diffusero largamente e velocemente nel mondo industriale.

Il project management moderno è una cultura che viene soprattutto dall'esperienza derivante dalla gestione di progetti complessi. Tra i primi a sottolineare questo approccio sia come Project Manager che come consulente delle maggiori Società, Imprese e Committenti è stato Russell D. Archibald.

L'ingegneria gestionale si evolse e, grazie al lavoro pionieristico di Hans Lang e altri, vennero sviluppate tecnologie per la stima dei costi di progetto e per la gestione dei costi. Nel 1956 venne fondata la "American Association of Cost Engineers" (ora

AACE International - "Association for the Advancement of Cost Engineering") da parte dei primi cultori del project management e delle prassi correlate (pianificazione, stima dei costi, controllo di progetto costi/pianificazione).

Nel 1969 venne fondato il Project Management Institute (PMI) con l'obiettivo di diffondere e rafforzare le prassi di project management attraverso l'affermazione di uno standard, sulla base della convinzione che i diversi campi di applicazione del project management, dall'Edilizia alla Ingegneria del software avessero una larga base comune nelle tecnologie e nelle metodologie di gestione dei progetti. Nel 1981 il Comitato Direttivo del PMI autorizzò lo sviluppo della Guida al "Project Management Body of Knowledge" (altrimenti noto come PMBOK), contenente una guida completa e sintetica degli standard e delle linee guida indispensabili per le prassi di project management. L'International Project Management Association (IPMA), fondata in Europa nel 1967, ha intrapreso una direzione simile istituendo l'IPMA Competence Baseline (ICB). Entrambe le organizzazioni stanno partecipando ora allo sviluppo di uno standard ISO per il project management.

Il ruolo del Project Manager

La gestione di un progetto è solitamente demandata a un project manager, che a volte partecipa direttamente alle attività che lo compongono, ma principalmente si focalizza nel coordinamento e nel controllo delle varie componenti e dei diversi attori coinvolti con l'obiettivo di minimizzare la probabilità di insuccesso.

Al completamento del progetto di solito il prodotto o servizio realizzato vengono presi in carico da una figura operativa diversa, tipicamente il Product Manager o il Service Manager.

In progetti di grande respiro, l'attività di project management può essere delegata a più persone: si realizza quindi un gruppo di project management. Comunemente nel gruppo esiste un leader che viene comunque chiamato project manager, a questo si affiancano altre persone che si occupano delle attività di management di parti del progetto secondo una vista per componenti del sistema o per aree specifiche. Questi vengono detti talvolta task manager.

Concetti e tecniche fondamentali

Premesso che sia a livello internazionale che in Italia circola una quantità notevole di metodologie e di tecniche correlate alla teoria e alla prassi del project management, esistono dei concetti e delle tecniche fondamentali ricorrenti nella maggior parte degli approcci esistenti.

Stima di un progetto

La stima dimensionale di un progetto è una delle prime attività cruciali da cui dipende il successo del progetto e la sorte del project manager. Esistono molteplici tecniche per quantificare i tempi e i costi necessari a realizzare un progetto o, se si vuole, la sua durata. Nei progetti complessi, al fine di rendere il più possibile oggettiva e affidabile la stima, è fortemente raccomandabile produrre almeno due stime indipendenti possibilmente prodotte con tecniche diverse, provvedendo poi a effettuare una riconciliazione che produca una convergenza. La durata del progetto naturalmente dipende dalla struttura della pianificazione adottata, in particolare dal grado di parallelismo tra le attività che compongono il progetto, parallelismo a sua volta dipendente dal numero di risorse impiegate. I passi comuni alla maggior parte delle tecniche di pianificazione prevedono di:

- identificare le attività elementari (task) necessarie a produrre i deliverable associati a ciascun elemento della Work Breakdown Structure (WBS) e le loro dipendenze;
- rappresentare la scomposizione dei task in un diagramma di Gantt, mettendo in evidenza le interrelazioni tra i diversi elementi del progetto (macro-attività o work packages, task e output) in una scala temporale;
- valorizzare la quantità di lavoro necessaria (il cosiddetto effort) a completare ciascun task, determinando la tipologia di risorse (umane e non) necessarie alla loro realizzazione;
- calcolare i tempi di realizzazione di ciascun task in base al numero di risorse a loro assegnate;
- determinare i costi del personale per la realizzazione di ciascun task moltiplicando la quantità di lavoro (effort) stimato per i costi medi delle tipologie di risorse individuate; aggiungere i costi degli altri materiali e/o servizi necessari;
- determinare il percorso critico in base alle dipendenze esistenti dentro la WBS;
- calcolare il tempo totale (il cosiddetto elapsed) sommando i tempi di tutti i task che si trovano all'interno del percorso critico;
- determinare il costo totale sommando i costi (personale + materiali + servizi) di tutti i task.

Questo procedimento è reso molto più semplice dagli strumenti di controllo della pianificazione disponibili, che consentono di rappresentare la struttura dei task associati alla WBS, visualizzare il diagramma di Gantt e cercare il miglior assetto del piano che ottimizzi l'utilizzo delle risorse e minimizzi i rischi presenti nella pianificazione, con il vincolo di restare all'interno del tempo di realizzazione richiesto dal committente.

Il Triangolo dei vincoli di progetto

Al pari di ogni altro sforzo umano, anche i progetti vengono realizzati e rilasciati in un contesto sottoposto a determinati vincoli. Tradizionalmente questi vincoli vengono elencati come **scopo/qualità, tempo e costo/risorse**. Spesso viene usata l'immagine del **triangolo del project management** (dove ogni lato rappresenta un vincolo), per rappresentare la loro correlazione: ciascun vincolo non può essere cambiato senza impattare sugli altri due, ovvero ciascun parametro è funzione degli altri due. Un'ulteriore variante di questo sistema dei vincoli separa la "qualità" (o le 'prestazioni') dallo "scopo", trasformandolo in un tetraedro con quattro vincoli correlati tra loro.

Il vincolo tempo indica la quantità di tempo disponibile per completare il progetto. Il vincolo costo/risorse rappresenta il budget disponibile per il progetto e al tempo stesso l'insieme delle risorse a disposizione del progetto (è evidente la correlazione diretta tra costo e risorse assegnate). Il vincolo scopo/qualità rappresenta quanto deve essere fatto per conseguire i risultati attesi dal progetto sia in termini di requisiti che di criteri di qualità/performance. Questi tre vincoli sono strettamente correlati: incrementare lo scopo tipicamente significa aumentare i tempi e i costi/risorse del progetto; ridurre i tempi spesso richiede costi più alti (risorse più grandi) e/o uno scopo più ristretto; un budget risicato (meno risorse) può implicare tempi più lunghi e/o una riduzione dello scopo.

È proprio la teoria del project management che fornisce gli strumenti e le tecniche che consentono al team di progetto di organizzare il proprio lavoro all'interno di questo sistema di vincoli ottimizzando il tutto.

Una rappresentazione alternativa dei vincoli consiste nello scegliere come variabili il costo, il tempo e le risorse umane. Se occorre finire un progetto in un tempo minore si possono aumentare le persone assegnate, il che aumenterà anche i costi per il probabile aumento di inefficienza nell'allocazione delle risorse.

Tempo

Le dipendenze tra i task interni e quelle dagli eventi esterni (es: la fornitura di prodotti o materiali che servono da input a determinati task) possono impattare sulla durata del progetto, introducendo spesso nei progetti reali la necessità di rivedere la pianificazione precedente. Un altro classico fattore che impatta sui tempi riguarda la disponibilità delle risorse, piuttosto che l'assunzione (in fase di stima) di produttività/performance significativamente diverse da quella effettiva del team reale. Nella maggior parte dei progetti medio-grandi la misurazione dell'avanzamento, il controllo e l'adattamento del piano fanno parte delle attività periodiche di routine del project manager. Il Tempo non è considerato un costo né una risorsa, dato che il

project manager non può controllare la velocità con cui trascorre; questo ne fa la differenza fondamentale con gli altri vincoli.

Costo/Risorse

I costi necessari a sviluppare un progetto dipendono principalmente da diverse variabili: quantità e qualità delle risorse assegnate, costi del lavoro, costi dei materiali e/o dei servizi acquistati esternamente, gestione dei rischi (es: quanto viene speso/accantonato per mitigare i principali rischi), costi di controllo e amministrazione del progetto, impianti e strumenti a disposizione, rivalutazione dei costi (in caso di progetti pluriennali), costi indiretti.

Scopo/Qualità

Lo scopo del progetto, ossia i risultati che devono essere prodotti, è fortemente correlato alla qualità e/o alle performance di quanto deve essere rilasciato. La qualità prodotta rappresenta l'accuratezza con cui i risultati conseguiti sono aderenti ai requisiti concordati, nel senso che soddisfano completamente i requisiti richiesti ed eventualmente aggiungono ulteriore valore per il committente. Per garantire un'aderenza soddisfacente (zero sorprese) è necessario investire uno sforzo maggiore nella fase di ingaggio del progetto, arrivando a definire con la maggior precisione possibile i requisiti e i criteri di accettazione che dovranno essere utilizzati per valutare i risultati prodotti (caratteristiche e performance).

Articolazione delle attività di project management

Il project management si articola in diversi tipi di attività:

1. Analisi e definizione degli obiettivi e degli eventi che li pilotano (i cosiddetti compelling events)
2. Pianificazione del lavoro in funzione degli obiettivi
3. Individuazione e controllo dei Rischi (Risk Management)
4. Valutazione e pianificazione delle risorse necessarie
5. Allocazione/disallocazione delle risorse
6. Organizzazione del lavoro e dei processi
7. Acquisizione delle risorse umane e dei materiali necessari
8. Assegnazione dei task
9. Direzione e coordinamento delle attività
10. Misurazione dell'avanzamento del progetto (Metriche di progetto)
11. Analisi dei risultati ottenuti sulla base dei fatti e delle informazioni raccolte
12. Definizione e controllo delle azioni correttive necessarie con rimessa del progetto in assetto con gli obiettivi
13. (Ri) previsioni tempi, costi e altri indicatori del progetto
14. Gestione della qualità
15. Gestione e soluzione dei problemi

16. Assicurazione della qualità (riduzione al minimo delle non conformità)
17. Identificazione, gestione e controllo delle variazioni di scopo (change request o change control)
18. Chiusura del progetto e disallocazione delle risorse
19. Gestione dell'accettazione dei risultati prodotti
20. Comunicazione di progetto (che in realtà inizia dal punto 2) oppure dissemination
21. Notifica dei risultati ottenuti ai committenti

A queste si affiancano le attività trasversali che sottendono all'applicazione delle cosiddette "Soft skill", meno tecniche e più orientate alla motivazione dei gruppi di lavoro e al rapporto interpersonale.

Obiettivi del Progetto

Gli obiettivi del progetto definiscono i risultati da raggiungere alla fine del progetto, risultati necessari per il conseguimento dei benefici attesi dai committenti. Gli obiettivi possono essere formulati nel modo migliore verificandone l'aderenza ai requisiti indicati dall'acrostico SMART (traducibile dall'inglese come "intelligente", "furbo"):

- **Specifico/Semplice** (ossia ben definito e chiaramente comprensibile)
- **Misurabile** (o per lo meno valutabile) nella sua raggiungibilità
- **Accettabile** (nel senso di "considerato raggiungibile" dalle persone coinvolte nel progetto)
- **Rilevante** (ossia importante per il committente, al punto di affidare un mandato chiaro e forte a coloro che hanno responsabilità nel progetto)
- **Tempificato/Tracciabile** (nel senso che deve essere conseguito entro una data certa e poter essere tracciato nel suo avanzamento)

La misurazione (o valutazione) del raggiungimento di un obiettivo può/deve essere accertata alla fine del progetto. Tuttavia una continua vigilanza attiva sul progresso verso ciascun obiettivo dovrebbe essere monitorata e valutata periodicamente nel corso del progetto.

La comunicazione di progetto, da non confondere con la comunicazione al committente dei risultati del progetto, è un processo diretto a fare comprendere gli obiettivi e valorizzare contenuti del progetto presso una quantità di pubblici diversi e differenziati. Ad es. promuovere il progetto, le sue finalità e l'organizzazione che lo realizza, presso i Media (ufficio stampa), presso target interni (top management, financing, comunicazione corporate ecc.) o utilizzarne i valori per il marketing aziendale.

Variabili di controllo del progetto

La disciplina del project management ha tra i propri principali obiettivi quello di tenere sotto controllo le variabili del progetto, costituite dalle variabili già descritte nella sezione triangolo dei vincoli di progetto a cui si aggiungono i rischi.

Il rischio può essere definito come una potenziale causa di fallimento del progetto o, in altre parole, un evento potenzialmente in grado di mettere a repentaglio il raggiungimento degli obiettivi del progetto. La maggior parte dei rischi con impatti negativi può essere risolta (o per lo meno mitigata) intervenendo nella pianificazione del progetto e disponendo di maggior tempo e/o maggiori risorse. Secondo alcune definizioni (inclusa la terza edizione del PMBOK) un rischio può essere classificato anche come positivo nel senso che ad esso può essere associato una potenziale opportunità (ad es: completare il progetto prima del previsto, per via di una immissione di risorse aggiuntive o di una sua semplificazione). I committenti di un progetto a volte possono imporre in corsa un peggioramento sulle tre variabili del triangolo: tempi, costi/risorse, scopo/qualità. Le restanti variabili, i rischi appunto, devono essere gestite dal team di progetto ed in primis dal project manager, mediante una stima iniziale solida e accurata e l'utilizzo di tecniche di pianificazione efficienti e reattive. Sia la determinazione di queste variabili (tempi, costi/risorse, scopo/qualità) sia l'approccio da utilizzare verso i rischi di progetto, di solito vengono fissati attraverso un processo di negoziazione tra le parti che si riflette nel contratto iniziale (formale o informale che sia).

Un buon project manager, oltre alla profonda conoscenza di queste variabili, di solito ha una buona esperienza anche nei processi di integrazione, comunicazione, gestione delle risorse umane, assicurazione della qualità (Quality Assurance), pianificazione e gestione degli acquisti (Procurement).

Sistemi di project management

I sistemi utilizzati per la gestione di un progetto, pur essendo funzionali agli approcci di project management utilizzati, hanno (almeno parzialmente) caratteristiche in comune che possono essere utilizzati da approcci diversi. Seguendo l'approccio tradizionale lo sviluppo di un progetto include cinque componenti: le quattro fasi di sviluppo più il controllo.

La fase di controllo di un progetto viene realizzata attraverso l'implementazione di un sistema di controllo diretto a governare un insieme di aspetti che include (non necessariamente tutte le variabili elencate) i costi, i rischi, la qualità, le comunicazioni, i tempi, le risorse umane, le variazioni di scopo, la gestione degli acquisti. Un sistema di controllo accurato richiede la definizione e gestisce la misurazione di un opportuno insieme di indicatori (ad es: Earned Value) rivolto a tenere sotto controllo e prevedere l'andamento delle principali variabili sopra

indicate; questi indicatori, in parte standard e in parte definibili in base alla specifica natura del progetto, fanno parte delle Metriche di progetto.

A prescindere dalla maggior parte delle metodologie usate, lo sviluppo di un progetto può essere articolato in diverse fasi:

- allestimento e avviamento (o start-up), diretto a determinare la natura e lo scopo del progetto;
- pianificazione e progettazione, diretta a organizzare i tempi e i rilasci dei deliverable e identificare i requisiti del progetto;
- esecuzione (o produzione dei risultati), che consiste nella realizzazione dei processi necessari a soddisfare i requisiti del progetto;
- monitoraggio e controllo del progetto, diretto a osservare e misurare l'esecuzione del progetto (tramite gli indicatori definiti nelle Metriche di progetto) in modo da identificarne per tempo i rischi e i potenziali problemi e intraprendere, quando necessarie, le azioni correttive volte a rimettere il progetto in linea con i propri obiettivi;
- completamento e rilascio dei risultati, diretto a formalizzare l'accettazione dei deliverable rilasciati e l'esecuzione di tutte le attività "amministrative" indirizzate a chiudere tutte le pendenze.

Classificazione dei Sistemi Produttivi

Introduzione

Gli studi della letteratura economico-aziendale di questi ultimi anni si sono rivolti in particolare alla visione dell'impresa per processi. Accanto alla visione tradizionale per funzioni si è scoperta l'importanza che riveste un'organizzazione per processi nel conseguimento di obiettivi di efficacia ed efficienza dell'azienda, in termini sia di maggiore soddisfazione dei clienti che di riduzione dei costi e quindi di creazione di valore. Una gestione per processi con orientamento al cliente, valorizzazione delle risorse umane presenti in azienda e una continua tensione all'innovazione, rappresentano aspetti chiave per essere competitivi rispetto alla concorrenza. Il cambiamento organizzativo, e cioè il passaggio dall'organizzazione per funzioni a quella per processi, è un momento molto delicato dato che non solo rivoluziona il modo di "lavorare" in azienda, ma ha anche un impatto culturale non indifferente, soprattutto se tale cambiamento è accompagnato pure dall'introduzione di strumenti informatici.

L'organizzazione di successo è quella "vicina al cliente", cioè in grado di fornire elevate prestazioni agli acquirenti di prodotti e servizi, in termini di costi, tempi e qualità. Ciò richiede un'adeguata gestione aziendale per processi. Ma che cos'è un processo aziendale?

Possiamo definire un processo come "un insieme organizzato di attività e di decisioni, finalizzato alla creazione di un output effettivamente domandato dal cliente, e al quale questi attribuisce un valore ben definito".

I processi sono quindi delle "aggregazioni di attività finalizzate al raggiungimento di uno stesso obiettivo"; per esempio tutte le attività svolte per trasformare le materie prime in prodotti finiti costituiscono il processo di produzione. Ogni processo si caratterizza per l'utilizzo di input, e cioè di risorse in entrata o di partenza, e la produzione di output come risultato delle attività di quel processo; nell'esempio precedente le materie prime costituiscono parte degli input del processo di produzione mentre i prodotti finiti ne costituiscono l'output.

L'output di un processo può poi costituire l'input di un processo successivo così come l'input di un processo può essere l'output di quello precedente. Da quanto detto si può rilevare come all'interno dell'azienda stessa esista una catena di clienti-fornitori da soddisfare. Il cliente infatti, non necessariamente deve essere esterno, e cioè acquirente di beni e servizi in cambio di denaro, ma può essere altresì un'unità organizzativa dell'impresa stessa che utilizza il risultato finale di un processo come input necessario per lo svolgimento di altri processi aziendali. Le materie prime, per

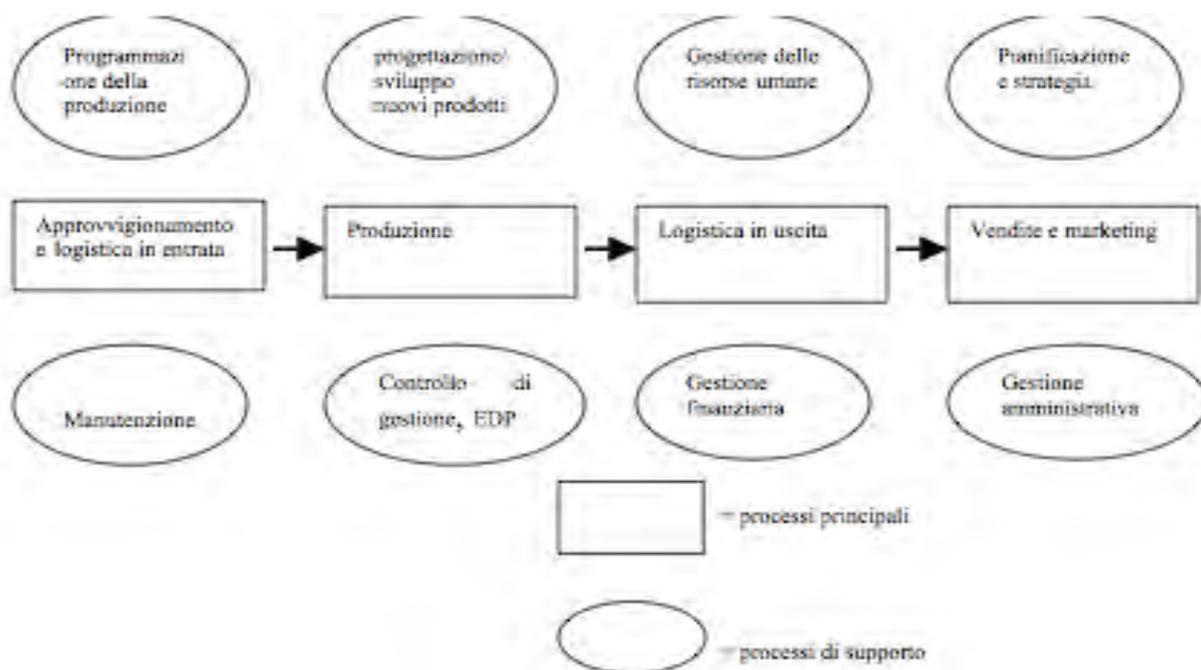
esempio, possono essere l'output del processo di approvvigionamento ma sono l'input di quello di produzione. Quindi riassumendo, il processo non è altro che una catena di attività attraverso le quali, partendo da determinati input, si ottengono gli output voluti.

Le attività che costituiscono un processo, e quindi il processo stesso, sono caratterizzate da tre elementi fondamentali:

- **costo** delle attività, e quindi del processo;
- **tempo** di svolgimento delle attività, per giungere dagli input del processo al suo risultato finale comprendendo gli eventuali tempi morti tra un'attività e l'altra;
- **qualità** dell'output finale, che risulta dalla qualità di esecuzione delle attività del processo.

Questi elementi costituiscono una misura dell'efficacia ed efficienza con cui si svolge il processo: tanto minori sono i costi e i tempi impiegati per ottenere i risultati voluti e tanto maggiore è la loro qualità, allora tanto più positivo risulterà il giudizio su quel determinato processo. Un processo che possiede queste caratteristiche è un processo che crea valore perché è in grado di soddisfare le esigenze dei propri clienti; “a fronte del costo sostenuto, del tempo impiegato e del livello qualitativo raggiunto dalle attività di un processo, esso offre al cliente un beneficio superiore alle risorse impiegate, che si traduce nella corresponsione di un prezzo adeguato”. Il concetto di creazione di valore è così importante che alcuni autori lo richiamano direttamente nella definizione di processo; M. Hammer e J. Champy definiscono i processi come “un insieme di attività che richiede uno o più input e crea un output che ha valore per il cliente”; e ancora C. Armistead e P. Rowland: “i processi formano delle reti in cui le attività di un certo processo servono ad aggiungere valore agli input derivanti dal processo precedente”.

Secondo Porter i processi possono poi essere distinti in due tipologie: processi primari e secondari. Quelli primari sono così chiamati perché creano direttamente un valore riconosciuto dal cliente esterno; tali processi sono sostanzialmente quello della produzione, logistica e vendita. Quelli secondari o di supporto invece sono così detti perché servono per la realizzazione dei processi primari ma non creano di per sé un valore riconosciuto dal cliente esterno, il loro cliente è sostanzialmente interno, generano costi e solo indirettamente benefici; esempi ne sono l'amministrazione, la finanza, la pianificazione, ecc.). Tanti altri autori hanno poi elaborato altre classificazioni dei processi ma in generale tutti concordano nell'individuare due gruppi principali di processi: uno racchiude i processi che si occupano dell'acquisto, trasformazione e vendita, e l'altro comprende tutti quelli di ausilio ai precedenti.



Impostare l'organizzazione aziendale, e quindi la sua struttura, sulla base dei processi contrasta con l'oramai storica organizzazione per funzioni. Le funzioni, infatti, sono aggregazioni di uomini e mezzi necessari per lo svolgimento di attività della stessa natura, quindi una struttura organizzata per funzioni significa che le attività simili, che assolvono cioè la stessa funzione, che richiedono le stesse competenze e che utilizzano lo stesso tipo di risorse e di tecnologie, vengono raggruppate in un'unità organizzativa sotto un'unica responsabilità; esempi ne sono la funzione acquisti, vendite, produzione, amministrativa, ecc. ...

L'intera azienda viene dunque suddivisa in unità organizzative funzionali ciascuna delle quali potrà poi suddividersi in reparti e o uffici a seconda delle esigenze; ad esempio la funzione amministrativa si può suddividere in ufficio contabilità, ufficio clienti, ufficio fornitori, ecc., mentre la funzione produzione può suddividersi in reparto assemblaggio, reparto confezioni, reparto controllo qualità, e via dicendo.

Ma qual è allora la relazione tra "funzione" e "processi"? Da quanto detto in precedenza si dovrebbe intuire che mentre le funzioni raggruppano attività che hanno la stessa natura, i processi sono formati da attività anche di diversa natura ma che sono finalizzate al raggiungimento dello stesso output. Da ciò si può affermare dunque che i processi aziendali "tagliano trasversalmente" le strutture organizzative e questo perché richiedono il contributo di diverse unità funzionali: un processo "attraversa" più funzioni o analogamente più funzioni concorrono alla realizzazione di un unico processo.

Il valore aggiunto, per l'impresa, nell'utilizzare una visione per processi piuttosto che per funzioni risiede sostanzialmente nell'obiettivo generale di creazione del valore che, come afferma Guatri, significa "accrescere la dimensione del capitale economico, cioè il valore dell'impresa come investimento". In sintesi, una visione per processi sembra facilitare la realizzazione di obiettivi di profitto, di monitoraggio più efficace delle performance di costo, tempo e qualità; tali meccanismi di controllo

infatti consentono di far funzionare meglio i processi creando soddisfazione al cliente e quindi valore per l'impresa.

Da una parte, infatti, si crea soddisfazione nel cliente attraverso l'offerta di beni o servizi che hanno o un prezzo più competitivo a parità di qualità, o una maggiore qualità a parità di prezzo, garantendo una riduzione del tempo di evasione dell'ordine. Questo risultato è raggiungibile solamente se tutte le attività svolte dall'impresa sono efficienti e soprattutto coordinate tra loro; questo significa che deve esserci efficienza dei processi trasversali: l'impresa risulta in grado di soddisfare il proprio cliente solo nella misura in cui può garantire un livello accettabile di efficienza e coordinamento di tutti i processi aziendali.

Dall'altra, una visione per processi consente di identificare più efficacemente le responsabilità nei confronti del cliente esterno e della direzione aziendale e questo grazie alla presenza di una figura responsabile del processo e quindi dei risultati attesi da un insieme di attività appartenenti a più funzioni.

Nella realtà concreta però, non si verifica una completa sostituzione tra i due tipi di struttura, ma piuttosto coesistono: rimangono le funzioni con unità organizzative e metodologie tipiche della visione per processi. Questo succede perché una struttura funzionale consente di identificare con chiarezza i vari settori dell'azienda e quindi i ruoli e la posizione gerarchica che ogni soggetto ricopre; dà un maggiore senso di sicurezza e stabilità rispetto alla struttura per processi. Il compito maggiore è quindi quello di cercare il giusto equilibrio tra le due strutture affinché possano produrre i vantaggi sperati.

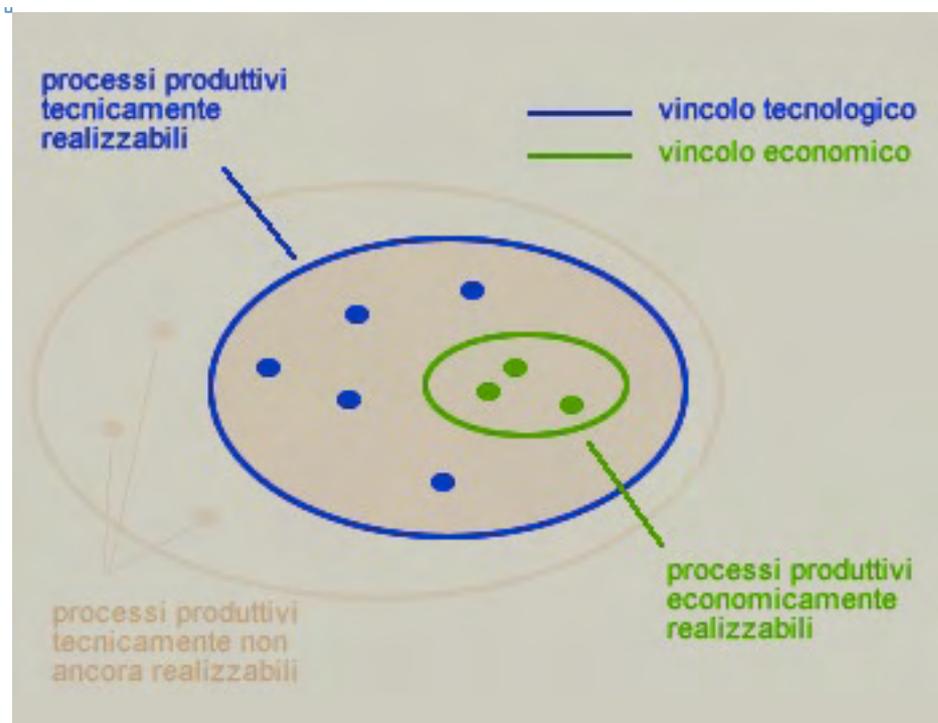
PROCESSO PRODUTTIVO

Il **processo produttivo** è un procedimento tecnico per realizzare un determinato prodotto. Consiste in una serie sequenziale di operazioni che permettono la lavorazione e la trasformazione degli input di produzione al fine di ottenere un prodotto finale. Le operazioni del processo produttivo possono essere compiute dall'uomo (lavoro), da sistemi meccanici-automatici o da combinazioni di entrambi (uomo + macchina). I processi produttivi sono fortemente legati alla conoscenza tecnica di un'epoca e tendono ad evolvere con il progresso scientifico. Il processo produttivo è, quindi, soltanto un modo tra tanti per produrre un determinato prodotto. La scelta di un processo produttivo piuttosto che un altro è legata sia ai vincoli economici che ai vincoli tecnici dell'impresa.

- **Vincolo tecnologico.** Il vincolo tecnologico consiste nei processi produttivi realizzabili sulla base delle conoscenze tecnologiche e scientifiche dell'impresa o, più in generale, dell'uomo in una determinata epoca.
- **Vincolo economico.** Alcuni processi produttivi possono essere tecnicamente realizzabili ma economicamente poco convenienti (es. fusione nucleare). Un processo produttivo economicamente non conveniente in un determinato momento temporale potrebbe diventare conveniente nel tempo col progredire

della conoscenza scientifica o con il mutare delle condizioni economico-sociali.

Generalmente, il vincolo tecnologico delimita la frontiera dell'insieme dei processi produttivi possibili mentre il vincolo economico determina il sottoinsieme dei processi produttivi fattibili. Nella figura 1 utilizziamo gli insiemi per indicare l'insieme dei processi produttivi tecnicamente realizzabili (blu) e il sottoinsieme dei processi produttivi economicamente realizzabili (verde). I processi produttivi al di fuori dell'insieme del vincolo tecnologico indica i processi tecnicamente non ancora realizzabili (grigio).



Ogni impresa¹ sceglie il processo produttivo più conveniente sulla base delle condizioni di ambiente (capitale, concorrenza, brevetti, domanda, ecc.) e delle informazioni a sua disposizione (know-how). In condizioni razionali l'imprenditore opta per il processo produttivo che consente di minimizzare i costi di produzione a parità di quantità e qualità del prodotto ottenuto o, in alternativa, di massimizzare la produzione a parità di costi. La scelta dei processi produttivi non è una decisione d'impresa di breve periodo in quanto gli investimenti per avviare un processo produttivo gli impianti (costi fissi) sono ammortizzati nel medio-lungo periodo. Nel breve periodo l'impresa può soltanto modificare il regime di utilizzo del processo produttivo (costi variabili) ossia la quantità di produzione ottenibile in ogni ciclo produttivo (output).

¹ DIFFERENZA TRA AZIENDA ED IMPRESA: l'azienda è lo strumento mediante il quale un imprenditore può realizzare le finalità di un'attività d'impresa, intese come produzione o scambio di beni e servizi.

Un processo produttivo è un particolare combinazione di input e output per la produzione di un determinato bene. La tecnologia è, invece, l'insieme di tutti i processi produttivi disponibili per la produzione di un determinato bene.

LA PRODUZIONE

La **produzione** è una attività mediante la quale sono combinati i fattori produttivi (risorse, informazioni, tecnologia, capitale, lavoro ecc.) per creare un bene o un servizio. Il processo di trasformazione ha luogo nelle imprese, che decidono sia la quantità di produzione (output) sia la modalità di produzione (processo produttivo e tecnologia). Al termine del prodotto produttivo l'impresa ha realizzato il prodotto (bene/servizio) ed utilizzato in parte le risorse iniziali. La produzione può essere descritta dal punto di vista fisico tramite la figura 2:

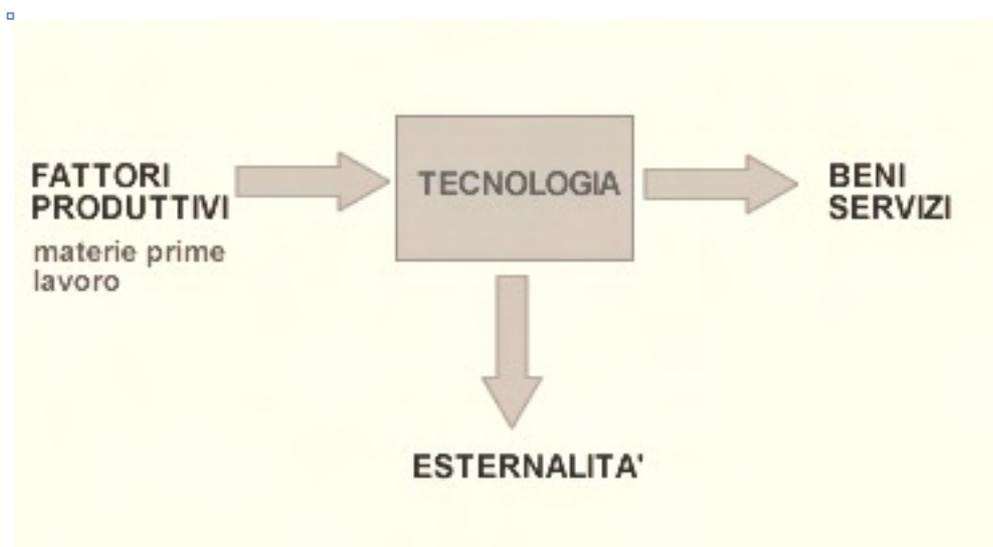


Figura 1: flusso fisico della produzione

I fattori produttivi (input) entrano nel processo per essere combinati e trasformati nel prodotto finale (output). La "scatola" al centro dello schema racchiude in sé la tecnologia e il modo di produzione prescelto dall'impresa. Una generica funzione di produzione può essere scritta nel seguente modo:

$$Y = f(L, K) \quad \text{dove } Y=\text{produzione, } L=\text{lavoro, } K=\text{capitale}$$

La **funzione di produzione** raggruppa tutti i fattori produttivi in soli due fattori: il lavoro e il capitale. Il lavoro comprende tutte quelle prestazioni umane manuali o intellettuali che contribuiscono alla produzione dei beni o dei servizi. Nel capitale sono, invece, comprese tutti i fattori diversi dal lavoro (es. macchinari, materie prime, capitale finanziario, ecc.). L'attività produttiva può essere destinata alla produzione di beni economici fisici o di servizi. Può, inoltre, essere specializzata nello scambio e

nel commercio delle merci. A seconda della tipologia del prodotto le attività di produzione sono suddivise in settori produttivi (primario, secondario, terziario).

La quantità di produzione ottenibile è determinata dal **vincolo tecnologico** dell'impresa. Ad esempio, se i macchinari di una impresa consentono produrre a pieno regime fino a 100 unità di prodotto al giorno, allora non potrà produrne di più. Per farlo dovrà aumentare i macchinari (capitale) o cambiare la tecnologia utilizzata con una più efficiente. Nel breve periodo l'impresa può modificare soltanto la leva della quantità di produzione, prendendo come dati costanti gli impianti e la tecnologia. Nel lungo periodo, invece, può cambiare anche la tecnologia e la capacità di produzione degli impianti. Come si può facilmente osservare, oltre al prodotto finale (output) la produzione genera anche delle esternalità. Con questo termine si indicano gli effetti esterni che, pur non avendo valore per l'impresa, hanno un impatto sulla società esterna. Un esempio tipico di esternalità negativa è l'inquinamento.

La produzione non è determinata soltanto dal vincolo tecnologico. In via generale, la scelta della quantità di produzione e del modo di produzione sono determinati essenzialmente dal **vincolo economico**. Il precedente schema input-output della produzione seguiva un approccio fisico. Proviamo a riscriverlo in chiave economica.

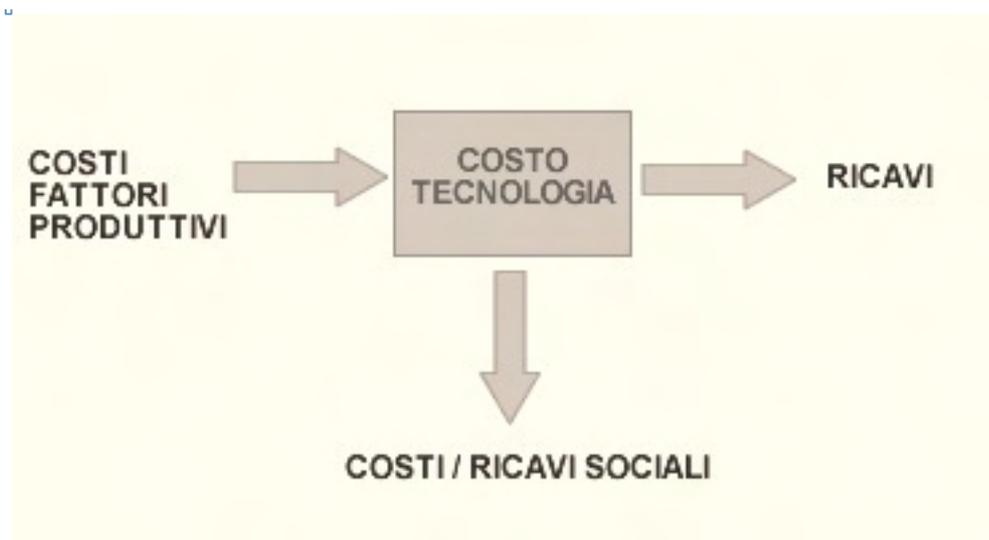


Figura 2: approccio economico del flusso produttivo

Al posto dei fattori produttivi troviamo i costi dei fattori. Ogni fattore produttivo ha un prezzo di acquisto sul mercato (salario, costo di trasporto, costo delle materie prime ecc). La stessa tecnologia ha un prezzo di acquisto in termini di know-how, di ricerca e di capitale investito. In un mercato concorrenziale l'impresa dovrà scegliere la tecnologia, il mix dei fattori produttivi e la quantità di produzione facendo sempre in modo che i ricavi totali siano superiori ai costi totali. Ciò significa che la produzione dovrà essere venduta sul mercato in quantità sufficiente per coprire i costi della produzione. In questa ottica l'impresa dovrà agire sulla produzione tenendo in conto la domanda di mercato e la concorrenza. Concludiamo evidenziando come nel

secondo schema abbiamo sostituito il termine esternalità con costi e ricavi sociali. Una esternalità negativa, ad esempio l'inquinamento, è un costo per la società (costo sociale). Anche se l'impresa che lo causa non lo considera tale, il costo sociale entra a far parte dei costi di produzione di altre imprese o delle famiglie. L'inverso accade con le esternalità positiva ed i ricavi sociali.

Classificazione dei sistemi di produzione

Sono possibili diverse modalità di classificazione dei sistemi di produzione.

Esse dipendono dallo scopo per cui tale classificazione viene effettuata, quindi dalla prospettiva secondo cui ci si pone.

Vale rilevare che: un sistema produttivo reale contiene spesso aspetti riconducibili a diverse classificazioni; i diversi sottosistemi possono essere differenti (ad esempio, una linea di fabbricazione all'interno di un reparto job shop).

Le diverse tipologie produttive hanno comunque un significato strategico, in quanto:

- Dipendono dal mercato di riferimento;
- Dipendono dalle tecnologie;
- Dipendono dalle scelte strategiche dell'impresa.

Criteri base per la scelta dei sistemi produttivi

I criteri che guidano la scelta di un sistema produttivo (SisP) sono riconducibili ad alcune dimensioni principali che permettono di focalizzare l'attenzione su aspetti specifici. Si osservi che le alternative possibili dovrebbero essere analizzate secondo ciascuna prospettiva, tenuto conto del fatto che esse presentano mutue relazioni: effettuare una scelta con riferimento ad una di esse determina inevitabilmente delle conseguenze nelle altre, ad esempio ponendo dei vincoli in termini di fattibilità tecnica e/o convenienza economica (Sipper e Bulfin, 1997). Si dovrà poi tenere conto del fatto che spesso le azioni strategiche sono portate in un sistema preesistente e dunque la scelta di un SisP è influenzata, almeno in una prima fase temporale, da scelte precedenti.

Una prima dimensione riguarda il progetto del prodotto e il livello di qualità progettato. Il progetto del prodotto configura i processi necessari per l'ottenimento del prodotto a partire da materiali e componenti; esso ha quindi ricadute sia sotto l'aspetto tecnologico che gestionale. La qualità progettata può essere effettivamente ritrovata nel prodotto solo tenendo conto delle caratteristiche e delle prestazioni ottenibili dal processo di produzione. Il sistema di qualità potrà presentare quindi un'articolazione diversa in funzione della configurazione del sistema.

Un'altra dimensione concerne le caratteristiche del mercato e la flessibilità ritenuta necessaria per poter competere efficacemente. Si devono in particolare considerare la variabilità di volumi prevedibile e le possibili dinamiche riferite alle preferenze dei clienti: sia la personalizzazione dei prodotti che quella dei servizi connessi (ad esempio, la gestione dell'ordine) incidono decisamente sulla configurazione del SisP.

Processi flessibili richiedono, tra l'altro, impianti e macchine flessibili e operatori adattabili a compiti diversi.

Certi criteri di scelta dipendono da aspetti legati a quantità e capacità²: è naturalmente diverso progettare un prodotto e un processo per la realizzazione di una o di molte unità. Ciò naturalmente dipende direttamente sia dalle caratteristiche del prodotto sia da quelle della domanda. Le quantità di prodotto richieste e il processo produttivo scelto (anche nel caso di prodotti particolari - ad esempio di grandi dimensioni e complessi - si ha in genere la possibilità di valutare più alternative tecnologiche e gestionali) influenzano la capacità richiesta e la possibilità di sfruttare più o meno intensamente tale capacità.

Vi sono poi due dimensioni riferibili in modo diretto al concetto di supply chain e che quindi assumono particolare importanza da un punto di vista della logistica del SisP. In primo luogo il coinvolgimento del cliente che dipende non solo dalla personalizzazione del prodotto e dal livello di servizio che l'impresa intende offrire, ma anche dalla sua strategia di business in termini di costituzione di solide relazioni di fornitura. In ogni caso, questo aspetto ha forti ricadute al di fuori della produzione, dovendo coinvolgere altre funzioni quali il marketing, la progettazione ecc.. Considerando invece le relazioni con i fornitori, la seconda dimensione concerne le decisioni make or buy. Anch'essa ha forti ricadute al di fuori della funzione produzione e riguarda quindi il SisP "allargato" dell'impresa.

² La capacità produttiva di una macchina viene valutata attraverso il rapporto tra il numero di unità di prodotto generate ed un intervallo di tempo preso come riferimento. Si esprime quindi di solito in unità di prodotto all'ora oppure al minuto. C'è una distinzione tra capacità produttiva **teorica** e capacità produttiva **effettiva**. La capacità produttiva teorica viene definita in relazione ad una situazione ideale in cui la macchina opera con continuità su tutto l'intervallo di tempo considerato, quindi senza arresti, producendo unità di prodotto che sono tutte accettabili, cioè senza scarti. Si deve aggiungere che molte macchine possono operare a velocità variabile, quindi occorre tenere conto che la produzione teorica ottenibile dipenderà dalla velocità effettiva a cui la macchina è fatta operare rispetto a quella massima possibile. La capacità produttiva effettiva, ovviamente inferiore a quella teorica, è conseguenza di due fattori principali: - nell'intervallo di tempo preso a riferimento l'attività della macchina subisce normalmente delle interruzioni, sia per cause accidentali che per motivi funzionali, che comportano una riduzione del tempo effettivo di produzione e quindi del numero di unità di prodotto effettivamente generate; - alcune delle unità di prodotto generate possono essere non rispondenti ai requisiti richiesti, quindi devono essere scartate e non possono essere conteggiate nella valutazione del risultato produttivo; inoltre è possibile che la macchina lavori a vuoto, cioè sia in funzione ma non riesca a generare unità di prodotto in uscita (battute *a vuoto*).

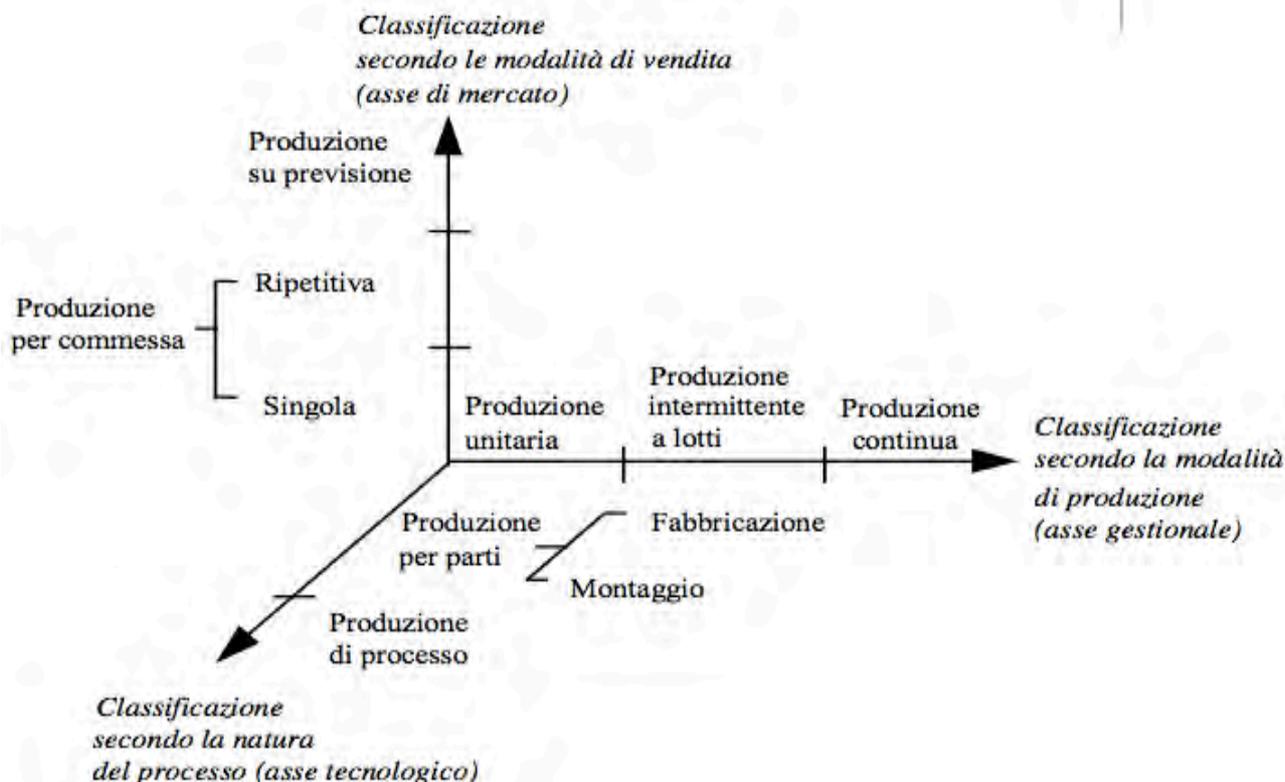


Figura 3: Classificazione a tre assi

I principali sistemi di classificazione dei SisP: i primi tre derivano dalla possibilità di classificarli considerando tre “assi” legati rispettivamente alle modalità di soddisfacimento della domanda (asse del mercato), di realizzazione della produzione (asse gestionale) e alla natura del processo produttivo (asse tecnologico), come mostrato in figura 4 (Brandolese e altri, 1991). L’ultimo costituisce una sintesi dei primi due tra i precedenti (figura 5 secondo la classificazione di Wortmann).

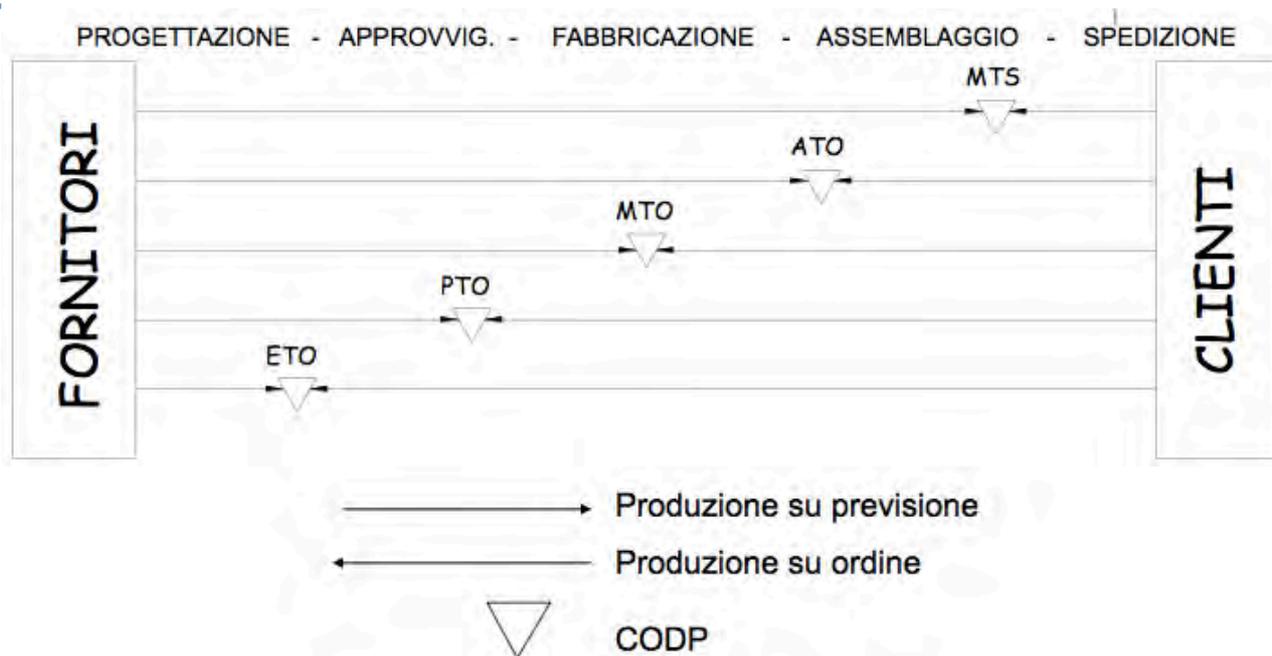


Figura 4: Classificazione di Wortmann