



gd

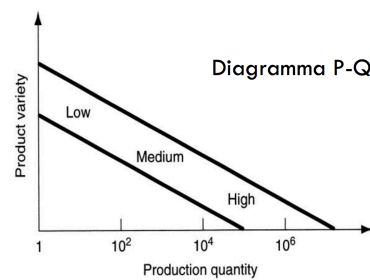
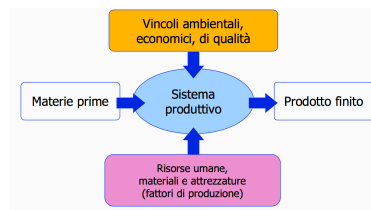
Gabriele Dragotto
gabriele.dragotto@studenti.polito.it

Sistemi di produzione

Modulo A - Materiali

PROCESSO PRODUTTIVO

Il processo produttivo industriale è l'insieme delle attività tecnologiche e organizzative necessarie per trasformare **materiali in prodotti** o beni economici



Vi sono 4 tipi differenti di **order fulfillment**

- ENGINEER TO ORDER
- MAKE TO ORDER
- MAKE TO STOCK
- DIGITAL COPY

Vi sono 3 **production methods**

- JOB PRODUCTION
- BATCH PRODUCTION
- MASS PRODUCTION

GLOBALIZZ. NEI SP

A seguito della globalizzazione alle aziende è richiesta **flessibilità e innovazione del prodotto**:

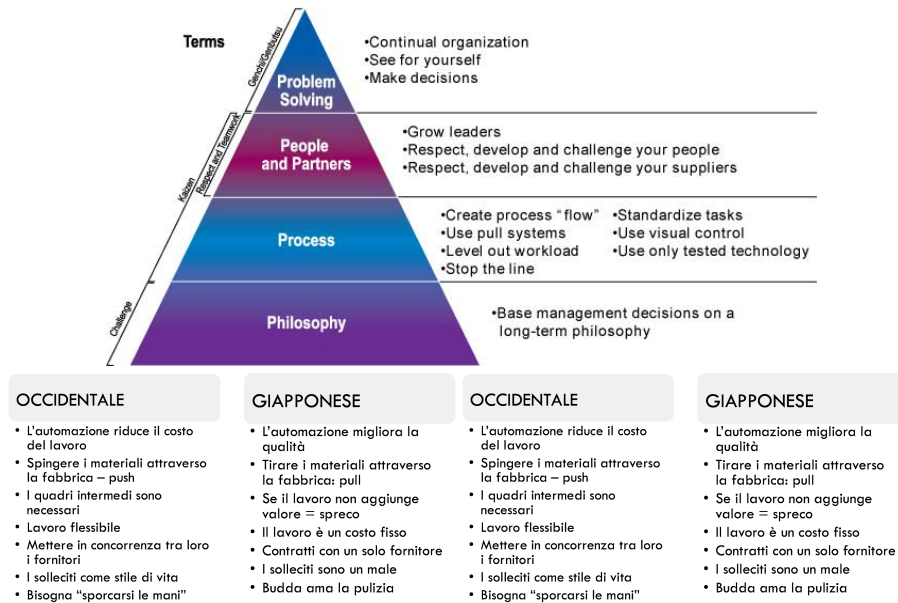
- QUALITA'
- DIVERSIFICAZIONE
- RIDUZIONE TIME-TO-MARKET
- RIDUZIONE PRODUCT-LIFETIME
- COMPETITIVITA'
- CALO DOMANDA

FATTORI COMPETITIVI

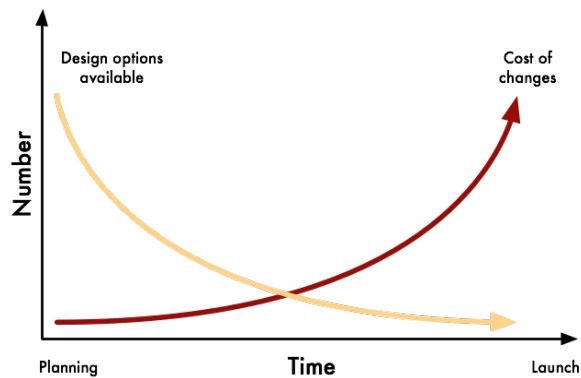
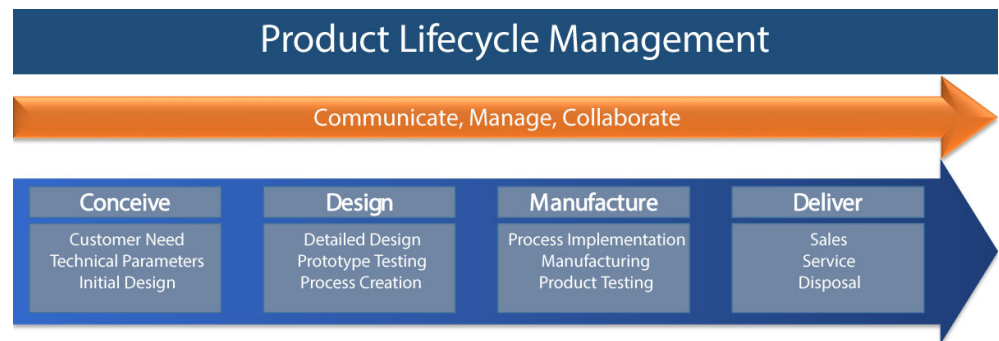
Le aziende sono condizionate principalmente da **4 fattori competitivi**. Un'azienda che è nella media **non può sopravvivere**:

- QUALITA'
- SERVIZIO
- INNOVAZIONE
- COSTI

FILOSOFIA TOYOTA



CICLO DI VITA DEL PRODOTTO



AUTOMAZIONE

Il termine automazione identifica la **tecnologia** che usa **sistemi di controllo** per gestire **macchine e processi**, riducendo la necessità dell'**intervento umano**

- INTEGRAZIONE ATTIVITA'
- UNIFORMITA' QUALITA'
- CONTROLLO E PIANIFICAZIONE
- RIDUCE ERRORE UMANO
- RIDUCE INFORTUNI

Vi sono **2 tipi di automazione**:

- **RIGIDA**
Richiede alti investimenti e si adatta a **grandi volumi**.
- **FLESSIBILE**
Richiede **moderati investimenti** ed è maggiormente **programmabile**.

CIM

La produzione integrata di fabbrica o **Computer Integrated Manufacturing** è l'integrazione automatizzata tra i vari settori di un sistema di produzione (progettazione, ingegnerizzazione, produzione, controllo della qualità, pianificazione della produzione e marketing) **al fine di minimizzare i tempi di sviluppo di un prodotto**, ottimizzare la gestione delle risorse ed eventualmente essere flessibili per coprire quanto più possibile il mercato.

- PRODOTTI BREVE LIFETIME
 - FLESSIBILITA'
 - RIDUZIONE TIME-TO-MARKET
 - INCREMENTO QUALITA'
 - OTTIMIZZAZIONE COSTI
- Tramite l'ottimizzazione di **materiali e mano d'opera**

Vi sono **diverse tecnologie coinvolte**

- **CAD** Computer aid design
- **CAPP** Computer aid process planning
- **FMS** Flexible manufacturing system
- **CAIP** Computer aid measurement
- **ERP**

CONCURRENT ENGINEERING

Il **concurrent engineering** è un insieme organico di metodologie, tecniche e strumenti che consente un approccio alla progettazione integrata di un prodotto e del relativo processo produttivo.

RIDUZIONE T-T-M

- TEAMWORK EFFICIENTE
- OPERATIVE PROCEDURES
- STRUMENTI INTEGRABILI
- **MULTIDISCIPLINARITA'**

GRANO CRISTALLINO

Insieme di reticoli cristallini con **il medesimo orientamento**

• DIMENSIONE DEL GRANO

Incide sulla deformabilità del materiale e sulle sue **proprietà macroscopiche**

• SOLUZIONE SOLIDA

Sostituzione quando atomi di **soluto si sostituiscono** nel reticolo cristallino.
Interstiziali se gli atomi di soluto **occupano le posizioni libere** nel reticolo.

LEGA

Una **lega** è una **combinazione** di due o di più elementi, di cui **almeno uno è un metallo** e dove il materiale risultante ha proprietà metalliche differenti da quelle dei relativi componenti.

BIN - TERN - QUAT

• SOLIDUS LIQUIDUS

Temperatura a cui inizia e finisce la fusione

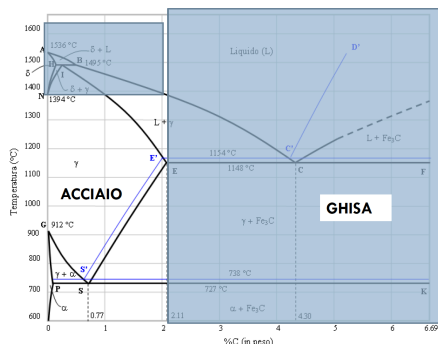
• LEGHE EUTETTICHE

Miscela di sostanze il cui **punto di fusione è più basso** di quello delle singole sostanze **che la compongono**

• EFFETTI DESIDERABILI

Termici, meccanici, e vari, ottenuti dalla miscela dei metalli con altre elementi.

DIAGRAMMA FERRO-CARBONIO



• 0-2% (C) ACCIAI

Plasticità ottima: resilienza, malleabilità e duttilità.

Resistenza a sforzi meccanici ottima: trazione, torsione e flessione
Colabilità e saldabilità

• 2-4% (C) GHISE

Durezza ottima: compressione ed usura.

Resistenza a sforzi meccanici bassa: non adatta alla deformazione plastica e a sforzi

TRATTAMENTI TERMICI

Trattamenti sui metalli finalizzati al cambiamento delle loro **proprietà meccaniche**
CICLI TERMICI

• AUSTENITE

Soluzione solida primaria di tipo interstiziale di carbonio nel ferro **γ stabile ad alte temperature** (>723°C) con **MAX 2.026% di C a 1148°C**

A seconda della modalità di raffreddamento, l'austenite si trasforma in perlite, bainite o **martensite**.

• MARTENSITE

Le strutture martensitiche sono ottenute attraverso **un raffreddamento rapido chiamato tempra**, al fine di "congelare" una fase che è stabile ad alta temperatura ma a temperatura ambiente è instabile.

PRINCIPALI TRATTAMENTI TERMICI

• RICOTTURA

Un riscaldamento a **temperatura elevata** seguito da un **raffreddamento lento in forno e poi veloce in aria**

— **RESISTENZA** ++ **LAVORABILITA'**

• TEMPRATURA

Un riscaldamento a **temperatura elevata** è seguito da **raffreddamento rapido** in **acqua od olio**.

— **FRAGILITA'** ++ **DUREZZA RES_MECCANICA**

• REINVENIMENTO

Riscaldamento a **temperature medie (500°)** e **raffreddamento lento**.

— **FRAGILITA' DUREZZA** ++ **TENACITA'**

• BONIFICA

Tempra + Reinvenimento

• NORMALIZZAZIONE

Ad un riscaldamento a **temperature di tempra** è seguito un **raffreddamento in aria** per attenuare la durezza eccessiva conseguente al primo trattamento

— **TENSIONI** ++ **OMOGENEITA'**

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

Trattamenti localizzati sulla superficie del materiale

• RIMOZIONE

• CONVERSIONE

Aumento della resistenza alla corrosione tramite esempio **ossidazione**.

• TERMICI

tempra superficiale o aggiunta di carbonio.

SCORRIMENTO PLASTICO

Variazione della **tensione tangenziale** nello scorrimento di un piano atomico sull'altro

• DIFETTI RETICOLARI

Modificano la portata delle **forze di taglio**.

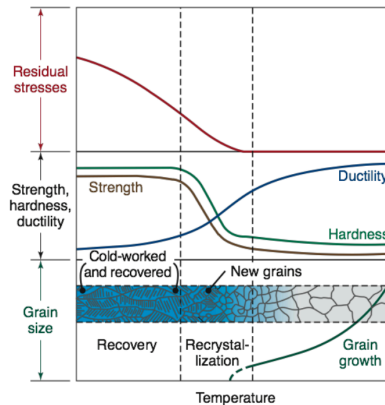
Autointerstiziale, vacanza, interstiziale, sostituzione

• SUPERFICIE NOMINALE (AREA MACROSCOPICA)

• SUPERFICIE EFFETTIVA (AREA MICROSCOPICA)

RICRISTALLIZZ.

Formazione di una **nuova struttura cristallina** senza tensioni residue, a seguito dell'esposizione a **temperature elevate**



Schematic illustration of the effects of recovery, recrystallization, and grain growth on mechanical properties and on the shape and size of grains. Note the formation of small new grains during recrystallization

ANISOTROPIA

L'anisotropia (**opposto di isotropia**) è la proprietà per la quale un determinato ente fisico ha **caratteristiche che dipendono dalla direzione** lungo la quale vengono considerate

LAVORO DI DEFORMAZIONE

In condizioni adiabatiche il calore generato provoca un **aumento di temperatura del corpo**, altrimenti viene scambiato con utensili e macchina utensile, causando **deformazioni irreversibili**

$$L = L_{unif} + L_{rid} + L_{attr}$$

$$L_{unif} = \bar{Y}\epsilon V \quad L_{attr} = \mu p S c$$

POLIMERI

Un polimero è una **macromolecola** costituita da un gran numero di **unità ripetitive o monomeri** uguali o diversi, uniti "a catena" mediante la ripetizione **dello stesso tipo di legame**

POCO_DENSI RESISTENZA RIGIDITA' BASSA_CE LAVORABILITA' RESISTENZA AGENTI CHIMICI

• CONDENSAZIONE

I polimeri vengono ottenuti attraverso la **formazione di legami tra due tipi di monomeri reagenti**. Si ha la condensazione di **acqua** come sottoprodotto della reazione.

• ADDIZIONE

I legami hanno luogo **senza sottoprodotti di reazione**.

CLASSIFICAZIONE POLIMERI

• TERMOPLASTICI

Processo di riscaldamento e raffreddamento **reversibile**

AMORFO $T > T_g$

• TERMOINDURENTI

Processo di riscaldamento e raffreddamento **irreversibile** per via della formazione di una **macromolecola**.

$T > T_g$ **DEFORMABILE**

$T < T_g$ **RIGIDO**

• ELASTOMERI

Recupero dimensioni e forma iniziali dopo uno sforzo.

T_g TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA

MISURA

*La misura può essere definita come un'entità matematica composta da **valore, incertezza e unità di misura**.*

Lo strumenti di misura gode delle seguenti proprietà:

• SENSIBILITA'

• ACCURATEZZA

Grado di corrispondenza del dato **teorico** con il **reale**

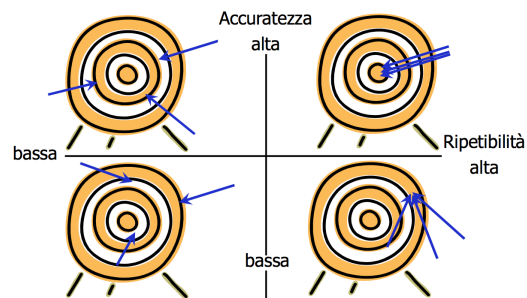
• RIPETIBILITA' RIPRODUCIBILITA'

La ripetibilità è il **grado di concordanza** tra una serie di misure di uno stesso misurando

• STABILITA'

capacità di fornire un segnale in uscita costante nel tempo quando la grandezza misurata rimane costante nel tempo

• PRONTEZZA



SENSIBILITA' LINEARE

Capacità di uno strumento di rilevare anche le minime variazioni della grandezza misurata

E' generalmente una caratteristica **non lineare**, pertanto considero un intervallo in cui **linearizzo**

MISURA DI DUREZZA

La durezza è un valore numerico che indica le **caratteristiche di deformabilità plastica di un materiale**.

Vi sono principalmente tre definizioni di durezza:

1. FISICA

Resistenza alla deformabilità plastica

2. METALLURGICA

Resistenza superficiale che il materiale impone alla penetrazione di un corpo

3. MINERALOGICA

Resistenza alla scalfitura **Mohs**

• **VELOCI**

• **RIPRODUCIBILI**

• **NON DISTRUTTIVE**

• **SENSIBILE ALLE CONDIZIONI DI PROVA**

• **MISURAZIONE PARAMETRI**

Resistenza a trazione, tenacità, incrudimento, effetto trattamenti termici, lavorabilità ...

• **MICRO E MACRO -DUREZZA**

DUREZZA MOHS

La scala di Mohs è un criterio empirico per la **valutazione della durezza** dei materiali. Prende il nome dal mineralogista tedesco Friedrich Mohs, che la ideò nel 1812.

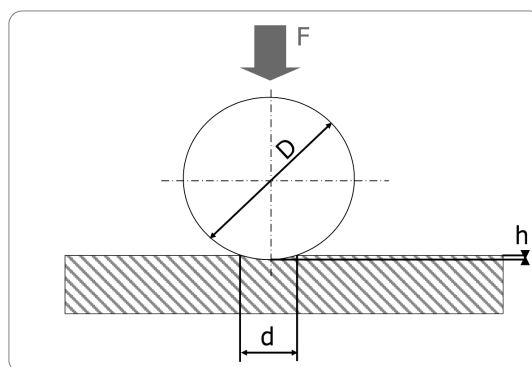
Essa assume come riferimento la **durezza di 10 minerali numerati progressivamente da 1 a 10**

DUREZZA BRINELL

La prova consiste nel far penetrare nel pezzo una **sfera di acciaio di diametro D con una forza F**

Viene quindi misurata l'impronta lasciata sul pezzo, di **diametro d** .

Si misurano su ogni impronta due diametri disposti **ortogonalmente di cui si fa la media aritmetica**.



$$HB = 0,102 \frac{F}{S_{impr}} = 0,102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

$$\text{CON } 0,2D \leq d \leq 0,5D$$

CORREZIONE DI MEYER

Il diametro dell'impronta non varia in modo lineare con il carico applicato, ma dipende dalla **profondità della penetrazione**.

a: resistenza alla penetrazione iniziale

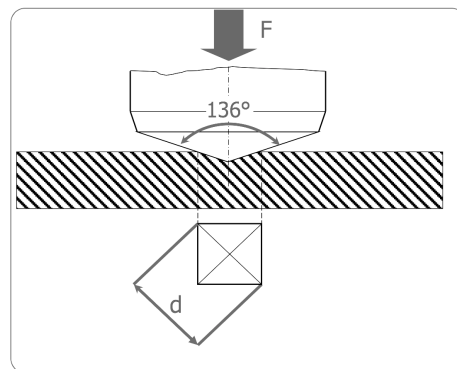
n: Misura dell'effetto della deformazione sulla durezza del metallo

$$P = a d^n$$

PROVA VICKERS

Si fa penetrare nel materiale in esame una **punta di diamante a forma piramidale a base quadrata (136°)** sottoponendo il penetratore a un carico prestabilito

$$HV = 1.845 \frac{P}{d^2}$$



DUREZZA INDIPENDENTE DAL CARICO

PROVA DI ROCKWELL

La prova di durezza Rockwell dei materiali si realizza con **penetratori di forma o conica** (realizzati in diamante) **oppure sferica** (realizzati in carburo di tungsteno). Essa avviene secondo più **stadi successivi di carico**.

- CARICO INIZIALE
- AZZERO
- CARICO AGGIUNTIVO
- RIMOZIONE CARICO
- LETTURA SCALA

PROVA KNOOP

La prova Knoop utilizza un penetratore di **diamante a forma di piramide allungata**.

PROVA DI MICRODUREZZA

$$HK = 14,2 \frac{P}{L^2} \quad L: \text{Lunghezza asse impronta}$$

RIASSUNTIVA

Test	Penetratore	Forma dell'impronta vista laterale vista dall'alto		Carico
Brinell	sfera d'acciaio o CW, 10 mm			4 904 N 14 711 N 29 421 N
Vickers	piramide di diamante			9,807 - 1 177 N
Knoop	piramide di diamante			245,2 mN - 49,04 N
Rockwell				definizione scala
A	cono di diamante			588,4 N HRA = 100 - 500t
C	cono di diamante			1 471 N HRC = 100 - 500t
D	cono di diamante			980,7 N HRD = 100 - 500t
B	sfera d'acciaio 1,587 5 mm			980,7 N HRB = 130 - 500t
F	sfera d'acciaio 1,587 5 mm			588,4 N HRF = 130 - 500t
G	sfera d'acciaio 1,587 5 mm			1 471 N HRG = 130 - 500t
E	sfera d'acciaio 3,175 mm			980,7 N HRE = 130 - 500t

PROVA DI TRAZIONE

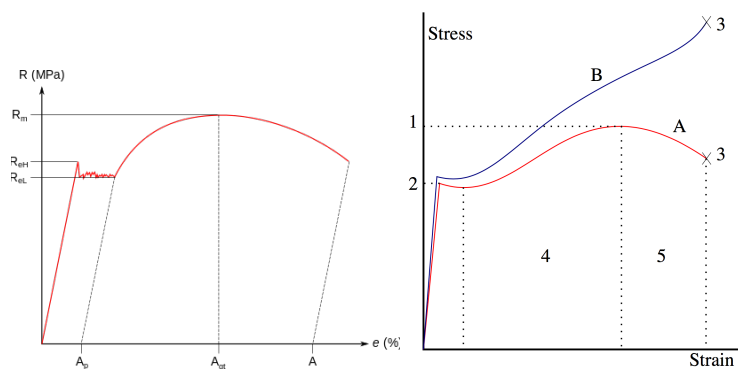
Prova di caratterizzazione dei materiali che consiste nel sottoporre un provino di dimensioni standard di un materiale in esame ad un **carico F monoassiale inizialmente nullo** che viene **incrementato** fino a un valore massimo che determina la **rottura** del materiale.

NOMINALI

$$\sigma_n = \frac{F}{S_o} \quad e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \varepsilon = \int_{l_0}^l d\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$

REALI

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \sigma = \sigma_n(1 + e) \quad l_0 S_0 = l S$$



A differenza della curva ideale di trazione, nella **curva reale** di trazione lo sforzo è **sempre crescente**

- **COMPORTAMENTO ELASTICO**

- **SNERVAMENTO**

valore della tensione in corrispondenza della quale il materiale inizia a deformarsi plasticamente, passando da un comportamento elastico reversibile ad un **comportamento plastico irreversibile**

- **COMPORTAMENTO PLASTICO**

- **STRIZIONE**

- **ROTTURA**

LEGGE DI HOLLOMON

$$\sigma = k \epsilon^n$$

Material	K (MPa)	n
Aluminum, 1100-O	180	0.20
2024-T4	690	0.16
5052-O	210	0.13
6061-O	205	0.20
6061-T6	410	0.05
7075-O	400	0.17
Brass, 7030, annealed	895	0.49
85-15, cold rolled	580	0.34
Bronze (phosphor), annealed	720	0.46

K - Coefficiente di resistenza

N - Esponente di durezza

INCRUDIMENTO

L'incrudimento è un fenomeno metallurgico per cui un **materiale metallico** risulta **rafforzato** in seguito a una deformazione plastica a freddo.

BARELLING

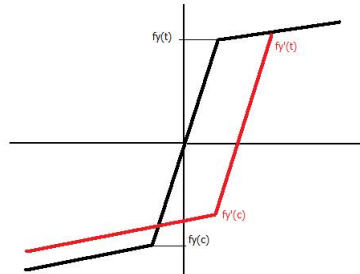
Il barreling indica una **deformazione maggiore delle sezioni più lontane** dai punti di applicazione dello sforzo



EFFETTO BAUSHINGER

Si definisce effetto Bauschinger Il fenomeno di **isteresi plasticizzante** dei materiali duttili a cui corrisponde **incrudimento**.

Diagramma sforzo-deformazione, che presenterà una **fase elastica lineare ed una plastica**.



Il confine fra le due fasi è la **tensione di snervamento a trazione $f_y(t)$** , ed uno a **compressione $f_y(c)$** . Se sottopongo il materiale a tensione **maggiore di $f_y(t)$** , **la nuova tensione di snervamento a compressione avrà un valore inferiore a $f_y(c)$** .

CONDIZIONE DI INSTABILITA'

A seguito dell'inizio della **strizione**, una volta superato il **limite di elasticità**, il provino cambia totalmente le sue caratteristiche elastiche, riducendo il modulo di elasticità. **La forza resistente inizia quindi a decrescere**.

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$$

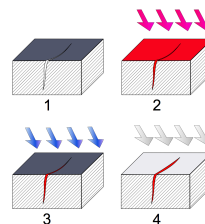
PROVE NON DISTRUTTIVE

Sono prove indirette capaci di valutare le specificità di un materiale tramite **misure di altre proprietà**.

- COLLAUDI DI ACCETTAZIONE
- PROVE IN SERVIZIO
- CONTROLLI DI PROCESSO

LIQUIDI PENETRANTI

Viene distribuito del **liquido marcatore sul materiale**, che viene successivamente pulito superficialmente. Si rilevano eventuali tracce di liquido colorato, fluorescente o marcato tramite l'ispezione umana e non.



Vi sono dei limiti all'applicazione di questa metodologia:

- NO MATERIALI POROSI
- NO DIFETTI INTRAVOLUMICI
- ZONE FACILMENTE ACCESSIBILI
- INTERPRETAZIONE UMANA

MAGNETOSCOPIA

Tecnica di rilevazioni di **difetti superficiali** basata sulla creazione di un campo magnetico **chiuso** all'interno del pezzo, e alla successiva irrorazione con **liquidi o solidi rilevatori**

Preparazione della superficie

- La superficie del pezzo in osservazione deve essere perfettamente pulita e sgrassata

Magnetizzazione

- Introducendo nel pezzo una corrente elettrica ad alta intensità o con elettromagneti.
- La direzione ideale del campo magnetico è perpendicolare alla discontinuità

Irrorazione del rilevatore

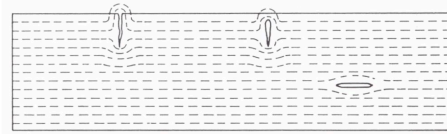
- Il rilevatore può essere applicato in forma secca o in dispersione in liquido.
- In caso di rilevatore liquido esso è irrorato con spruzzatori azionati manualmente o automaticamente.

Ispezione

- Avviene sotto luce naturale in caso di rilevatore a contrasto di colore o in una cabina oscurata dove il pezzo viene illuminato da luce nera (luce di Wood, UV) in caso di rilevatore fluorescente.

Smagnetizzazione

- L'operazione permette di far perdere al pezzo il magnetismo residuo.
- Si fa passare il pezzo in un tunnel di smagnetizzazione che agisce riducendo progressivamente il ciclo d'isteresi.



ULTRASUONI

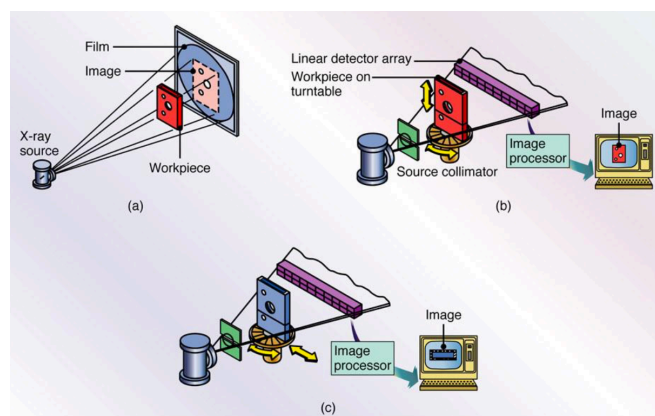
L'impulso ultrasonoro viene trasmesso nel materiale, da un apposito trasduttore. Gli **impulsi riflessi dalle superfici** del difetto o dalle pareti del pezzo, vengono captati dal trasduttore, trasformati in **segnali digitali**.

OMOGENEITA' - VUOTI - DISCONTINUITA' - MODULO ELASTICO - RESISTENZA

- ONDE LONGITUDINALI
- ONDE TRASVERSALI
- ONDE SUPERFICIALI
- ONDE FESSURALI

RADIOGRAFIA

Rilevamento su pellicola della **variazione di attenuazione** che un fascio di raggi X subisce in funzione degli spessori attraversati



Vi sono dei limiti all'applicazione di questa metodologia:

- **NO RILEVAZIONE DIFETTI 2D (CRICCHE)**
- **BASSO CONTRASTO**
- **COSTO APPARECCHIATURA**
- **RADIOATTIVITA'**

MECCANICA DEI MATERIALI

La meccanica dei materiali è la disciplina che studia il comportamento meccanico dei materiali, al fine di una loro **razionale utilizzazione in ambito strutturale** e nella costruzione di macchine e componenti di concezione avanzata.

ELASTICITA'

In fisica l'elasticità è la proprietà di un materiale di **deformarsi sotto l'azione di uno stato di sollecitazione** imposto e poi di **riacquistare la sua forma originale** al venir meno della causa sollecitante.

$$\varepsilon = \varepsilon_{plas} + \varepsilon_{elas}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{E}[\sigma_i - \nu(\sigma_j + \sigma_k)]$$

DEFORMAZIONE PLASTICA

Deformazione di **natura permanente** a seguito di uno sforzo.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{v}{L}$$

TENSIONI DEVIATORICHE $S_{dev-i} = \sigma_i - \sigma_m$

Sono associate ad una **variazione in forma ma non in volume**.

Vi è proporzionalità tra le velocità di **trasformazione plastica e le tensioni deviatoriche**.

CRITERIO DI TRESCA

Secondo tale criterio, lo snervamento del materiale viene raggiunto quando la **tensione tangenziale massima** raggiunge un valore limite.

$$\sigma_{max} - \sigma_{min} = Y$$

CRITERIO DI VON MISES

Lo snervamento del materiale viene raggiunto quando **l'energia di deformazione distortante** raggiunge un valore limite

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$$

TENSIONE EQUIVALENTE

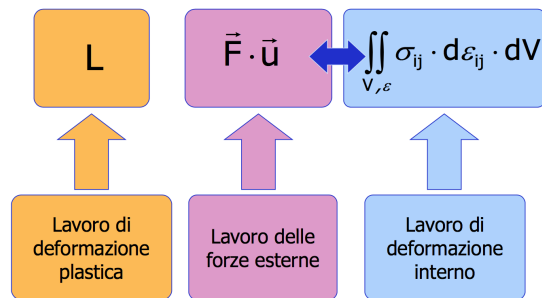
$$\varepsilon_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}$$

DEFORMAZIONE EQUIVALENTE (D*T=Lavoro)

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

LAVORO DI DEFORMAZIONE

Per un sistema in equilibrio statico ad ogni spostamento virtuale infinitesimo nello spazio delle fasi è associato un lavoro meccanico nullo. Si parla in tale contesto di lavoro virtuale, il lavoro meccanico di una forza relativo ad uno spostamento virtuale infinitesimo



TENSIONE UNIFORME

$$\bar{Y} = \frac{1}{\varepsilon_f} \int_0^{\varepsilon_f} \sigma_e d\varepsilon_e$$

LAVORO DI DEFORMAZIONE UNIFORME

$$L_{unif} = \bar{Y} \varepsilon V$$

B - Processi di lavorazione

DEFINIZIONE

Processi di trattamento di natura industriale

Le principali categorie sono:

- **FORMATURA**

Fonderia, metallurgia delle polveri e galvanoplastica

- **DEFORMAZIONE PLASTICA**

Laminazione, estrusione, stampaggio, trafilatura, fucinatura

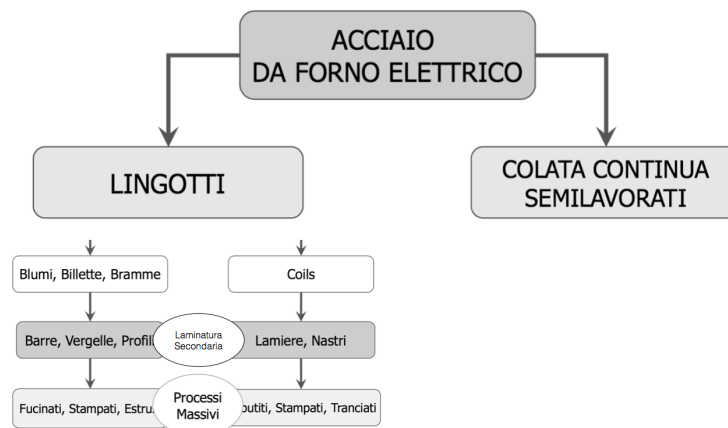
- **ASPORTAZIONE TRUCIOLO**

Tornitura, foratura, fresatura, rettificazione, elettrotorsione e taglio laser.

- **ASSEMBLAGGIO**

Saldatura, assemblaggio, chiodatura, imbullonatura

LAVORAZIONE ACCIAIO



SEMILAVORATI SIDERURGICI

I semilavorati siderurgici sono prodotti intermedi che vengono ottenuti tramite processi di colata o al laminatoio sbozzatore, e che sono destinati a successive lavorazioni quali la laminazione, la fucinatura, od altro.

- **BRAMMA**

Ha sezione **rettangolare con spigoli arrotondati**. Le bramme vengono **lamine a caldo per l'ottenimento di lamiere**.

- **BLUMO**

Ha **sezione quadrata con spigoli arrotondati** e lato superiore ai 120 mm.

- **COILS**

Rotoli di acciaio

- **FUCINATI**

Sezione **varia**

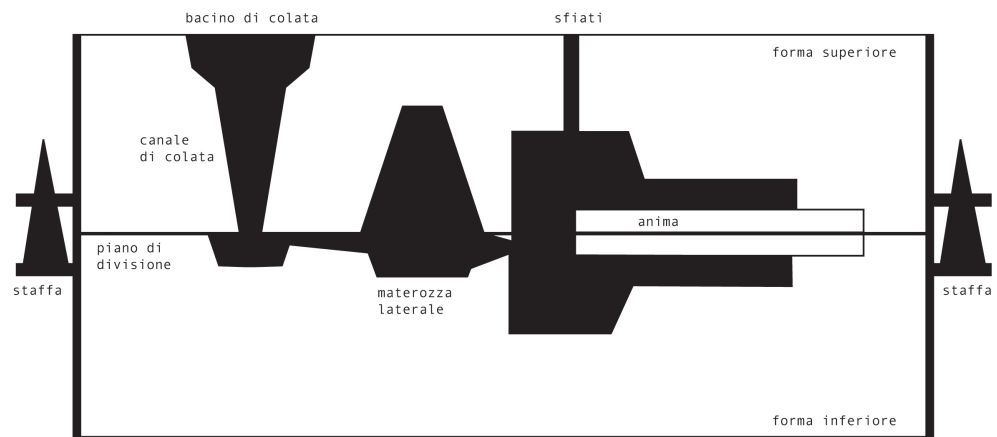
- **BILLETTA**

Le billette vengono successivamente **lamine a caldo per l'ottenimento di barre, fili o profilati** oppure sottoposte a **stampaggio per l'ottenimento di particolari**.

- **VERGELLE**

Semilavorati filiformi arrotondati su sè, a **sezione cilindrica**

FONDERIA



MODELLO

Il modello è un oggetto che rappresenta la **sagoma che dovrà assumere** il prodotto finale. Può essere fatto con svariati materiali, come legno, metallo, gesso, resine sintetiche: ogni materiale **ha pregi e difetti**; Le dimensioni del modello devono tener conto del **ritiro del metallo nella fase di solidificazione** e del **sovrametallo**

ANIME

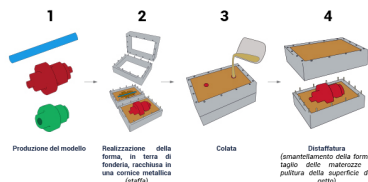
Le *anime* sono degli oggetti che servono per ottenere dei **fori nella fusione**, cioè delle **parti che non devono venir riempite** dal metallo liquido.

STAFFE

Telai di metallo con **funzione di supporto**.

SOVRAMETALLO

Sovradimensionamento dello spessore, a causa del **ritiro termico**



MATEROZZA

La materozza è **un serbatoio di metallo liquido**, utilizzato per preservare il **getto da difetti** dirigendoli nella materozza stessa.

VOLUME DI RITIRO

- A CIELO APERTO
- CIECA
- MODULO DI RAFFREDDAMENTO

$$M = \frac{V}{S}$$

REGOLA DI CHVORINOV

La **regola di Chvorinov** è una relazione matematica che mette in relazione il **tempo** di solidificazione di una forma qualsiasi con il suo **modulo termico**.

$$T = cM^n$$

SOLIDIFICAZIONE DIREZIONALE

Regioni con M minori e lontani dalla materozza solidificano più lentamente

ELEMENTI FONDERIA

• MATERIALE DI FUSIONE

Temperatura intorno ai **1600°** ed alta **colabilità** con relativa capacità di **solidificare velocemente**

• FORMA

Transitoria o permanente

• MODELLO

Legno, materiali plastici o gesso.

FORMATURA

*La formatura, nei processi di fonderia, è l'attività di approntamento della forma, cioè del **contenitore entro cui verrà colato il metallo**.*

• SOTTOSQUADRI

Zone del modello **in ombra rispetto alla direzione di estrazione dello stesso**

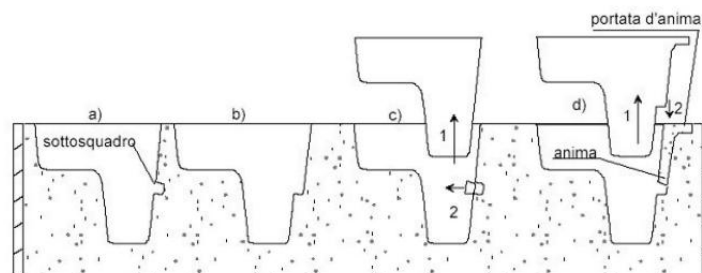


Fig. 8.

• ANGOLI DI SFORMO

Dato che la creazione di pareti perfettamente in asse con il movimento di estrazione potrebbe dare problemi nella rimozione dei pezzi finiti, le pareti non devono mai essere progettate verticali, ma devono avere una **leggera inclinazione (1 o 2 gradi) verso l'esterno**.

• PORTATE D'ANIMA

Calco dei supporti ove poggeranno le anime per creazione dei vuoti nella fusione

SPINTE METALLOSTAT.

Sono la **risultante delle pressioni che il metallo fuso esercita sulle pareti della forma e sulle anime**. Queste pressioni possono **deformare le pareti della forma con pericolo di formazione di bave e fuoriuscita del metallo fuso**

• LEGGE DI BERNOULLI

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = K$$

• CONTINUITA' DELLA PORTATA

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

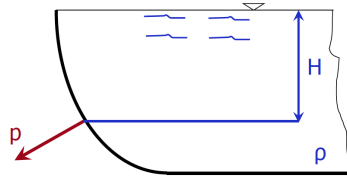
• REGIME DI FLUSSO

$$Re = \frac{v D \rho}{\eta}$$

• ARCHIMEDE

Della lega fusa sull'anima

$$F = g L S (\rho_{solido} - \rho_{liquido})$$



$$p = \rho \cdot g \cdot H$$

PROCESSO DI FONDERIA

- COSTRUZIONE MODELLO
- COSTRUZIONE ANIMA
- RIEMPIMENTO STAFFA
- COMPRESSIONE FORMA
- CAPOVOLGIMENTO
- POSA SECONDA STAFFA
- RIEMPIMENTO SECONDA STAFFA
- DISTAFFATURA
- ESTRAZIONE MODELLO
- SISTEMAZIONE DELL'ANIMA
- **FUSIONE E COLATA**
- **SOLIDIFICAZIONE**
- **DISTAFFATURA DALLA FORMA**
- **RIMOZIONE**

<https://www.youtube.com/watch?v=4oUIZ7lqOt4>

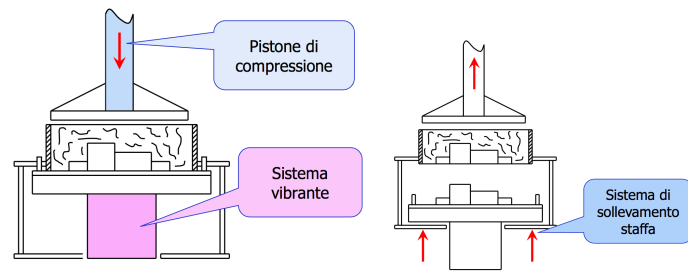
FUSIONE IN FORMA TRANSITORIA

Migliora la qualità e l'economicità del getto.

- **SILICE GRANULARE**
Refrattarietà non fonde la forma nonostante le **alte temperature di fusione**.
- **LEGANTI**
Coesione resistenza alle **pressioni**.
- **ADDITIVI**
Permeabilità fa fluire i gas **senza che interferiscano con il processo**

- **INDURIMENTO MECCANICO**

E' una miscela di sabbie refrattarie e leganti argillosi (**naturali o sintetiche, grasse [18%] semigrasse [8% < x% < 18%] o magre [x < 8%]**)
Bentonite: Principale legante (**lettiera per gatti**) + **Additivi**

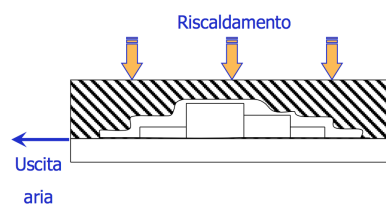


- **INDURIMENTO CHIMICO**

- A. Il **silicato di sodio** viene fatto indurire tramite una **corrente di CO2**.
- B. Il **cemento** viene fatto solidificare all'interno dello stampo
- C. La forma viene fatta indurire per **polimerizzazione** scatenata da un **catalizzatore gassoso**

- **INDURIMENTO TERMICO**

- A. **Shell-modelling**, dove la forma si genera per riscaldamento della shell
- B. **Microfusione**



FUSIONE IN FORMA PERMANENTE

La forma (conchiglia) è realizzata in **lega metallica** (acciai legati, ghise speciali) per essere utilizzata in un **numero elevato di getti uguali**

- **CONCHIGLIA NON POROSA**

Bisogna prevedere **canali di sfogo** per i gas

- **TEMPERATURA CONCHIGLIA**

Deve essere mantenuta **costante**

- **COLABILITA'**

capacità di **riempire zone della conchiglia** con spessore sottile senza solidificare prematuramente

- **RIEMPIMENTO**

Può avvenire per **gravità** o **pressione**

- **ANIME**

Possono essere **in terra** o **in acciaio**

- **TEMPERATURA DI COLATA**

Evitare il **ritiro eccessivo** del getto e ottenere una **buona fluidità** tale da non provocare un riempimento incompleto. **i primi getti aumentano t**

- **VERNICIATURA INTERNO CONCHIGLIA**

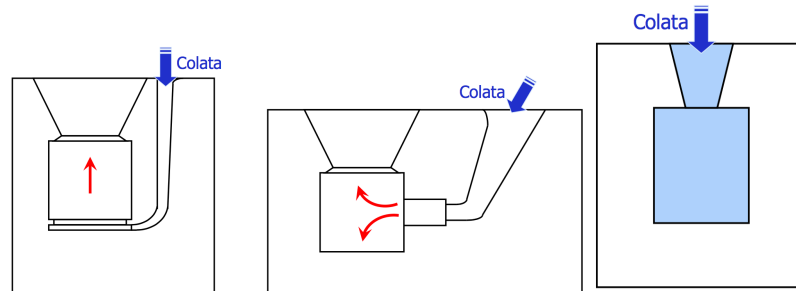
Controllo **di scorrimento**, miglioramento **finiture superficiali**, aumento vita della conchiglia.

TIPI DI COLATA

Viene progettato un sistema di colata al fine di ridurre turbolenze e inconsistenze, e generare un **getto uniforme**.

- BASCULAMENTO CONCHIGLIA
- RIDUZIONE TURBOLENZE
- COERENZA GETTO

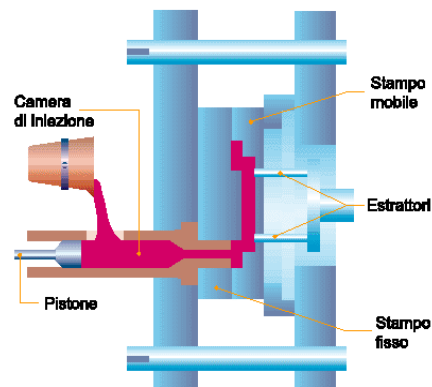
• COLATA IN SORGENTE - LATERALE - DALL'ALTO



PRESSOFUSIONE

Fonderia in conchiglia sotto pressione, è un particolare processo di fonderia in forma permanente, in cui metallo fuso viene **iniettato ad alta pressione in uno stampo metallico**.

NO LEGHE FERRO



Lega	R_m [MPa]	R_s [MPa]	a [%]
Acciaio per getti D4512	464	332	15
Alluminio A357-T61	360	290	8
Alluminio A357-T61 (valori minimi)	310	248	3

• PRESSA A CAMERA CALDA

L'iniezione avviene attraverso un dispositivo a **pistone azionato da un sistema oleodinamico**, che tramite 2 ugelli preleva e inietta il metallo. Non adatto a leghe in alluminio a causa della **dispersione del ferro della conchiglia**.

• PRESSA A CAMERA FREDDA

ADDITIVI POLIMERI

• CARICHE INERTI

migliore **comportamento allo stampaggio**

• AGENTI RINFORZANTI

migliori **caratteristiche meccaniche** dei manufatti

• PLASTIFICANTI

migliori **caratteristiche meccaniche** dei manufatti

• COLORANTI

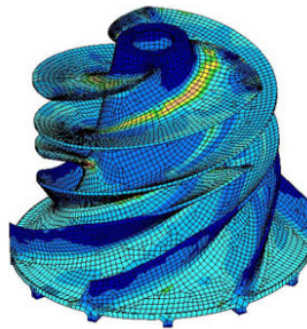
• LUBRIFICANTI, INDURENTI...

C - Deformazioni

CALDO	FREDDO	SEMICALDO
<ul style="list-style-type: none"> • GRANDI DEFORMAZIONI • MACCHINARI SEMPLICI 	<ul style="list-style-type: none"> • FINITURA DIMENSIONALE • PRECISIONE • LUBRIFICAZIONE 	<ul style="list-style-type: none"> • FINITURA DIMENSIONALE • PRECISIONE • GRANDI DEFORMAZIONI
<ul style="list-style-type: none"> • ENERGIA • OSSIDAZIONE • PRECISIONE 	<ul style="list-style-type: none"> • COMPLESSO • SOLO PEZZI SIMMETRICI • STAMPI COSTOSI 	<ul style="list-style-type: none"> • POCO DIFFUSO • SOLO PEZZI ASSIALSIMM.

FEM

In matematica, il **metodo degli elementi finiti** (FEM, dall'inglese Finite Element Method) è una tecnica numerica atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo queste ultime ad un **sistema di equazioni algebriche**.



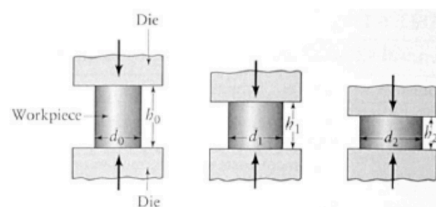
- MESH
- FORZE INFINITESIMALI

FORGIATURA

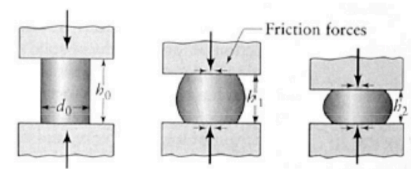
La forgiatura o fucinatura è un processo di produzione industriale di trasformazione per **deformazione plastica** di pezzi metallici a sezione varia, solitamente portati **ad alta temperatura**

• OPEN DIE

Il pezzo in lavorazione è premuto tra le **facce del pistone** e dell'incudine, alle quali possono essere adattate parti con superfici opportunamente sagomate. Si formano **superfici di scorrimento BARRELING**

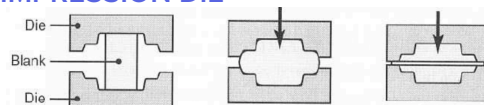


Deformazione ideale senza attrito



Deformazione reale con attrito

• IMPRESSION DIE



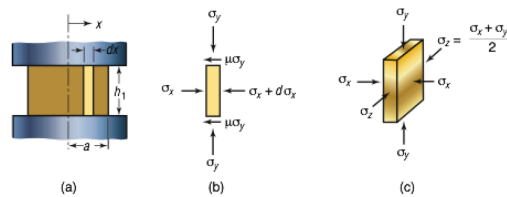
• CLOSED DIE

Come impression, ma senza fuoriuscita di materiale

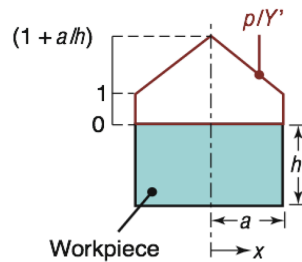
RICALCATURA (FORGIATURA)

E' un'operazione generalmente realizzata su una estremità di una barra **cilindrica** con l'obiettivo di **incrementare la sezione trasversale**

$$\sigma_x = \sigma_y - Y' = Y' \left[e^{2\mu(a-x)/h} - 1 \right]$$



Results for sticking friction in plane strain:



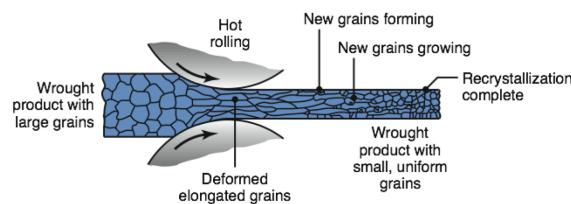
$$p = Y' \left(1 + \frac{a-x}{h} \right)$$

Results for sticking friction with cylinder:

$$p = Y \left(1 + \frac{r-x}{h} \right)$$

LAMINAZIONE

Per laminazione si intende il processo meccanico utilizzato per far diminuire la **dimensione meno significativa in una lamina** o in un albero, solitamente lo spessore.



- CALDO O FREDDO
- PROCESSO PIU' DIFFUSO
- PIASTRE (>6mm) LAMINATI (<6mm)

PROCESSO DI LAMINAZIONE

- LAMINAZIONE CALDO 1
Il prodotto di fusione passa attraverso i rulli caldi, **formando nuovi grani e migliorando la duttilità del materiale**
- BRAME - LASTRE - BILLETTE
Brama: travi e rotaie
Lastre: laminati e lamiere
Billette: Trafilature
- RIMOZIONE SCAGLIE SUPERFICIALI

LAMINAZIONE A PACCHETTO: Multistrato, tipo alluminio

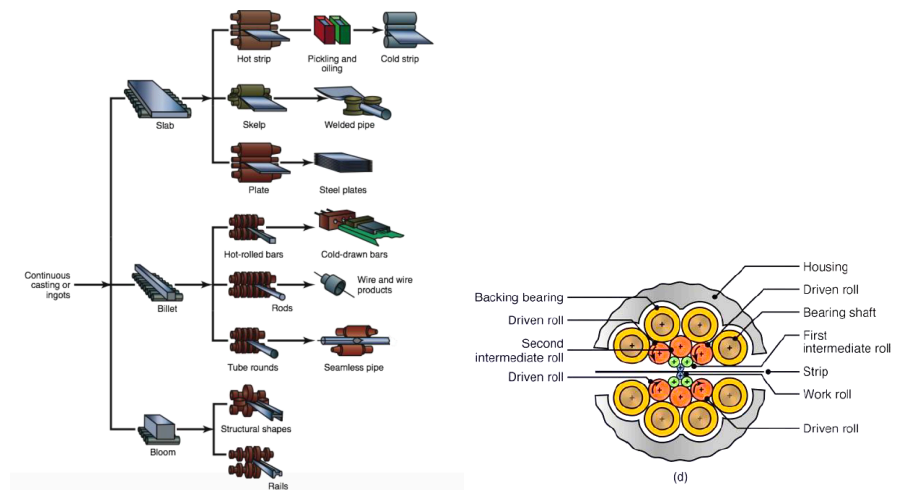
LAMINAZIONE ACCIAI: **Skinpassatura** per incrudire la superficie

LEGHE FERROSE:

LEGHE NON FERROSE:

Lubrificazione

No lubrificazione



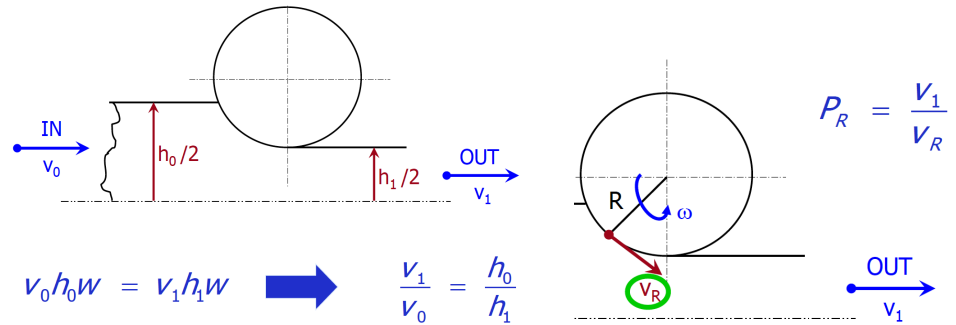
Slab-billet&bloom — Gabbia di Laminazione

MECCANICA LAMINAZIONE

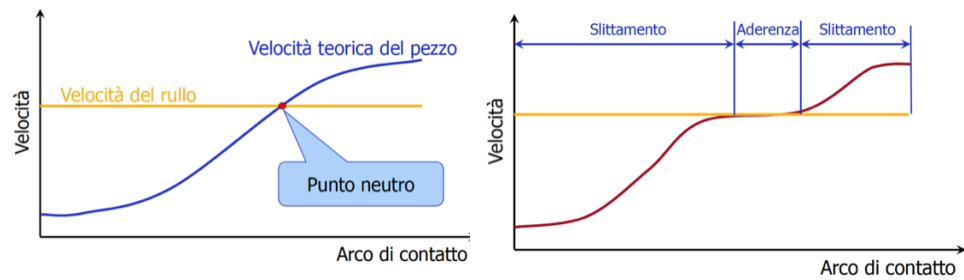
$$V_0 < V_r < V_f \quad \text{Entrata - Rulli - Finale}$$

$$h_0 > h_f$$

W **Larghezza trasversale**



VELOCITA' TEORICA VS REALE



FORZA DI SEPARAZIONE

$$F = P_m L W$$

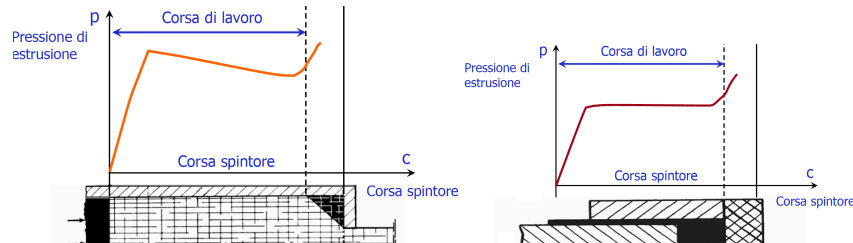
COPPIA

$$C = L F = P_m L^2 W$$

ESTRUSIONE

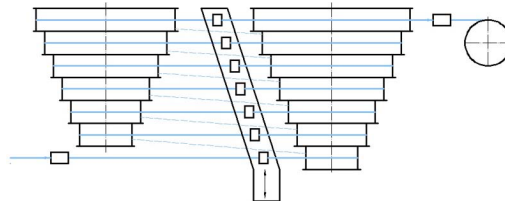
- RESISTENZA ALLA DEFORMAZIONE
- FORMA DELLA BILLETTA
- RAPPORTO DI ESTRUSIONE $R = \frac{A_o}{A_u}$
- ATTRITTO BILLETTA- CAMERA DI ESTRUSIONE
- DIRETTA O INVERSA

Nella diretta la **pressione dipende dalla corsa di lavoro**.



TRAFILATURA

La trafilatura è un processo di formatura che induce un **cambiamento nella forma del materiale grezzo** di partenza attraverso la deformazione plastica dovuta all'azione di **forze impresse da attrezzature e matrici**.



- LAVORAZIONE A FREDDO
- MOLTO PRECISA

PROCESSO DI TRAFILATURA

- APPUNTATURA
Permette alla **vergella** (semilavorato) di entrare nella filiera
- DECAPAGGIO
Rimozione dello **strato di ossido**
- LAVAGGIO
- TRATTAMENTO IN LATTE DI CALCE
Rimozione dei **residui acidi**
- ASCIUGATURA

$$F_r = \frac{Y A_0 \epsilon}{\eta} \quad L_r = F_r C = \frac{Y V \epsilon}{\eta}$$

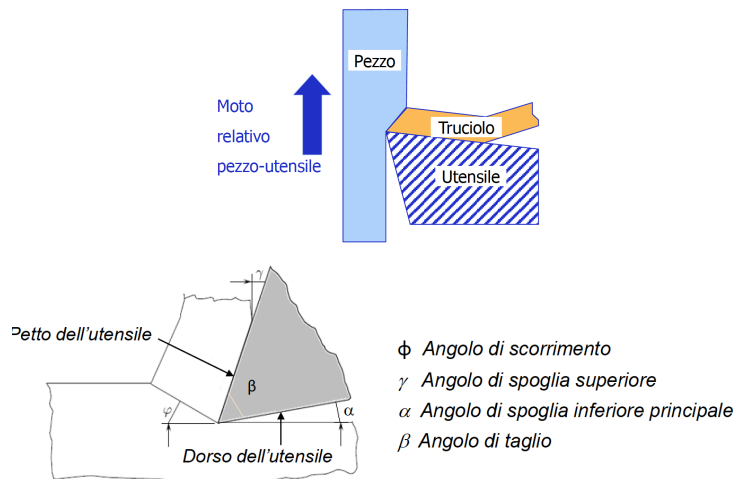
η RENDIMENTO DI DEFORMAZIONE

D - Taglio

TRUCIOLO

Il truciolo è un residuo di metallo o legno che si ottiene durante la lavorazione di un pezzo sottoposto ad un'asportazione di materiale.

MOTO RELATIVO UTENSILE-PEZZO



$$\beta = 90^\circ - (\gamma + \alpha)$$

MODELLO DI PIISPANEN

L'analogia di Piispanen fornisce una modellazione matematica semplificata del processo di formazione di truciolo in una lavorazione alle macchine utensili in condizioni di taglio ortogonale.

SOVRAMETALLO = MAZZO DI CARTE

$$\gamma_s = \cot \phi + \tan(\phi - \gamma)$$

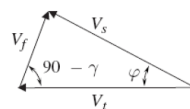
$$V_s = V_t + V_f$$

$$V_f = V_t r_c$$

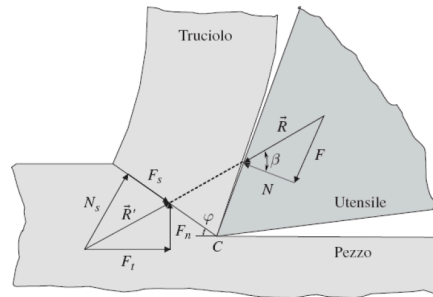
$$V_s = V_t r_c \frac{\cos \gamma}{\sin \phi}$$

MINIMIZZANDO

$$\phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2}$$



MODELLO MERCHANT



Truciolo = corpo libero in equilibrio sotto l'azione di \vec{R} e \vec{R}' $\Rightarrow \vec{R} = \vec{R}'$ (β angolo di attrito)

Forza scambiata tra utensile e pezzo può essere scomposta lungo direzioni di interesse tecnologico:

N F componente normale e tangenziale (o d'attrito) rispetto al petto dell'utensile

N_s F_s componente normale e tangenziale rispetto al piano di scorrimento

F_t F_n forza principale di taglio e forza normale

$$2\varphi + \beta - \gamma = \frac{\pi}{2}$$

$$2\varphi + \beta - \gamma = C$$

$$\tan \beta = \frac{F}{N}$$

$$F_t = K_s A$$

$$K_s = K_{S0} \cdot A^{-1/n}$$

$$K_{S0} = 2.4 R_m^{0.454} \beta^{0.666}$$

RELAZIONE KRONENBERG

CLASSIFICAZIONE

Macchina	Moto di taglio	Alimentazione	Utensile
Fresatrice	Rotatorio, ut.	Traslatorio, pz.	Fresa
Tornio	Rotatorio, pz.	Traslatorio, ut.	Ut. taglio singolo
Trapano	Rotatorio, ut.	Traslatorio, ut.	Punta elicoidale

MOTO DI TAGLIO

• ROTATORIO

$$V_t = \frac{\pi D n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

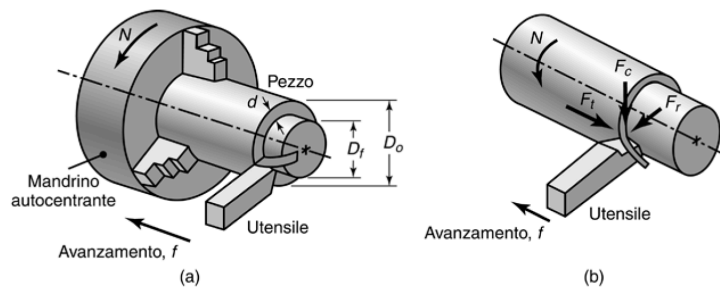
• TRASLATORIO

MOTO DI AVANZAMENTO

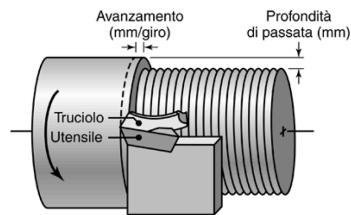
• LONGITUDINALE

$$V_{avanzamento} = a_{avanzamento-giro} n$$

• TRASVERSALE



- (a) Rappresentazione schematica di un'operazione di tornitura; si notino la **profondità di passata**, e l'**avanzamento**. La **velocità di taglio** è la velocità periferica del pezzo in corrispondenza della punta dell'utensile.
- (b) Forze agenti sull'utensile in tornitura: F_c è la **forza di taglio**, F_t la **forza di avanzamento** ed F_r la **forza di repulsione** che tende a far allontanare l'utensile dal pezzo in direzione radiale.



CARATTERISTICHE MATERIALI

• DUREZZA AD ALTE T

Testata con la **prova Vickers HV**

• RESISTENZA ALL'USURA

• RESILIENZA

Resistenza a piccoli urti e vibrazioni nel processo di lavorazione

• EVITARE SALDATURE - OSSIDAZIONI - DIFFUSIONI

TIPI DI MATERIALI

1. ACCIAI RAPIDI-SUPERRAPIDI

Con **Tungsteno e Molibdeno** sono **economici** ma non resistono all'**usura**.

2. WIDIA

Carburi metallici ma non resistono allo **shock termico**.

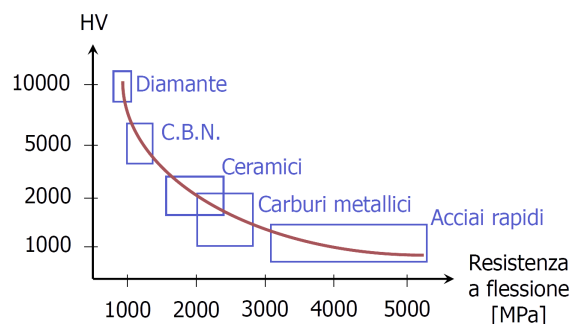
3. MATERIALI CERAMICI

Prestazioni elevate anche a **T alte**

4. CBN

Durezza simile al **diamante**

5. DIAMANTE



TIPI DI USURA

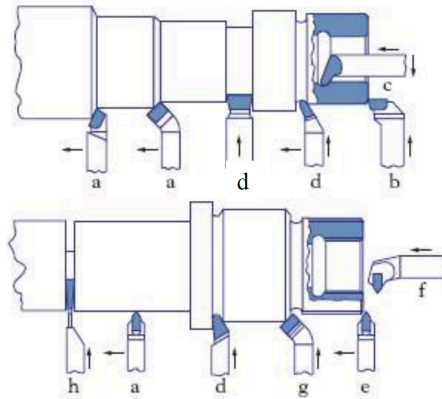
1. ABRASIONE
2. DIFFUSIONE
3. OSSIDAZIONE
4. ADESIONE
5. DEFORMAZIONI PLASTICHE
6. FATICA

RELAZIONE SPERIMENTALE TAYLOR

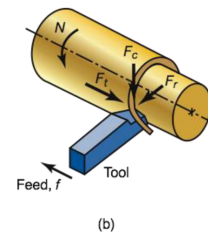
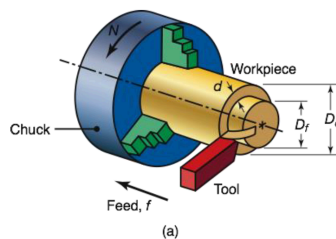
Modellizza il **tempo di vita** dell'utensile con n **coefficiente di durata** e c costante per **un minuto di taglio**

$$C = V_t T^n$$

TIPI DI TORNITURA



- (a) - tornitura cilindrica esterna
- (b) - sfacciatura
- (c) - tornitura interna
- (d) - realizzazione di gole interne ed esterne
- (e) - filettatura esterna
- (f) - filettatura interna
- (g) - smussatura
- (h) - taglio del pezzo



- (a) Rappresentazione schematica di un'operazione di tornitura; si notino la **profondità di passata**, d , e l'**avanzamento**, f . La **velocità di taglio** è la velocità periferica del pezzo in corrispondenza della punta dell'utensile.
- (b) Forze agenti sull'utensile in tornitura: F_c è la **forza di taglio**, F_f la **forza di avanzamento** ed F_r la **forza di repulsione** che tende a far allontanare l'utensile dal pezzo in direzione radiale.

ALESATURA

L'alesatura è una lavorazione meccanica per correggere lievemente **l'assialità e il diametro dei fori**, chiamato alesaggio, precedentemente realizzati con il trapano.

ZIGRINATURA

Zigrinatura è il risultato della **godronatura**, una **superficie a rilievo ottenuta tramite il passaggio a pressione di rulli scanalati** sulla superficie dapprima liscia di un pezzo cilindrico



GODRONATURA

La godronatura è un processo produttivo, comune nell'industria degli utensili, che consiste **nell'incisione di una parte della superficie** metallica di un attrezzo in modo da ottenere la zigrinatura.

MASCHIATURA

L'operazione di maschiatura prevede le fasi di: (i) sbazzatura, (ii) passata intermedia e (iii) finitura.

$$V_t = \frac{\pi DN}{1000} \quad V_a = an \quad T_l = \frac{L}{an}$$
$$MRR = P_{Truciollo} = \frac{DaV_t}{4}$$

TEMPI DI LAVORAZIONE

1. TORNITURA CILINDRICA

$$T_l = \frac{C_{orsa}}{v_{avanzamento}} \quad v_a = an \quad C_{orsa} = C + Extra$$

2. SFACCIATURA

$$T_l = \frac{C_{orsa}}{v_{avanzamento}} \quad v_a = an \quad C_{orsa} = \frac{D}{2}$$

3. FORATURA

$$T_l = \frac{2L}{an}$$

PORTATA VOLUMETRICA TRUCIOLO

$$P = 1000pav_t$$
$$P = pa\pi D_m n$$

FORATURA

1. MOTO DI TAGLIO

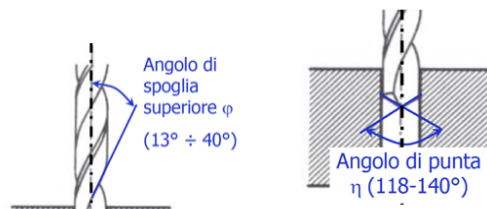
Rotatorio e continuo dell'**utensile**

2. MOTO DI ALIMENTAZIONE

Rettilineo dell'**utensile o del pezzo**

3. MOTO DI APPOSTAMENTO

Fa coincidere **gli assi di utensile e pezzo**



TIPI DI TRAPANO

1. COLONNA

Forature leggere a **d<10mm**

2. MONTANTE

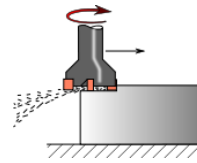
Robusti

3. RADIALI

Pezzi ingombranti

FRESATURA

La fresatura è una lavorazione per asportazione di materiale che consente di ottenere una vasta gamma di superfici mediante l'azione di un **utensile tagliente a geometria definita**



TIPI DI DENTE

Le frese sono utensili **pluritaglianti**

1. DENTE A SEGA

Angoli di **affilatura e numero di denti variabili** in funzione dell'esecuzione

2. DENTE SPOGLIATO (PROFILO COSTANTE)

Il tagliente è profilato secondo una **spirale logaritmica**.

CARATTERIZZAZIONE

MOTO

- CONCORDANZA
- OPPOSIZIONE

TIPI DI FRESA

- CILINDRICHE
- CILINDRICHE-FRONTALI
- SCANALATURE A T
- A 3 TAGLI

TIPI DI LAVORAZIONI

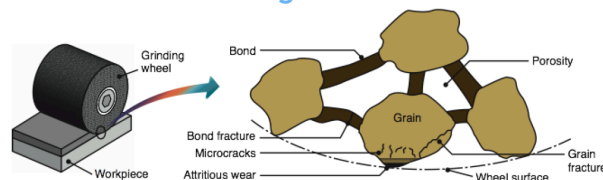
- SPIANATURA
- CONTORNIATURA
- LAVORAZIONI CAVE

MECCANICA FRESATURA

$$V_t = \frac{\pi DN}{1000} \quad V_a = a_z z n$$

RETTIFICA

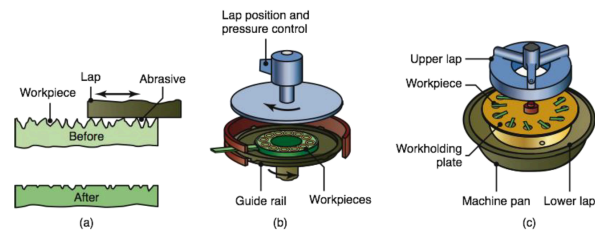
Asportazione di una **minima quantità di truciolo** da parte di **piccoli grani abrasivi a geometria casuale**



- TONDO
- PIANO

LAPPATURA

La lappatura (o lapping in inglese) è un'operazione meccanica che si esegue su una superficie **metallica, ceramica o vetrosa**, per rendere **minima la sua rugosità**;



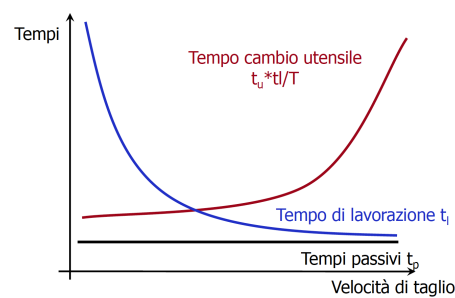
OTTIMIZZAZIONE COSTI

PARAMETRI MODELLO

- VELOCITA' AVANZAMENTO V_a
- VELOCITA' TAGLIO V_t
- PROFONDITA' PASSATA P

CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE

- MINIMO COSTO
- MASSIMA PRODUTTIVITA'



$$C = c_p t_p + c_p t_l + c_p t_u \frac{t_l}{T} + c_u \frac{t_l}{T}$$

c_p COSTO DEL PERSONALE

c_u COSTO UTENSILE

t_p t_l t_u TEMPO PREPARAZIONE-LAVORAZIONE-CAMBIOUTENSILE

$$t_l = \frac{\pi DL}{av_t 1000}$$

T TEMPO DI VITA UTENSILE

$$C = V_t T^n$$

$\frac{t_l}{T}$ FRAZIONE VITA - SINGOLA LAVORAZIONE

**OTTIMIZZAZIONE
TAGLIENTE**

DURATA ECONOMICA DEL TAGLIENTE

$$T_e = \left(\frac{1}{n} - 1\right)\left(t_u + \frac{C_u}{C_p}\right)$$

VELOCITA' DI TAGLIO OTTIMALE

$$V_t = \frac{C}{T_e^n}$$

**OTTIMIZZAZIONE
PRODUZIONE**

TEMPO OTTIMALE

$$T_p = \left(\frac{1}{n} - 1\right)t_u$$

VELOCITA' DI TAGLIO OTTIMALE

$$V_c = \frac{C}{T_p^n}$$

E1 - UML Activity diagram

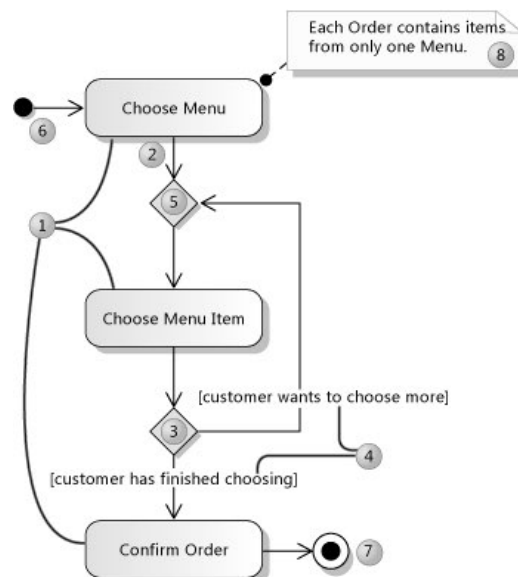
DEFINIZIONE

E' un diagramma definito all'interno dello Unified Modeling Language (UML) che definisce le attività da svolgere per realizzare una data funzionalità.

ELEMENTI



EX



PROCESSO

Un processo è caratterizzato da una serie di attività collegate fra loro per fornire un certo output a partire da input



• FLUSSI INFORMATIVI

Flow chart - UML

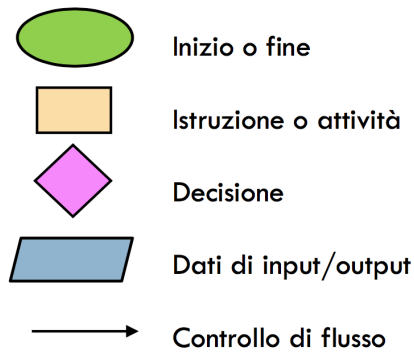
• FLUSSI FISICI

Flow PROCESS CHART

• FLUSSI FUNZIONALI

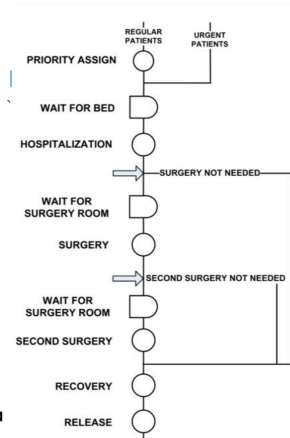
Diagrammi IDEF0

FLOW CHARTS

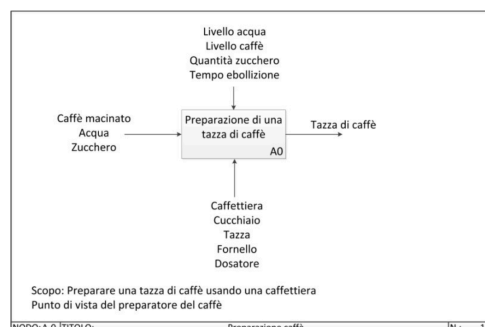
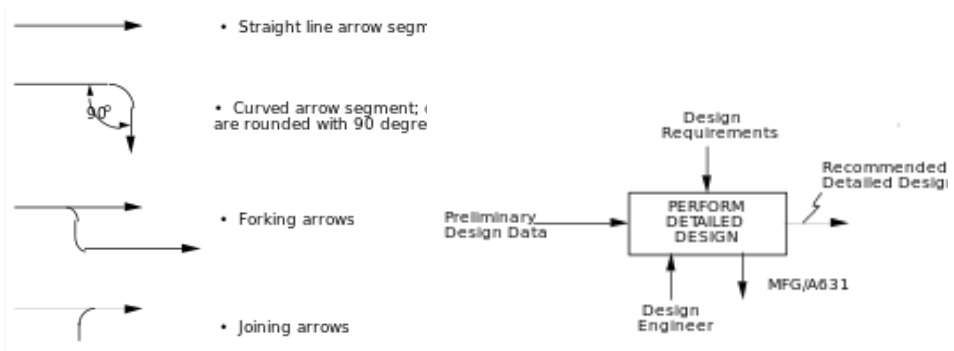
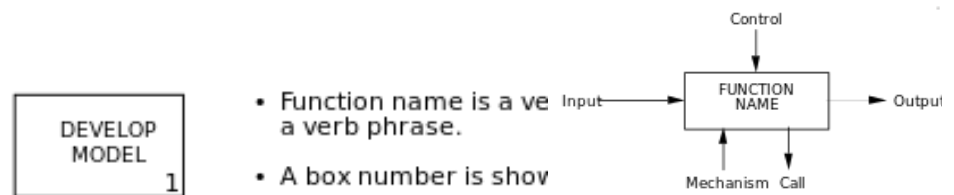


FLOW PROCESS CHART

- **Attività**, cambia le caratteristiche fisiche o chimiche del materiale
- ➡ **Trasporto**, spostamento di persone o materiale (può essere accompagnato dalla misura di una distanza)
- ⤵ **Attesa** di materiale o macchine prima che si possa accedere all'attività successiva
- ▽ **Magazzino**, per immagazzinamento di materiale
- **Ispezione**, controllo sulla qualità o quantità di materiale



IDEFO



E2- Sistemi integrati e flessibili

DEFINIZIONE

Integrazione di processi, operazioni e gestione, al fine di ottimizzare **costi, tempi e qualità**.

SISTEMA OLISTICO

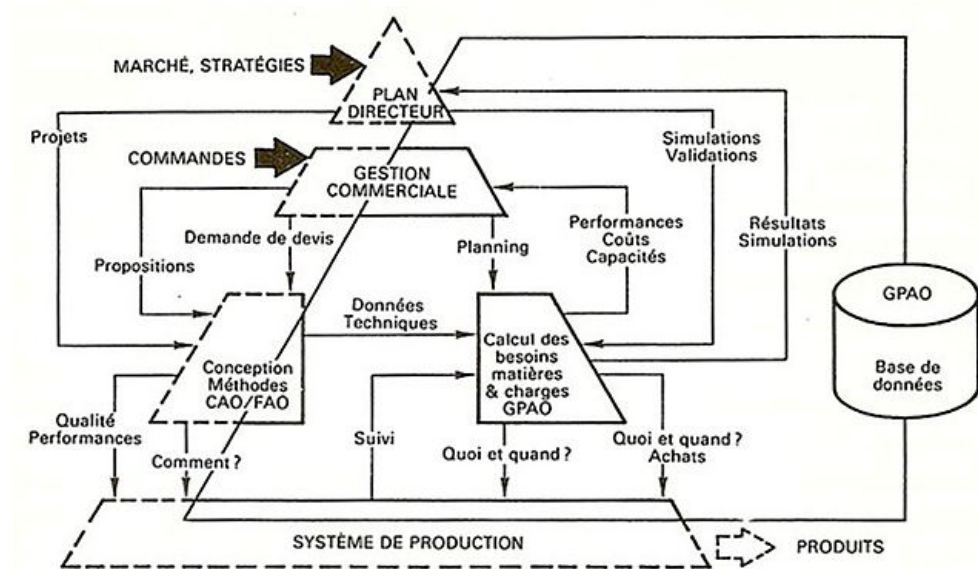
La disciplina si iniziò a sviluppare intorno agli **anni '60**.

- AUMENTO COMPETITIVITA'
- RICHIESTA QUALITA'
- AUMENTO VARIANTI PRODOTTO
- COSTO LAVORO ALTO
- PLC BASSO
- RIADATTAMENTO

Capacità di riadattamento a fronte di un disturbo: Se disponibilità di una materia prima diminuisce (quindi aumenta il prezzo), occorre trovare dei materiali alternativi, ma la scelta dipende anche dagli effetti che si avranno su qualità del prodotto, produttività e costo

CIM

La produzione integrata di fabbrica o CIM (Computer Integrated Manufacturing) è **l'integrazione automatizzata tra i vari settori** di un sistema di produzione (progettazione, ingegnerizzazione, produzione, controllo della qualità, pianificazione della produzione e marketing) al fine di **minimizzare i tempi di sviluppo** di un prodotto, **ottimizzare la gestione** delle risorse ed eventualmente **essere flessibili** per coprire quanto più possibile il mercato.



- MIGLIORE TTM
- OTTIMIZZAZIONE COSTI
- CONTROLLO DI GESTIONE
- ADATTATIVITA'

TIPI DI SOFTWARE

- DATI DI PRODOTTO
- DATI DI LAVORAZIONE
- DATI OPERAZIONALI
- DATI DELLE RISORSE

Vi sono **diverse tecnologie coinvolte**

Molti processi vengono simulati con **software di simulazione appositi**

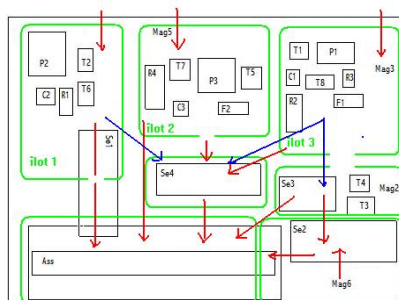
- **CAD** Computer aid design
Oltre alla caratteristiche geometriche e dimensionali, si possono inserire anche informazioni su **materiali, specifiche e istruzioni macchina**.
Analisi ingegneristica su **tensioni, vibrazioni, calore, solidificazione**, ecc..
DBMS per gestire componenti standard
- **CAM** Computer aided manufacturing
Trasferimento diretto delle informazioni da **CAD a CAM**.
Le istruzioni per le macchine vengono **create automaticamente** a partire dai dati generati dal CAD
- **CAPP** Computer aid process planning
Definisce le **operazioni necessarie** ad eseguire un processo, i relativi parametri e la loro sequenza (**Generativo o Derivato**)

ROUTING SHEET		
CUSTOMER'S NAME: Midwest Valve Co.		PART NAME: Valve body
QUANTITY: 15		PART NO.: 302
Operation No.	Description of operation	Machine
10	Inspect forging, check hardness	Rockwell tester
20	Rough machine flanges	Lathe No. 5
30	Finish machine flanges	Lathe No. 5
40	Bore and counter bore hole	Boring mill No. 1
50	Turn internal grooves	Boring mill No. 1
60	Drill and tap holes	Drill press No. 2
70	Grind flange end faces	Grinder No. 2
80	Grind bore	Internal grinder No. 1
90	Clean	Vapor degreaser
100	Inspect	Ultrasonic tester

- **FMS** Flexible manufacturing system
- **CAIP** Computer aid measurement
- **ERP**

GROUP TECHNOLOGY

L'idea base del concetto di **Group Technology (GT)** è quello di suddividere un insieme tecnologico in sottoinsiemi tra di loro simili chiamati **famiglie**.
Lo scopo di questa suddivisione è quello di ottenere dei vantaggi economici (sia in termini di costo che di tempi) ed organizzativi.



- STANDARDIZZAZIONE UTENSILI
- RIDUZIONE MOVIMENTAZIONE
- SEMPLIFICAZIONE PROCESSO
- RIDUZIONE TTM

La divisione dei pezzi in famiglie avviene tramite tre principali metodologie:

- ANALISI VISUALE
- CODIFICA

Consentono di raggruppare i pezzi assegnando loro un **codice** che tiene conto delle loro caratteristiche **morfologiche e/o tecnologiche**. I metodi di codifica sono basati sull'applicazione di **due passi successivi**:

Standardizzazione del tempo di progettazione e minimizzazione dei duplicati

CODIFICA a ciascun pezzo viene assegnato un opportuno codice in grado di descriverne le caratteristiche di **produzione o progettazione**;

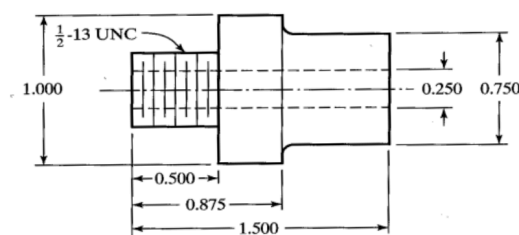
CLASSIFICAZIONE i pezzi vengono classificati in famiglie aventi codici simili.

Monocodice, policode o ibrido. EX: Opitz, multiclass, KK-3

- PRODUCTION-FLOW ANALYSIS

CODIFICA OPITZ

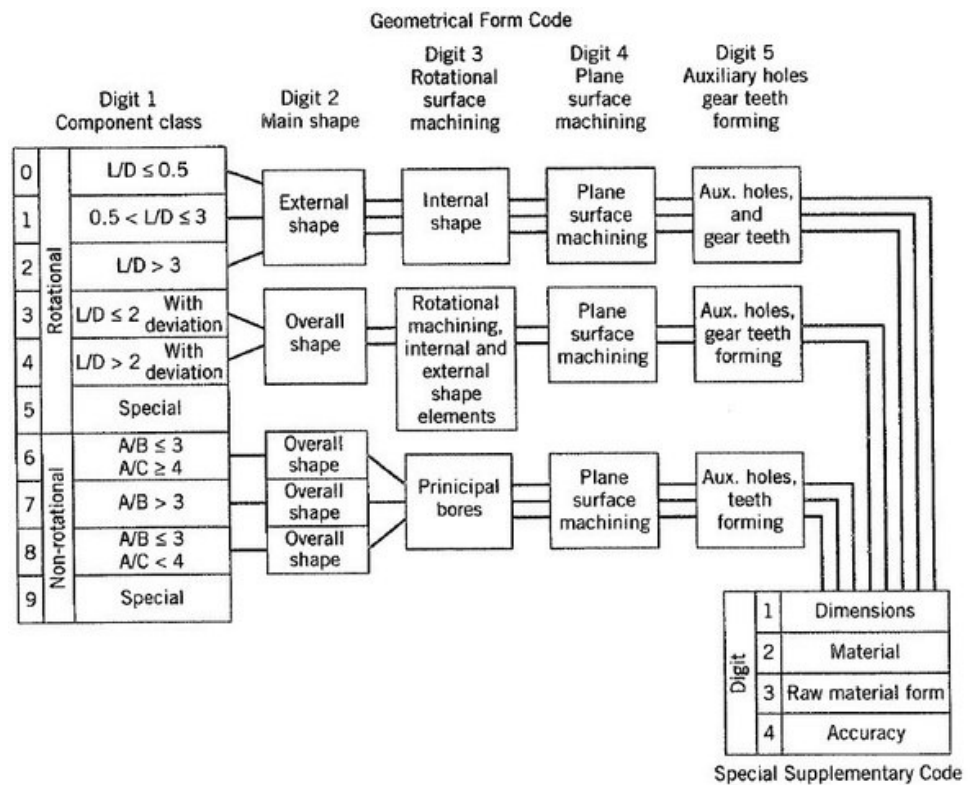
- 1-5 FORMA
 - 1 Se pezzo è rotazionale e rapporto L/D
 - 2 Forma esterna
 - 3 Forma interna
 - 4 Requisiti per superfici piane
 - 5 Altre caratteristiche (ex: fori)
- 5-9 ATTRIBUTI DI LAVORAZIONE
- 9-13 CODICE SECONDARIO INTERNO



□ Codifica

- | | |
|--|-------------|
| □ Length-to-diameter ratio: $L/D = 1.5$ | Digit 1 = 1 |
| □ External shape: stepped to both ends with screw thread | Digit 2 = 5 |
| □ Internal shape: part contains a through hole | Digit 3 = 1 |
| □ Plane surface machining: none | Digit 4 = 0 |
| □ Auxiliary holes, gear teeth, etc.: none | Digit 5 = 0 |

- Codice del pezzo nella codifica Opitz è 15100



PFA

PRODUCTION FLOW ANALYSIS

Metodo alternativo per identificare famiglie di pezzi e celle di lavorazione.
Utilizza **informazioni del piano di produzione** (routing sheet) anziché
attributi di progettazione

Partendo dalla matrice delle lavorazioni dei pezzi si **ordinano le righe e le colonne per ottenere una matrice a blocchi diagonali**

	M1	M2	M3	M4
P1			1	1
P2	1	1		
P3			1	1
P4	1	1		
P5			1	1

	M1	M2	M3	M4
P2	1	1		
P4	1	1		
P1			1	1
P3			1	1
P5			1	1

- Metodo per controllare che non ci siano celle sovrapposte
- ▣ Si traccia una riga a partire dalla prima macchina
- ▣ In corrispondenza degli 1 si cercano gli altri 1 sulla stessa riga
- ▣ Si traccia una riga e si procede finché non ci sono altri 1

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1	1	1					
P2			1	1	1		
P3		1					
P4			1	1			
P5	1						
P6			1		1		
P7							1
P8						1	1
P9				1			
P10						1	

- Ultimo ciclo a partire da M6

- Terza cella comprende macchine M6 e M7 e prodotti P7, P8 e P10

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1	1	1					
P3		1					
P5	1						
P2			1	1	1		
P4			1	1			
P6			1		1		
P9				1			
P7							1
P8						1	1
P10						1	

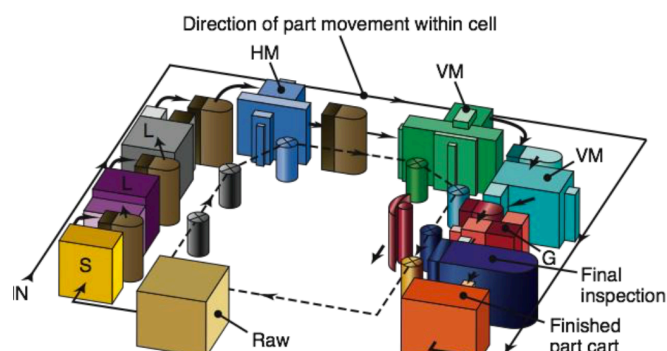
ORDINAMENTO BINARIO

Assegnare ad ogni colonna e riga una **potenza di 2**. fare le somme di queste e ordinarle in maniera **decrescente**.

	M1	M4	M6	M2	M7	M3	M5	M8			
P6	1	1	1						148	256	$148 = 1 \cdot 128 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 4$
P4	1	1							144	128	
P3	1		1						132	64	
P7				1	1				66	32	
P1				1					64	16	
P2						1	1	1	41	8	
P5						1	1	1	41	4	
P8						1	1		40	2	
P9		1	1						20	1	
	128	16	4	64	2	32	8	1			
	448	385	321	48	32	14	14	12			

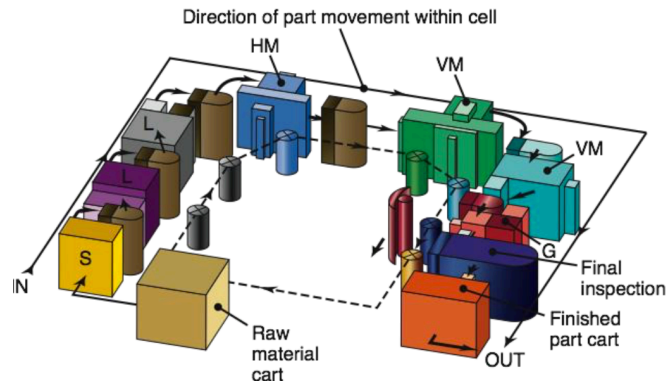
FLEXIBLE MANUFACTURING CELL

Flexible manufacturing cells allow the requirements placed on production due to the steadily growing number of variants, additional niche models and reduction in the lot size manufactured for spare parts to be met.



FLEXIBLE MANUFACTURING CELL

Flexible manufacturing cells allow the requirements placed on production due to the steadily growing number of variants, additional niche models and reduction in the lot size manufactured for spare parts to be met.



- ROBOT/OPERATORE CELLA
- DIVERSE CONFIGURAZIONI PEZZO
- AUTO-CONTROLLO
- LOTTIZZAZIONE

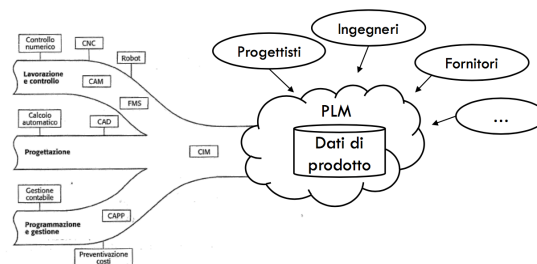
TABLE 39.1

Comparison of General Characteristics of Transfer Lines and Flexible Manufacturing Systems

Characteristic	Transfer line	FMS
Part variety	Few	Infinite
Lot size	> 100	1-50
Part-changing time	Long	Very short
Tool change	Manual	Automatic
Adaptive control	Difficult	Available
Inventory	High	Low
Production during breakdown	None	Partial
Justification for capital expenditure	Simple	Difficult

PLM

La gestione del ciclo di vita del prodotto, o **Product Lifecycle Management (PLM)** è un approccio strategico alla **gestione delle informazioni, dei processi e delle risorse** a supporto del ciclo di vita di prodotti e servizi, dalla loro ideazione, allo sviluppo, al lancio sul mercato, al ritiro.



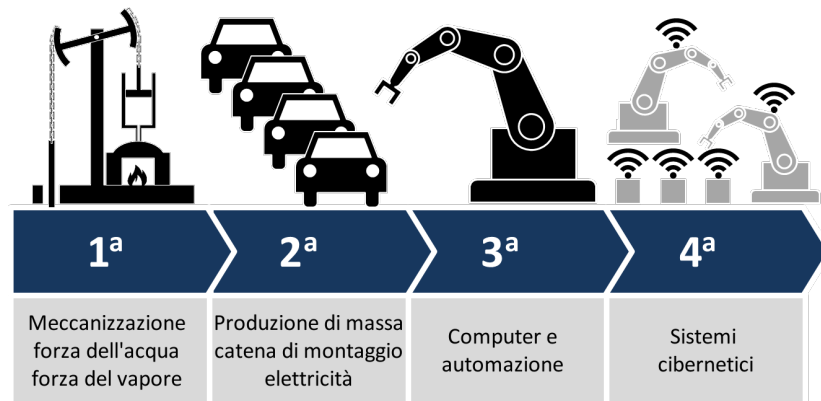
EXPERT SYSTEM

In artificial intelligence, an expert system is a computer system that **emulates the decision-making ability of a human expert**.

- KNOW-HOW
- ISTANZE IF-THEN-ELSE

INDUSTRIA 4.0

Il termine **Industria 4.0** indica una tendenza dell'automazione industriale che integra alcune nuove tecnologie produttive per migliorare le condizioni di lavoro e aumentare la produttività e la qualità produttiva degli impianti.



- **INTEROPERABILITA'**

Capacità di macchine persone e sistemi di comunicare tra loro

- **TRASPARENZA INFORMAZIONI**

- **SUPPORTO DECISIONALE**

- **DECENTRAMENTO DECISIONALE**

E3 - Processi non convenzionali

DEFINIZIONE

Le **lavorazioni non convenzionali** sono processi tecnologici apparsi negli ultimi 50 anni grazie al progresso tecnico che ha permesso di sfruttare **principi fisici prima non disponibili** per lavorare materiali in cui i processi convenzionali sono inefficaci o antieconomici. Si basano su processi termici, chimici, elettrici o meccanici diversi da quelli tradizionali

Vengono classificati in base alle fonti di energia utilizzate:

- **ELETTRICA**

Elettroerosione

- **MECCANICA**

Taglio a getto d'acqua, ultrasuoni

- **TERMICA**

Fascio laser, arco al plasma

- **CHIMICA**

Elettrochimica, fotochimica e asportazione chimica

ELETTROEROSIONE

L'elettroerosione è una tecnologia di lavorazione che utilizza le **capacità erosive delle scariche elettriche**. È utilizzabile solo su buoni conduttori, essenzialmente i metalli.

- **UTENSILE**

Scelto in modo da minimizzare l'erosione dell'utensile stesso.

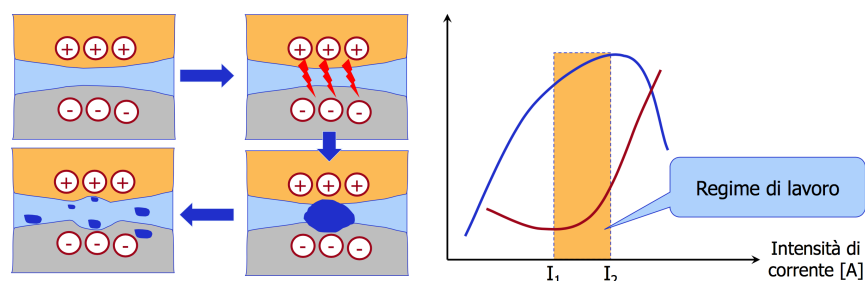
- **DIELETTRICO**

- **PEZZO DA LAVORARE**

- **CORRENTE**

Il processo consiste nel avvicinamento del utensile da taglio (detto elettrodo) al materiale da lavorare, il tutto all' **interno di un dielettrico** liquido. L'utensile viene alimentato con un potenziale positivo rispetto al materiale lavorato. Quando la vicinanza del utensile rispetto al materiale è sufficientemente ridotta da rompere il dielettrico e fa fluire la corrente attraverso di esso, gli elettroni generano un canale di plasma (detto arco) che fonde la superficie del materiale.

Interrompendo la corrente il canale implode e genera dei residui, lavati col dielettrico.



Usura utensile vs Volume asportato

- **LAVORAZIONE ALTAMENTE TECNOLOGICA**

- **ALTERAZIONE TERMICA NELLA ZONA DI LAVORAZIONE**

Vengono elaborate le seguenti lavorazioni per elettroerosione:

- **IMPRONTATURA**

Stampi, viti e chiavette

- **TAGLIO**

Taglio con lama, filo, disco

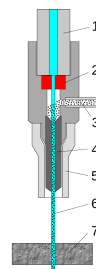
- **RETTIFICA**

Utilizzata con pezzi di elevate dimensioni

TAGLIO A GETTO D'ACQUA

*Il taglio a getto d'acqua è una tecnologia di taglio che utilizza un getto d'acqua ad altissima pressione, **fino a 7.000 bar**, per tagliare numerosi materiali. Spesso viene **aggiunto un abrasivo** al fine di lavorare i **materiali duri***

	Spessore [mm]	Pressione [MPa]	Vel. avanz. [mm/s]
Legno	6	300	17
Kevlar	3	300	50
Cuoio	2,2	300	330
Poliestere	2	430	2500
Cartone	1	250	8330



- **MATERIALI DURI**
- **MATERIALI MORBIDI**
- **MATERIALI POLVERI NOCIVE**
- **WATERJET**

Lavorazioni dure con flusso acqua a velocità **supersonica (1 Mach)**, ugello di 0.5mm e pressione di 500Mpa.

Il calore di taglio fa **evaporare** l'acqua utilizzata.

- **TAGLIO GEOMETRIE COMPLESSE**
- **NO APPORTO CALORE**
- **ECOLOGICA**
- **ASSENZA POLVERI**
- **NO ROTTURA UTENSILE**
- **PRECISA**

- **JET LAG**

Perdita di precisione e direzione nella penetrazione del getto nel materiale

- **TAPER**

Non viene asportato tutto il materiale e il taglio risulta non uniforme

- **COSTO**

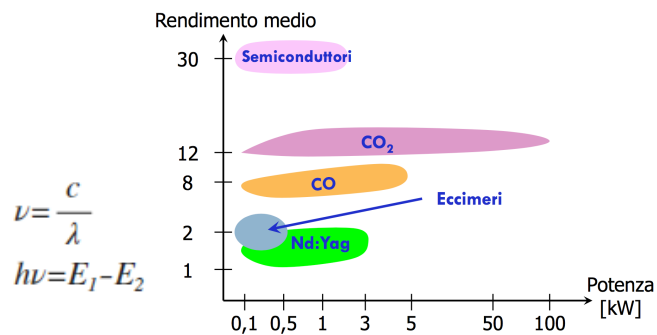
- **RUMOROSITA'**

- **MATERIALI NON METALLICI**

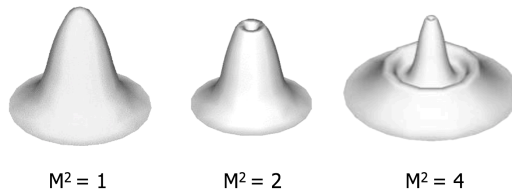
LASER

Il laser può tagliare i materiali in base a tre principi diversi: **per vaporizzazione, per fusione o per combustione.**

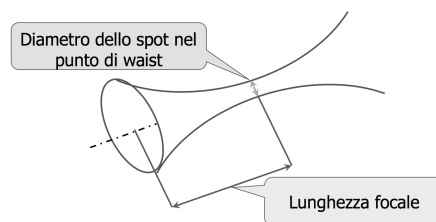
MONOCROMATICO COERENTE COLLIMATO IRRADIANTE



- POTENZA
- LUNGHEZZA D'ONDA
- MODO TEMPORALE
- MODO SPAZIALE



- DIMENSIONI DEL FASCIO



- KERF RIDOTTA
- ALTERAZIONE TERMICA RIDOTTA
- ELEVATA DENSITA' DI POTENZA
- NO CONTATTO
- ASSENZA RESIDUI/OSSIDI
- COSTO
- CRATERIZZAZIONE
- RIFLETTIVITA'
- DANNEGGIAMENTO TERMICO

E4/5 - Controllo numerico

DEFINIZIONE

A system in which actions are controlled by the direct insertion of numerical data at some point

• DNC

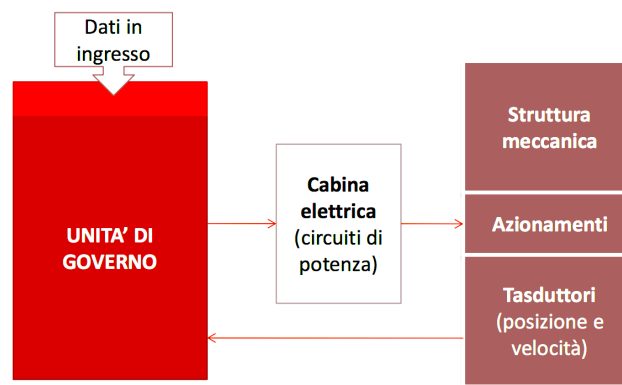
Direct numeric controll, dove la testa è rappresentata da un **computer centrale**

• CNC

Computer numeric controll, dove **ogni unità è dotata di testa**.

• MACCHINE MULTI/MONO SCOPO

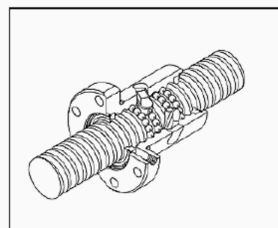
In gradi di compiere un'unica lavorazione di base o più di queste.



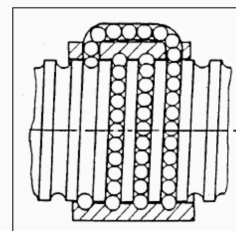
TRASMISSIONE DEL MOTO

Il controllo numerico di una macchina si basa sulla misura della posizione delle sue parti mobili tramite **encoder** e sull'**azionamento controllato di attuatori** (motori, pistoni idraulici o altro).

Nelle macchine utensili a CNC la traslazione degli assi avviene, di norma da due elementi: **il servomotore rotativo** e la **vite a ricircolo di sfere**.

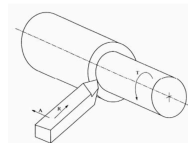


Ricircolo interno

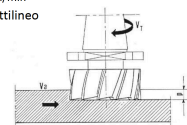


Ricircolo esterno

- T: moto di taglio rotatorio continuo impartito al pezzo
 - dipendente da velocità mandrino (giri/min) e diametro pezzo
- A: moto di alimentazione rettilineo impartito all'utensile
 - Avanzamento espresso in mm/giro
- R: moto di appostamento rettilineo
 - Profondità di passata (mm)



- Vt: moto di taglio rotatorio continuo impartito all'utensile
 - dipendente da velocità mandrino (giri/min) e diametro utensile
- Va: moto di alimentazione rettilineo impartito al pezzo
 - Velocità avanzamento in mm/min
- p: moto di appostamento rettilineo
 - Profondità di passata (mm)



TIPI DI LAVORAZIONE

• LAVORI PER ASPORTAZIONE DI TRUCCIOLO

Moti di taglio, movimentazione, appostamento

• TORNITURA

Moti di taglio rotatorio continuo, moto di alimentazione continuo dell'utensile, moti di appostamento rettilineo.

SGROSSATURA E FINITURA Richiedono generalmente utensili più precisi e velocità di avanzamento minori.

• FRESATURA

Lavori per superfici piane.

Moto di taglio rotatorio continuo impartito all'utensile e rettilineo al pezzo, moto di appostamento rettilineo

PERIFERICA E FRONTALE

ASSI MACCHINA

• X,Y,Z

Assi dell'utensile.

Z: asse del **mandrino**, con **verso positivo di allontanamento**.

portapezzo nei torni - portautensile nelle fresatrici

• U,V,W

Assi di rotazione paralleli a X,Y,Z

• A,B,C

Movimenti di rotazioni intorno agli assi **X,Y,Z**.

La rotazione è positiva quando, guardando dall'origine delle coordinate in direzione del verso positivo dell'asse, la **rotazione appare in senso orario**.

• 2 ASSI

Torni

• 2 1/2 - 3 - 4 - 5 ASSI

Fresatrici

• 5 ASSI

Robot

LINGUAGGIO EIA/ISO

Linguaggio di programmazione numerica internazionale, inalterato negli anni.

• BLOCCO

Informazioni geometriche + tecnologiche

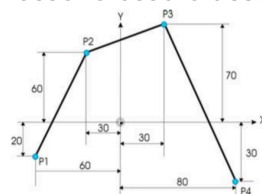
• PAROLA

Lettera d'indirizzo + sequenza di numeri

MODALI O TEMPORANEE

COORDINATE

Possono essere **assolute o incrementali**



X-60	Y-20
X-30	Y60
X30	Y70
X80	Y-30

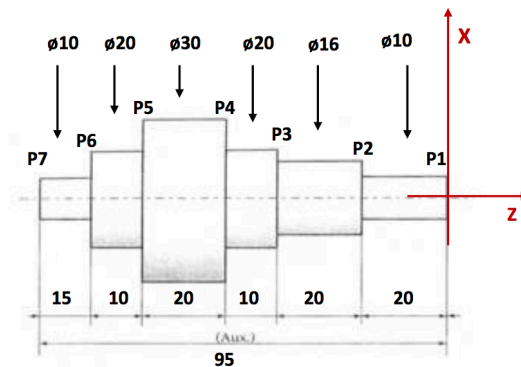
COORDINATE IN TORNITURA

• ASSOLUTE SONO DIAMETRALI

Rappresentano il **diametro del pezzo in quel punto** e non la distanza reale del punto dall'asse Z

• INCREMENTALI SONO RADIALI

- Definire le coordinate (X,Z) dei punti P1 - P17 rispetto al sistema di assi indicato
- Soluzione in coordinate **incrementali** (quote radiali)



- P1 (10, 0) [assolute]
- P2 (3,-20)
- P3 (2, -20)
- P4 (5, -10)
- P5 (0, -20)
- P6 (-5,-10)
- P7 (-5, -15)

ISTRUZIONI

- Indirizzi di movimento: A, B, C, U, V, W, X, Y e Z
- Funzioni macchina: F, G, M, N, S e T

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

Stesura programma CNC

1. Schema di alto livello
2. Identificazione coordinate delle lavorazioni
3. Scrittura del programma
4. Simulazione

- Scelta utensile e cambio utensile
- Rotazione mandrino e velocità avanzamento
- Posizionamento rapido vicino al pezzo
- Cicli di sgrossatura
- Cicli di finitura
- Istruzioni di arresto



ZERI

CODICE	DEF
M	ZERO MACCHINA Ogni macchina è dotata di uno zero nel suo sistema di riferimento
R	ZERO RIFERIMENTO
W	ZERO PEZZO Viene calcolata una quota zero per ogni pezzo in lavorazione
E	ZERO UTENSILE

CODICE	DEF
N	ZERO INNESTO

VARIE

CODICE	DEF
G00	POSIZIONAMENTO
G01	INTERPOLAZIONE LINEARE Coordinate punto iniziale, velocità mandrino S e velocità di avanzamento F
G02	INTERPOLAZIONE CIRCOLARE ORARIA Coordinate punto iniziale, coordinate del centro o raggio r , e punto finale o estensione angolare .
G03	INTERPOLAZIONE CIRCOLARE ANTIORARIA Condizioni come sopra
G90	COORDINATE ASSOLUTE
G91	COORDINATE INCREMENTALI
G92	ZERO PEZZO = ZERO TORNITURA
G94	VELOCITA' AVANZAMENTO F MM/MIN
G95	VELOCITA' AVANZAMENTO F MM/GIRO
G96	VELOCITA' TAGLIO S M/MIN
G97	VELOCITA' TAGLIO S GIRI/MIN
S	VELOCITA' MANDRINO
F	VELOCITA' DI AVANZAMENTO
T	SCELTA UTENSILE Il primo blocco contiene il numero utensile, il secondo il numero di correzione o blocco
M	ISTRUZIONI AUSILIARIE Rimangono attive nel blocco e sono eseguite prima del movimento . Massimo 3istruzioni/blocco
G70	FINITURA Indico il contorno P e Q
G71	SGROSSATURA Primo blocco: distanza radiale U e distanza di svincolo R Secondo blocco: Blocco inizio e fine P-Q, spessore finitura su xz UW G71 U3 R2 G71 P20 Q40 U1 W0.5

E6 - Funzioni di supporto

COMPETITIVITA'

Produrre il miglior prodotto al minor costo. Perpetua ricerca dell'ottimo

- DIMENSIONI E PESO
- FACILITA' ASSEMBLAGGIO
- TRASPORTO COMPONENTI
- SICUREZZA
- OTTIMIZZAZIONE MATERIALI

Per migliorare facilità di assemblaggio, processo di lavorazione, costo e performances del materiale.

- SCELTA DEI PROCESSI

fusione, ricalcatura, estrusione, assemblaggio, asportazione per truciolo.
Dipende dalla **production rate**

COSTO DEI PROCESSI

- COSTO DEGLI UTENSILI
- PRODUCTION RATE
- COSTI FISSI
Energia, personale, ecc...
- COSTI PER INVESTIMENTI

ROBUSTEZZA

Progetto, sistema o processo si definisce robusto se **continua a funzionare** in modo accettabile nonostante le **variazioni dell'ambiente esterno**

PRESTAZIONI MACCHINE - CONDIZIONI AMBIENTALI

CONTROLLO STATISTICO

Un processo è in controllo statistico se il suo risultato **non è influenzato da cause identificabili**

PROCESSO FUORI CONTROLLO

- PUNTI FUORI DALLA BANDA
- VI SONO CONFIGURAZIONI SISTEMATICHE

CARTA DI CONTROLLO

Le carte di controllo sono uno strumento utilizzato nell'ambito della statistica per mantenere sotto controllo i vari parametri di un processo.

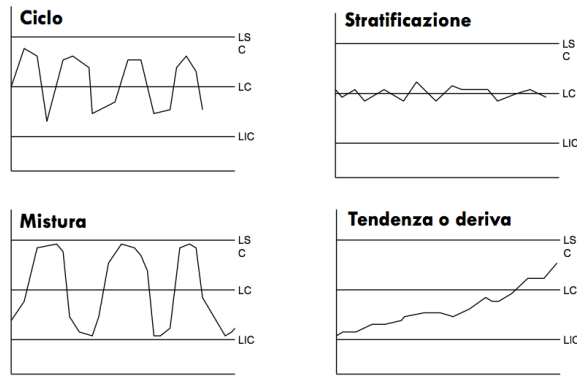
CARTA DI CONTROLLO DI SCHEWART

Sia x il valore di una misura di processo con variabilità σ e media μ

$$\begin{aligned} LSC_x &= \bar{\bar{X}} + A\bar{R} & LSC_R &= B\bar{R} \\ LC_x &= \bar{\bar{X}} & LC_R &= \bar{R} \\ LIC_x &= \bar{\bar{X}} - A\bar{R} & LIC_R &= C\bar{R} \end{aligned}$$

Numerosità campione (n)	A	B	C
2	1.880	3.268	0
3	1.023	2.574	0
4	0.729	2.282	0
5	0.577	2.114	0
6	0.483	2.004	0
7	0.419	1.924	0.076
8	0.373	1.864	0.136
9	0.337	1.816	0.184
10	0.308	1.777	0.223

PATTERN FUORI CONTROLLO



MANUTENZIONE

Interventi di correzione

- **CORRETTIVA - A GUASTO**
Economica ed efficace
- **PREVENTIVA - A TEMPO FISSO**
Può non essere necessaria e causare guasti
- **PREDITTIVA - GUASTO IMMINENTE**
Costosa da implementare e dannosa se non implementata correttamente

$$CFM = C_s E(x) = \sum x_i P(X = x_i)$$

$$CMP = C_{sett} + C_s g_{fuori-g}$$

$$MTBF = \frac{TT - T_{not}}{n_g}$$

	FORMULE
TRIBOLOGIA	$\tau_a = \mu P \quad \tau_a = m \frac{Y}{\sqrt{3}}$
LAVORI VIRTUALI	$L = L_{unif} + L_{rid} + L_{attr} \quad L_{unif} = \bar{Y}\epsilon V \quad L_{attr} = \mu p S c$
DUREZZA BRINELL	$HB = 0,102 \frac{F}{S_{impr}} = 0,102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{CON } 0,2D \leq d \leq 0,5D$ CORREZIONE MAYER $P = a d^n$ a: resistenza alla penetrazione iniziale n: dipende dal materiale
DUREZZA VICKERS + KNOOP	$HV = 1,845 \frac{P}{d^2} \quad HK = 14,2 \frac{P}{L^2} \quad L: \text{Lunghezza asse impronta}$
PROVE DI TRAZIONE	$\sigma_n = \frac{F}{S_0} = Ee \quad e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \epsilon = \ln(1 + e) = \ln \frac{S_0}{S}$ $\sigma = \frac{F}{S} \quad \sigma = \sigma_n(1 + e) \quad l_0 S_0 = l S \quad \text{LIM. DI STAB. } \frac{d\sigma}{d\epsilon} = \sigma$
ELASTICITA'	$\epsilon_i = \frac{1}{E}[\sigma_i - \nu(\sigma_j + \sigma_k)] \quad \text{VELOCITA' DI D.PLASTICA: } \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{v}{L}$ TENSIONI DEVIATORICHE $S_{dev-i} = \sigma_i - \sigma_m$ CRITERIO DI TRESCA $\sigma_{max} - \sigma_{min} = Y$ CRITERIO DI VON MISES $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$ HOLLOMON: $\sigma = k \epsilon^n \quad \bar{\sigma} = \frac{C \epsilon_e^n}{n+1}$ TENSIONE EQUIVALENTE (=LIMITE SNERVAMENTO) $\epsilon_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$ DEFORMAZIONE EQUIVALENTE ($L_e = \epsilon_e \sigma_e$) $\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad \text{ROTTURA: } \sigma_e = Y$ TENSIONE UNIFORME $L_{unif} = \bar{Y}\epsilon V \quad \text{T.COMPRESS. } Y = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \quad \bullet Y = \sigma_1 - \sigma_3$ PLAS-EL $\sigma = E(\epsilon - \epsilon_r)$
FONDERIA	MODULO RAFF. MATEROZZA $M = \frac{V}{S} \quad T = c M^n \quad h_m = h_f - r$ SPINTE METALL. $F = Vg(\rho_s - \rho_l) \quad F_{faccia} = \frac{F}{2} \quad p + \rho \frac{v^2}{2} + \rho gh = C$
ESTRUSIONE	$Q_{estr} = KP \quad K = \frac{\pi D^4}{128 \eta l_{estr}} \quad \nu_{est} = \frac{Q}{A_{estr}}$
TAGLIO	$\beta = 90 - (\gamma + \alpha) \quad y_s = \cotan \varphi + \tan(\varphi - \gamma) \quad v_s = v_f + v_t$ $2\varphi + \beta - \gamma = C \quad F_t = K_s A \quad K_s = K_{s0} A^{-\frac{1}{n}} \quad \tan \beta = \frac{F}{N}$ • TAGLIO ROTATORIO $V_t = \frac{\pi D n}{1000} \quad [\frac{m}{min}]$ • AVANZAMENTO LONGITUDINALE $V_{avanzamento} = a_{avanzamento-giro} n$

	FORMULE
UTENTILI	$C = V_t T^n$ PORTATA VOL. TRUCCIOLO $P = 1000 p a v_t$ $P = p a \pi D_m n$
MASCHIATURA	$V_t = \frac{\pi D N}{1000}$ $V_a = a n$ $T_l = \frac{L}{a n}$ $MRR = P_{Truccolo} = \frac{D a V_t}{4}$
TORNITURA	<p>1. TORNITURA CILINDRICA</p> $T_l = \frac{C_{orsa}}{v_{avanzamento}} \quad v_a = a n \quad C_{orsa} = C + Extra$ <p>2. SFACCIATURA</p> $T_l = \frac{C_{orsa}}{v_{avanzamento}} \quad v_a = a n \quad C_{orsa} = \frac{D}{2}$ <p>3. FORATURA</p> $T_l = \frac{2L}{a n}$
FRESATURA	$V_t = \frac{\pi D N}{1000}$ $V_a = a_z z n$
OTTIMIZZAZIONE COSTI	$C = c_p t_p + c_p t_l + c_p t_u \frac{t_l}{T} + c_u \frac{t_l}{T}$ <p> $c_p c_u$ COSTO DEL PERSONALE/UTENSILE $t_p t_l t_u$ TEMPO PREPARAZIONE-LAVORAZIONE-CAMBIOUTENSILE T TEMPO DI VITA UTENSILE $\frac{t_l}{T}$ FRAZIONE VITA - SINGOLA LAVORAZIONE </p> <p>DURATA ECONOMICA $T_e = (\frac{1}{n} - 1)(t_u + \frac{C_u}{C_p})$ TEMPO OTTIMALE $T_p = (\frac{1}{n} - 1)t_u$</p> $C = V_t T^n \Rightarrow V_c = \frac{C}{T_p^n} \quad n = \frac{1000 v}{\pi D} \quad t_l = \frac{\pi D L}{a v_t 1000} = \frac{L}{a n}$
CONTROLLO PROCESSI	$LSC_x = \bar{X} + A \bar{R}$ $LSC_R = B \bar{R}$ $LC_x = \bar{X}$ $LC_R = \bar{R}$ $LIC_x = \bar{X} - A \bar{R}$ $LIC_R = C \bar{R}$
MANUTENZIONE	$CFM = C_s E(x) = \sum x_i P(X = x_i)$ $CMP = C_{sett} + C_s g_{fuori-g}$ $MTBF = \frac{TT - T_{not}}{n_g}$
TRAFILATURA ESTRUSIONE	$\epsilon_{eq} = \ln(\frac{A_0}{A_f})$ $\bar{y} = \sigma_m = \frac{C \epsilon^n}{1 + n}$ $F_r = \frac{Y A_0 \epsilon}{\eta}$ $L_r = F_r C = \frac{Y V \epsilon}{\eta}$
LAMINAZIONE	$\epsilon = \ln \frac{l_f}{l_0}$ $\epsilon_{eq} = \frac{2}{\sqrt{3}} \epsilon$ $\bar{\sigma} = \frac{C \epsilon_e^n}{n + 1}$ $L = \sqrt{\Delta H r}$ $P = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} (1 + \frac{\mu L}{2h})$ $F = PLW$ $C = FL$ $v_f = P_r v_r$ $Q_m = v_f \rho W h_f$

Note finali

Alcuni dei contenuti presenti nelle seguenti dispense sono stati liberamente tratti dai materiali didattici disponibili al Politecnico di Torino.

Le dispense sono state elaborate dal sottoscritto come complemento allo studio e non intendono in alcun modo sostituire la completezza dei libri di testo e delle lezioni dalle quali sono state liberamente tratte.

Le dispense sono state scritte per l'esame di Sistemi di Produzione dell'A.A. 2016-2017, docente Dario Antonelli, corso di laurea in Ingegneria Gestionale L8.

E' doveroso quindi citare alcuni delle fonti da cui sono stati liberamente tratti alcune parti di esercizi e/o metodologie di soluzione:

- Dario Antonelli, Giulia Bruno, Whiteboard e appunti del corso di Sistemi di Produzione, A.A. 2016-2017.
- wikipedia.org