



# SISTEMI ELETTRONICI PER L'AUTOMAZIONE E L'INDUSTRIA (SEAI)

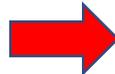
A.A. 2023-2024

INTRODUZIONE ALL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE, PREREQUISITI

# Prerequisiti di Meccanica: proprietà dei materiali

## Proprietà meccaniche (materiale soggetto a forze)

### - Resistenza meccanica (sollecitazioni statiche)

- Trazione 
- Compressione 
- Flessione 
- Torsione 
- Taglio 

### - Resilienza (sollecitazioni dinamiche, urti)

### - Durezza (sollecitazioni concentrate –impronta-)

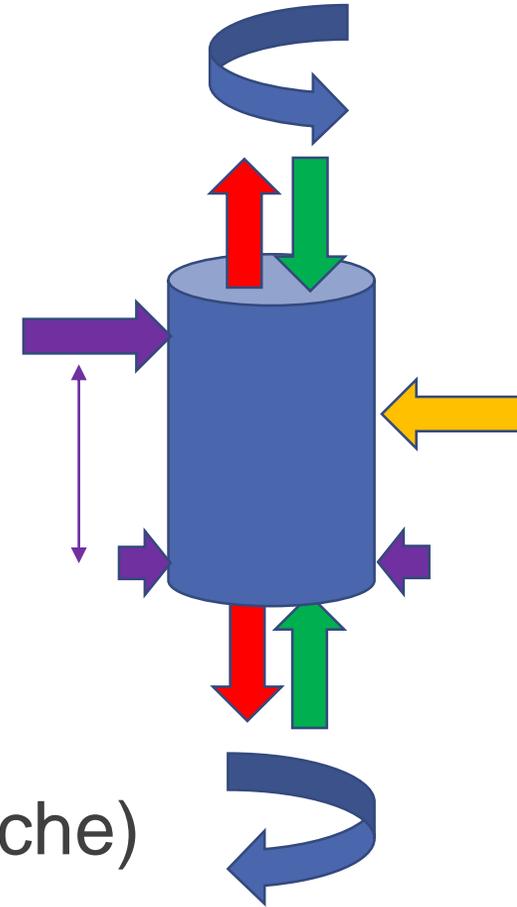
### - Resistenza alla fatica (sollecitazioni periodiche)

## Proprietà termiche (materiale soggetto a variazioni termiche)

### - Dilatazione, capacità, conduttività termica, T<sub>fusione</sub>

## Proprietà elettriche (modalità di realizzazione del prodotto)

### - Conducibilità / resistenza elettrica



# Prerequisiti di Meccanica: materiali tipici

**Metalli: acciaio, alluminio, rame**

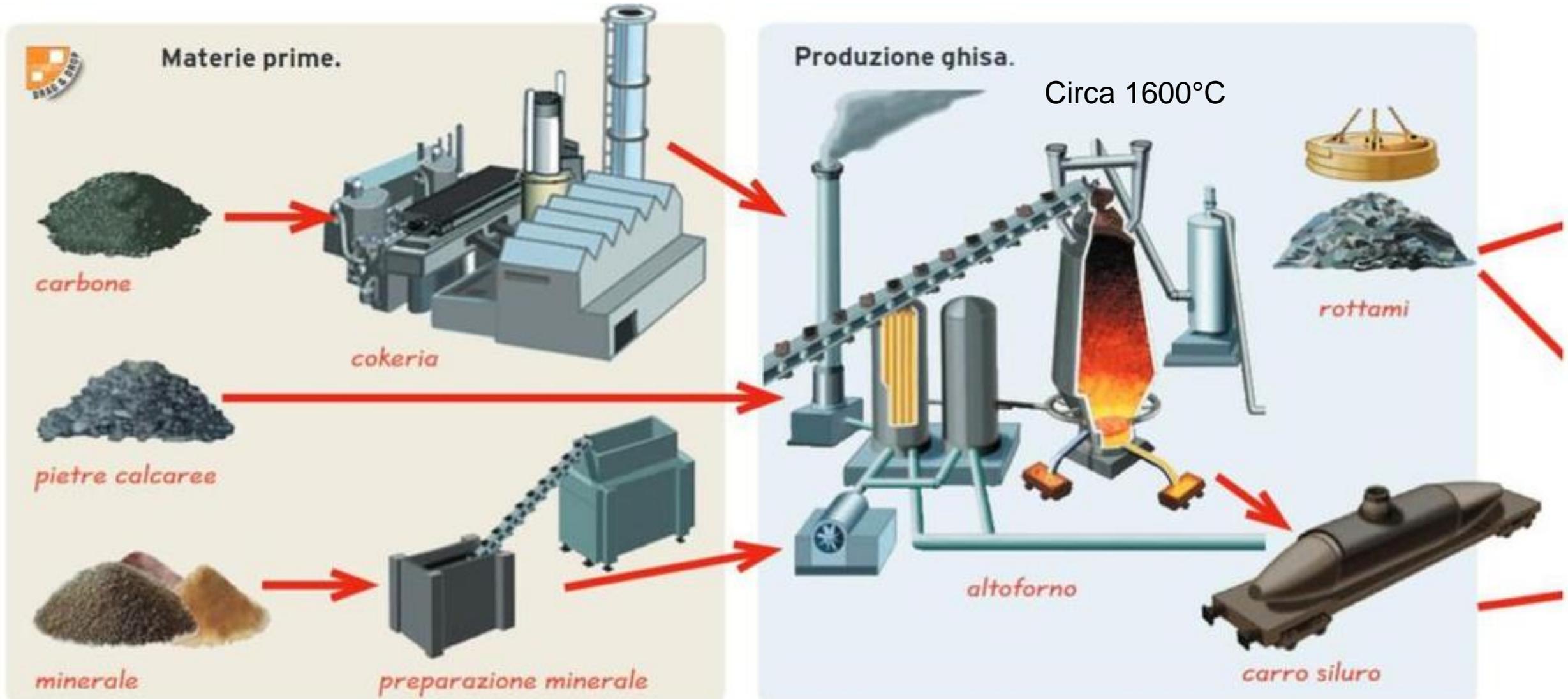
**Legno**

**Plastica**

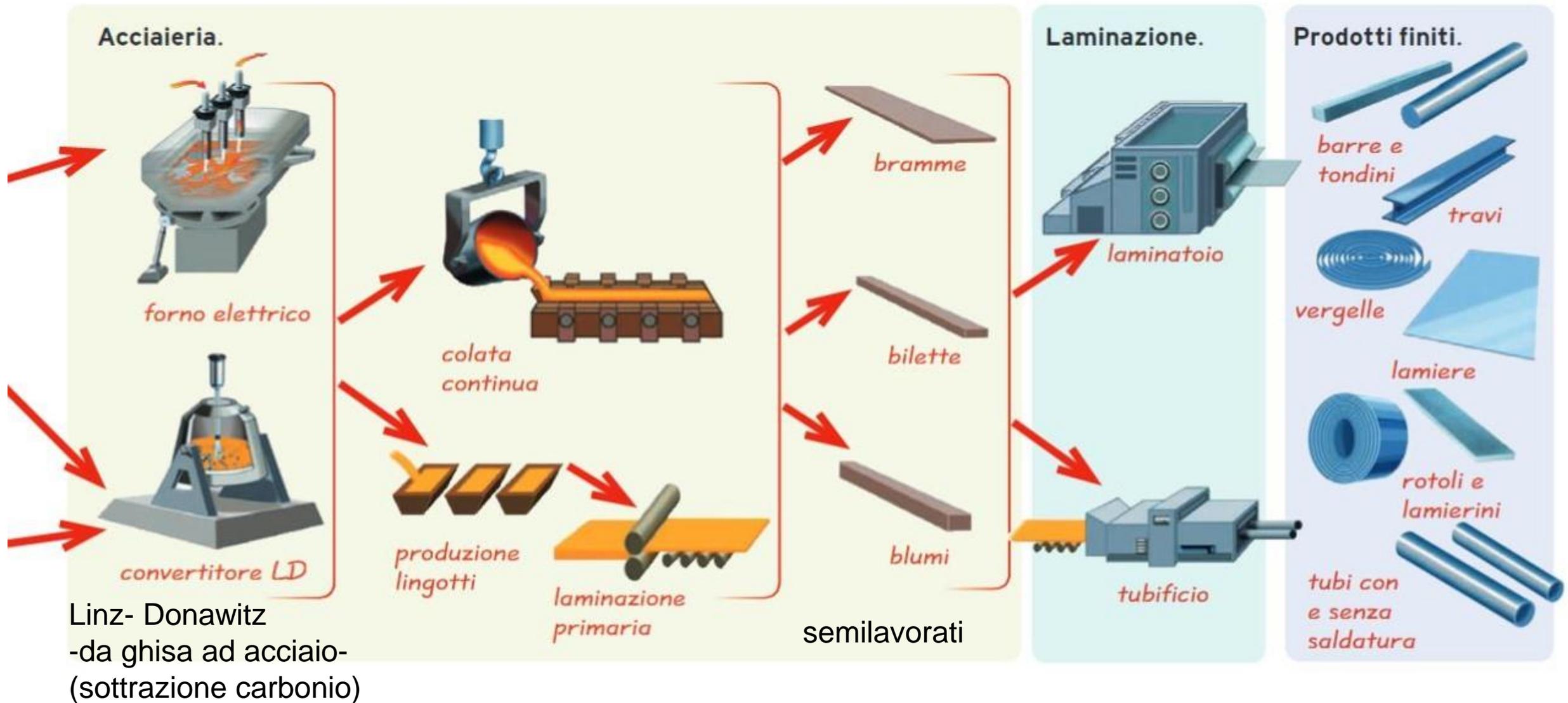
**Materiali organici: food&beverage**

**Materiali chimici: Pharma&Beauty**

# Prerequisiti di Meccanica: processi metallurgici



# Prerequisiti di Meccanica: processi metallurgici



# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni, trattamenti

## Lavorazioni meccaniche per asportazione di materiale ("truciolo")

## Lavorazioni plastiche

## Trattamenti termici

- es. TEMPRA = Riscaldamento e raffreddamento rapido (acqua)
- Impatto ambientale dei trattamenti termici

## Trattamenti superficiali

- Rimozione di materiale (es. lucidatura, molatura, incisione laser)
- Aggiunta di materiale (es. smaltatura, pittura, placcatura,...)

.... altro



# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni meccaniche

Foratura (crea fori)

Alesatura (lavora fori esistenti)

Brocciatura (crea scanalature)

**Tornitura** (pezzo gira, utensile trasla)

**Fresatura** (pezzo trasla, utensile gira)

Rettifica (tipo fresatura di precisione)

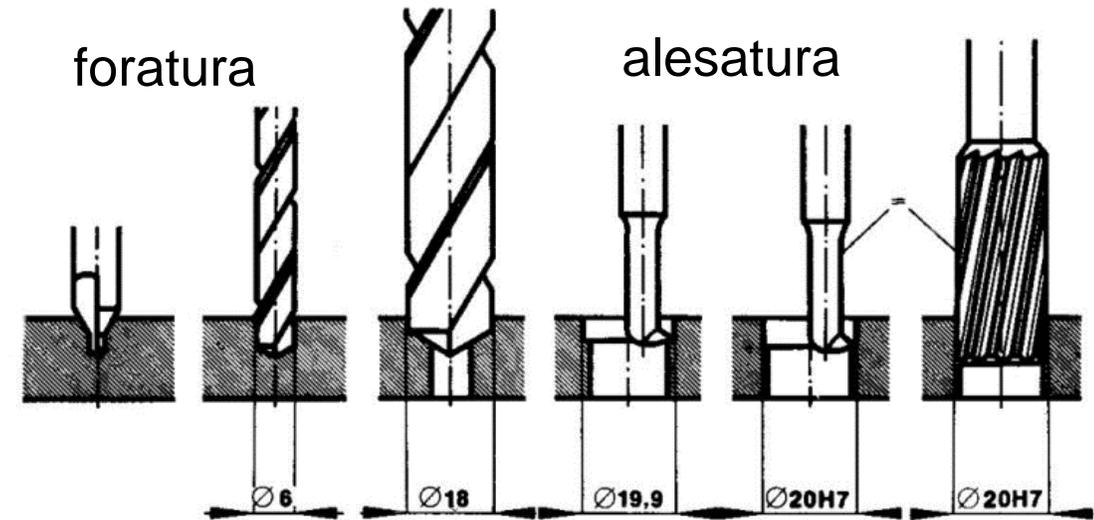
Filettatura (serve per filettare viti o dadi)

Taglio o cesoiatura (taglia tipo forbice materiale duro e in movimento)

Saldatura (collega due pezzi per fusione di materiale d'apporto –esterno-)

Limatura o molatura (elimina eccessi e scarti, ad esempio dopo taglio)

Lappatura (lavorazione finale tipo lucidatura) ... **altro**



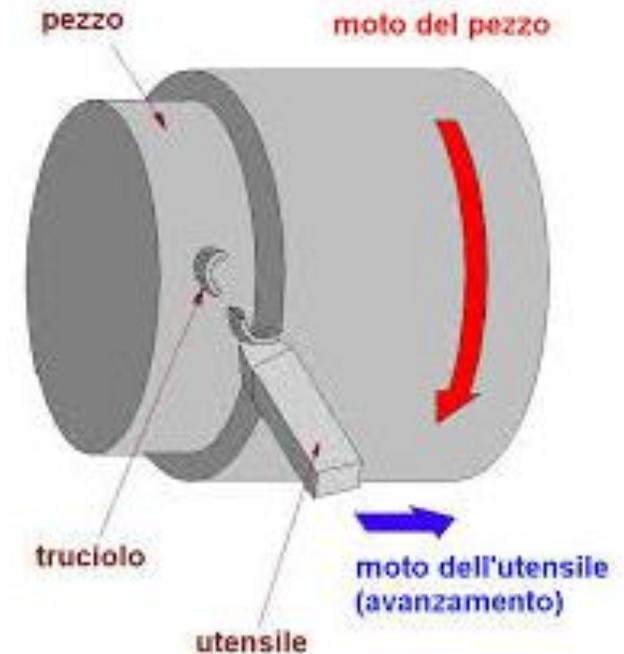
# Prerequisiti di Meccanica: Tornio

Genera pezzi a simmetria cilindrica

La regolazione delle velocità dei moti

Il problema del cambio utensile (quando? Come?)

Tornitura cilindrica esterna



## Antico tornio a pedale

Accorgimenti **meccanici** per limitare la fatica

<https://www.youtube.com/watch?v=Emv3v0EqlwM>

## Tornio anni 60

I motori **elettrici** aiutano molto ma è l'abilità dell'operatore a determinare la qualità del manufatto e la vita del macchinario e degli utensili

<https://www.youtube.com/watch?v=SN3S0Uhl4Hs>



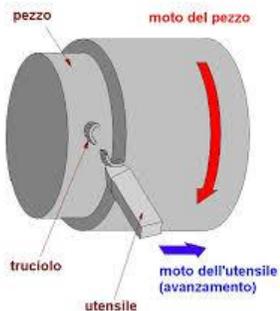
# Prerequisiti di Meccanica: Tornio

**Il tornio a controllo numerico (CN) è automatizzato**

Grazie all'introduzione di sistemi **elettronici** programmabili che controllano direttamente i motori

Una stessa macchina è tornio, fresa, alesatrice,... e diventa un **centro di lavoro a più assi di moto** (lineare, rotatorio, rototraslatorio –vite-) (Layout FMS)

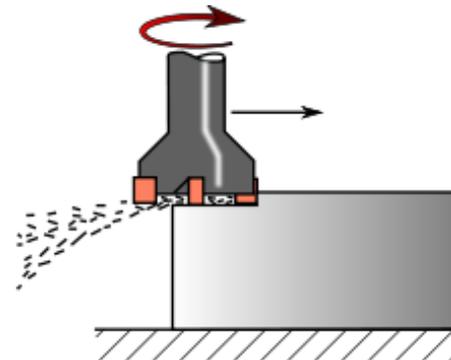
<https://www.youtube.com/watch?v=iGxmcDGASyl>



## Tornio

Moto rotatorio singolo e moto lineare su 2 assi (avvicinamento e direzione di scorrimento)

## Fresa



**Macchine CNC (CN computerizzato) sono controllabili da PC esterno**

<https://www.youtube.com/watch?v=9qjVnZIOFGM>



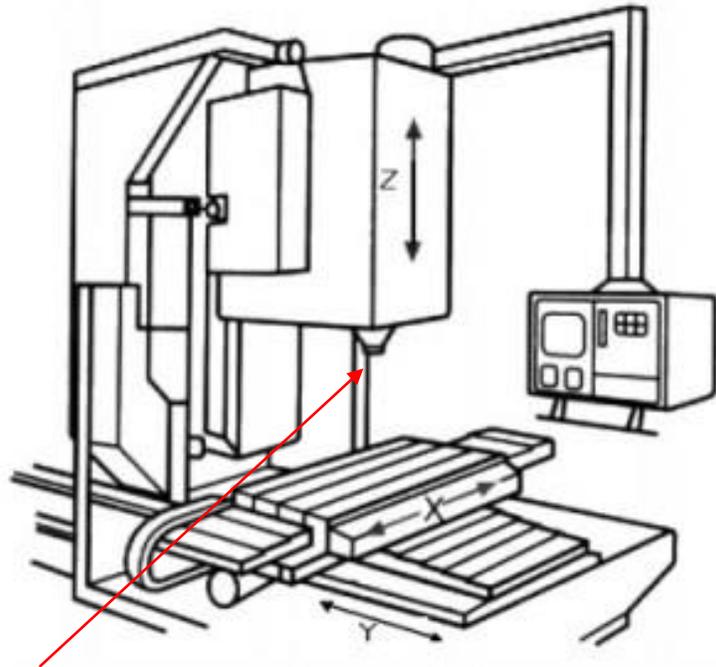
**Tornio CN anni 80**



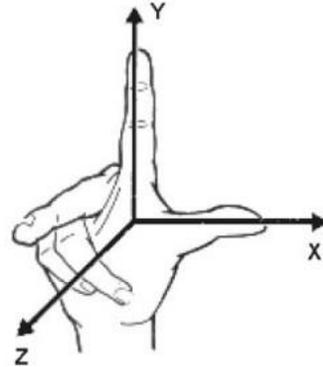
**CNC centro di lavoro** (foratura, tornitura, fresatura, alesatura, e maschiatura)

# Prerequisiti di Meccanica: centri di lavoro CNC

## Centro di lavoro CNC: orizzontali, verticali, a più assi

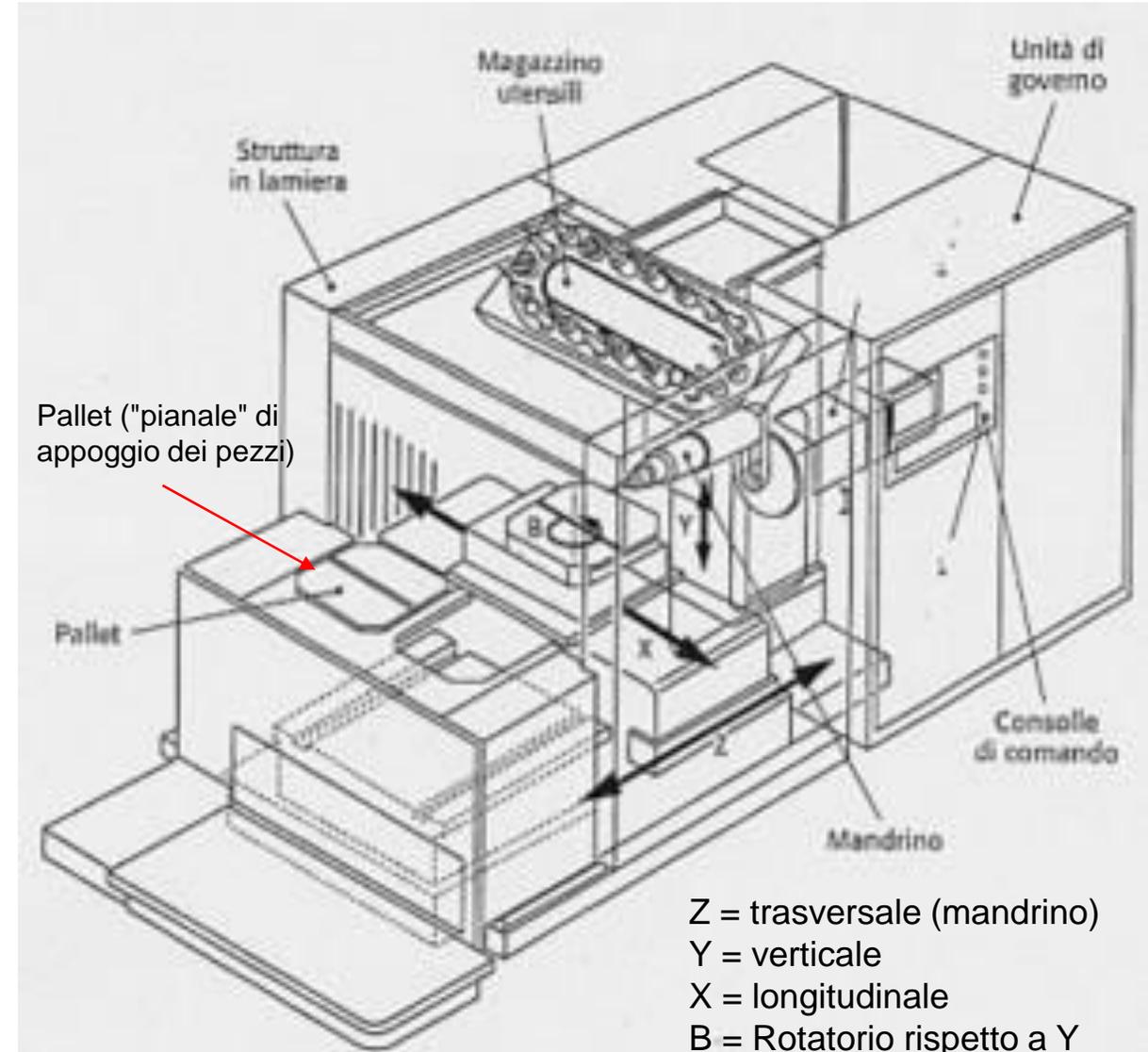


Mandrino (ruota e fissa l'utensile e si muove sempre lungo l'asse Z)



Regola della mano destra

**NOTA bene:** per ogni asse deve essere impostata la legge di moto (quale velocità, con quale accelerazione, ecc.)



Z = trasversale (mandrino)  
Y = verticale  
X = longitudinale  
B = Rotatorio rispetto a Y

**Approfondimento:** Shoolfofnerd\_L3\_CdL.pdf

# Prerequisiti di Meccanica: centri di lavoro CNC

## Centro di lavoro CNC a 5 assi

<https://www.youtube.com/watch?v=wjEV28zKcJM>

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

## Centro di lavoro CNC a 10 assi

2 lavorazioni contemporanee  
(maggiore velocità nei pezzi molto grandi)

<https://www.youtube.com/watch?v=qC2Ju3CycnE>

(10 assi, metallo)

<https://www.youtube.com/watch?v=qFkbZqGp0rY>

(8 assi, legno)



Pezzi lavorati da un centro di lavoro CNC a 5 assi

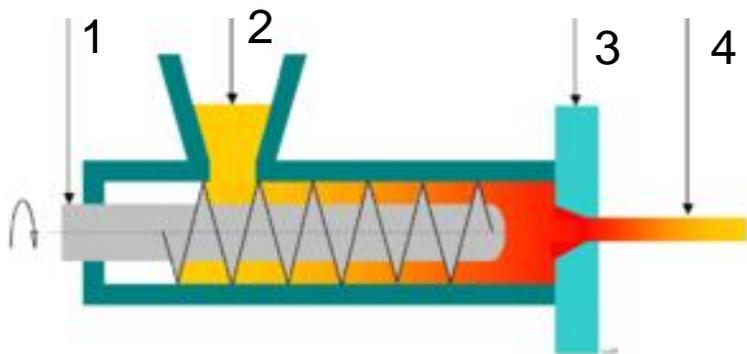
# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche

"Lavorazioni plastiche": materiali "plastici" su cui forze esterne possono indurre deformazioni plastiche (stabili al cessare delle sollecitazioni). La lavorazione può essere a caldo o a freddo



**A caldo** (il materiale viene scaldato e deformato)

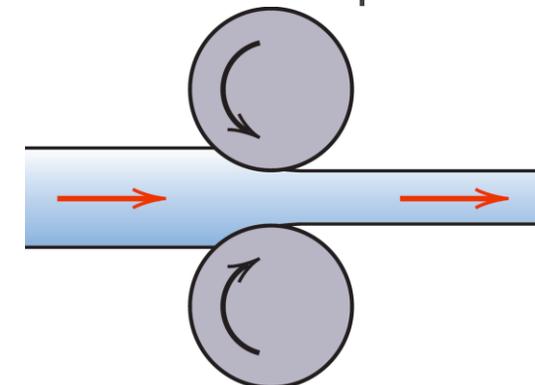
- Fucinatura o forgiatura (sollecitazione impulsiva es. scaldo il metallo e lo martello)
- Laminazione a caldo (il pezzo viene fatto passare attraverso rulli che lo assottigliano)
- Estrusione (il materiale fluido viene spinto verso una matrice che ne determina la sezione)
- Sinterizzazione (la polvere di materiale è messa in uno stampo e scaldata tanto -compattazione)-



## Estrusione

1. Vite che fa avanzare il materiale
2. Tramoggia di carico
3. Matrice che dà la forma della sezione
4. Prodotto estruso

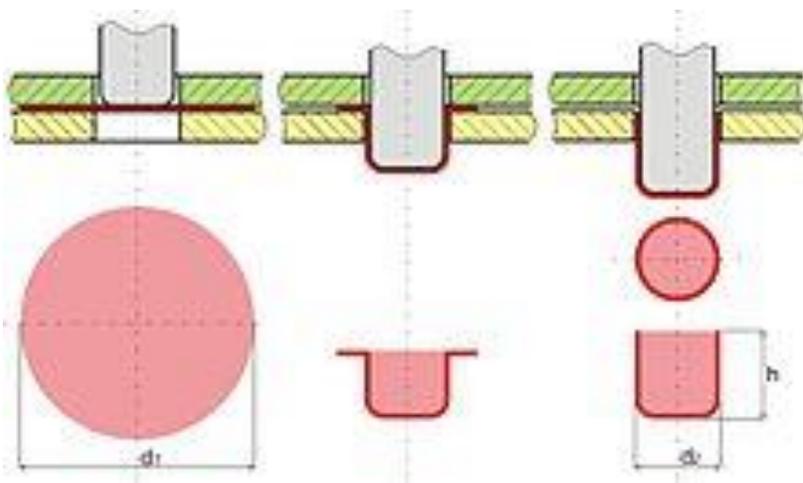
## Laminazione



# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche

## A freddo (lavorazione di rifinitura)

- **Laminazione a freddo** (simile a quella a caldo ma con trazione per aiutare il passaggio. Es. "Domopack, laminato a caldo fino a 2-4mm e poi a freddo fino a 0,01-0,1mm)
- **Trafilatura** (simile all'estrusione ma il materiale viene spinto verso la matrice con più forza)
- **Imbutitura** (dalla lamiera sottile si ricavano coppe e altre forme –tipo "stampini"-)il pezzo viene fatto passare attraverso rulli che lo assottigliano
- **Piegatura** (utilizzata per ottenere forme e per irrobustire strutture)

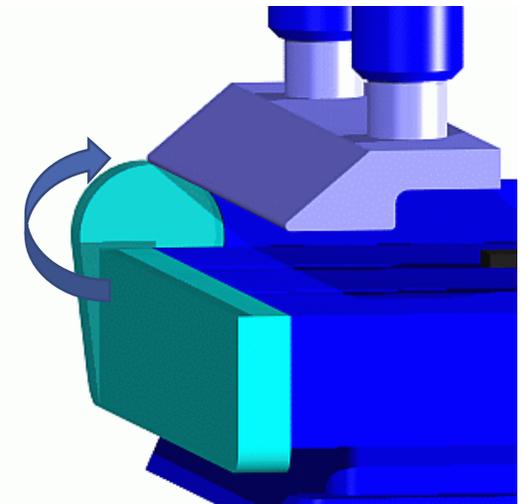


**Imbutitura**

**Piegatura**

1. Arrivo lastra al punto di piega
2. Cala la pressa
3. Ruota il martello

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Swing\\_folding-ani.gif#/media/File:Swing-folding-ani.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Swing_folding-ani.gif#/media/File:Swing-folding-ani.gif)



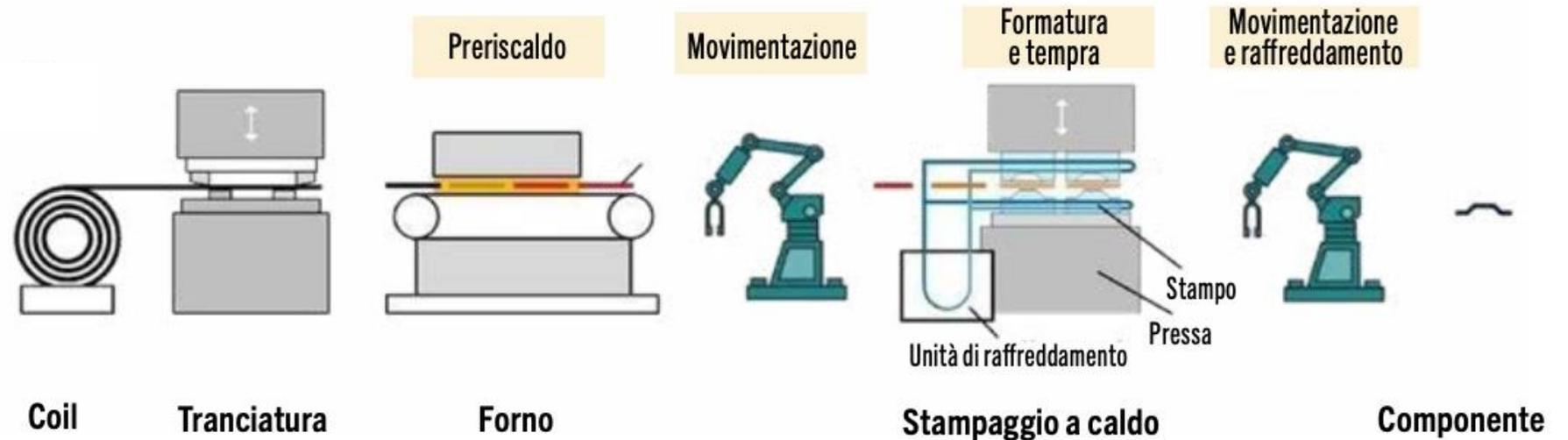
# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche

## Stampaggio (a caldo, a freddo, tranciatura)

### a) stampaggio a freddo



### b) stampaggio a caldo

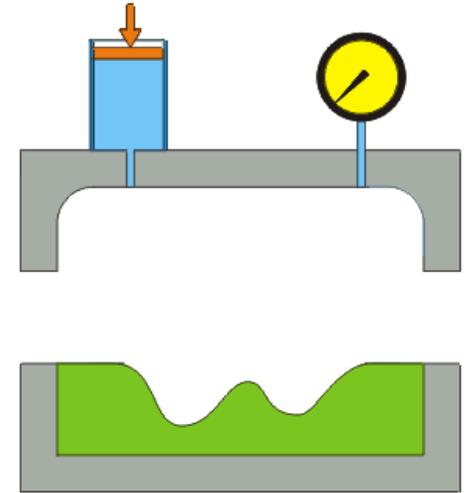


# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche

## Stampaggio (a caldo, a freddo, tranciatura)

La macchina per lo stampaggio è la **pressa**

- Presse meccaniche, idrauliche o idroformatrici
- Presse a iniezione (plastica) (simile all'estrusore con un gruppo di chiusura per tenere chiuso lo stampo)



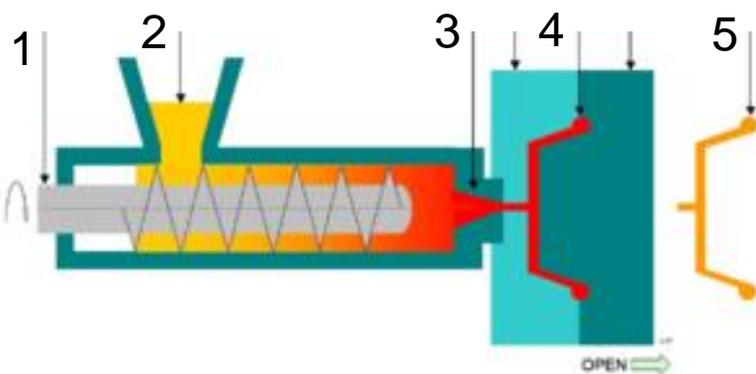
**Pressa idroformatrice**

[https://it.wikipedia.org/wiki/Pressa#/media/File:Idroformatura\\_animata.gif](https://it.wikipedia.org/wiki/Pressa#/media/File:Idroformatura_animata.gif)

**Simulazione** <https://www.youtube.com/watch?v=b1U9W4iNDiQ>

[https://www.youtube.com/watch?v=qn16JtE\\_vLc](https://www.youtube.com/watch?v=qn16JtE_vLc)

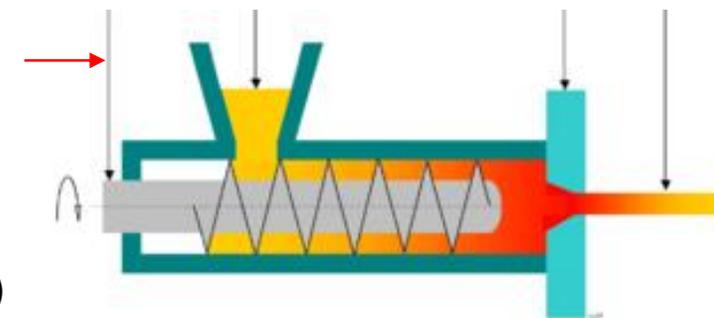
**Presse reali** [https://www.youtube.com/watch?v=OEh\\_P1H1iuQ](https://www.youtube.com/watch?v=OEh_P1H1iuQ)



### Stampa

1. Vite che fa avanzare il materiale
2. Tramoggia di carico
3. Matrice che inietta il materiale
4. Stampa (parte fissa, mobile, espulsori)
5. Prodotto estruso

### Estrusione



# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche additive

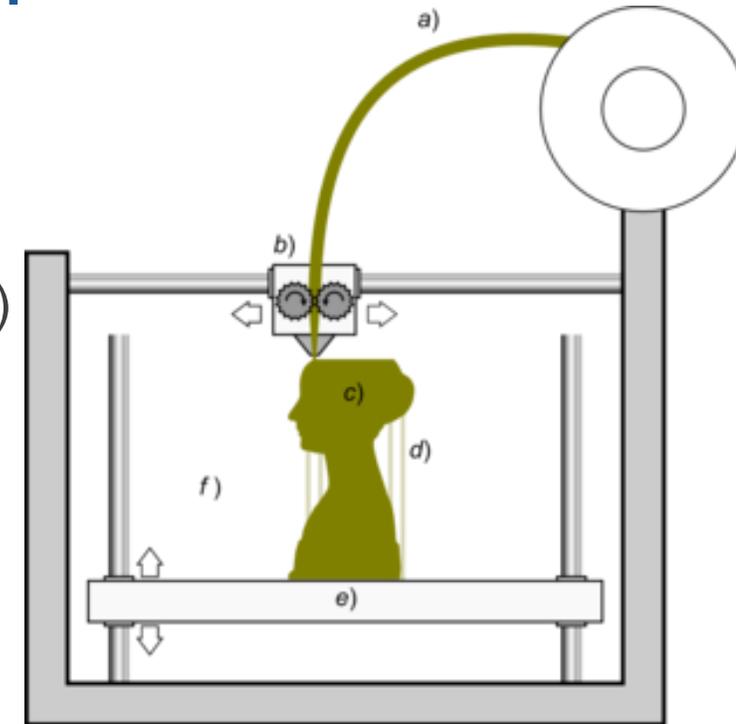
## Stampanti 3D

Lavorazione plastica "additiva", realizzazione a strati  
 Si basa sulla stereolitografia laser (1986, resine fotosensibili)  
 Usata per prototipizzazione rapida (dal 2009)  
 Si disegna il modello, si spedisce il file alla macchina  
 Più costosa della produzione sottrattiva

**Solo plastica?** <https://www.youtube.com/watch?v=5pml90AnQ0o>

La stampa 3D prevede anche più materiali insieme  
 Elettronica stampata (creare dispositivi su diversi substrati)  
 In Dipartimento abbiamo aerosol jet printing  
 Nel nostro laboratorio eLUX abbiamo una stampante a resina  
<https://www.youtube.com/watch?v=8tn5zA5bNSE>

**Solo cose piccole?** <https://www.youtube.com/watch?v=uznZVWVuNig>



### FDM Modellazione a deposizione fusa

- a) Il materiale viene scaldato e reso un filo
- b) testina mobile di estrusione e deposito
- c) Forma desiderata
- d) Strutture temporanee di appoggio per le parti sporgenti
- e) Piattaforma mobile che si sposta ad ogni strato

# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche additive

## Stampanti 3D e macchine CNC: come si programmano?

Linguaggio delle macchine utensili = **Gcode** (anni 60, molto semplice)

I Gcode si usano per comporre una sequenza di comandi che descrivono il lavoro di una macchina utensile, ogni istruzione corrisponde a un'azione della macchina.

Le sequenze di GCode si utilizzano per controllare ogni tipo di CNC, come i centri di lavoro a più assi e le stampanti 3D.

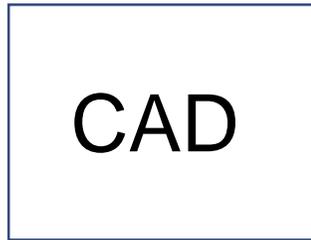
La stampa 3D nasce da un modello, progettato con un programma Cad, che si esporta in uno dei formati standard (Stl, Obj e il più recente Amf). Tutti descrivono i modelli in modo da facilitare la creazione dei G-code.

I **file di tipo Stl** hanno un formato molto semplice (descrizione “per triangoli” dei modelli tridimensionali) e i software Cam producono i Gcode

# Prerequisiti di Meccanica: lavorazioni plastiche additive

## Stampanti 3D e macchine CNC: come si programmano?

Es. AUTOCAD



**stl**



Es. Slic3R



**G-Code**



```
solid name
facet normal ni nj nk
  outer loop
    vertex v1x v1y v1z
    vertex v2x v2y v2z
    vertex v3x v3y v3z
  endloop
endfacet
endsolid name
```

```
G92 E0
G1 Z0.300 F9000.000
G1 E-2.50000 F1500.00000
G92 E0
G1 X41.266 Y35.887 F9000.000
G1 E2.50000 F1500.00000

<G><Numero> <parametri>
```

**Sono linguaggi  
machine-oriented**

CAD (Computer Aided Design) e CAM (Computer Aided Manufacturing) sono orientati all'operatore

Un file .stl rappresenta un solido la cui superficie è stata discretizzata in triangoli. Esso consiste delle coordinate X, Y e Z ripetute per ciascuno dei tre vertici di ciascun triangolo, con un vettore per descrivere l'orientazione della normale alla superficie.

# Macchine del piano Calenda impresa 4.0

**Agevolazioni per l'acquisto di beni materiali funzionali alla trasformazione tecnologica e/o digitale delle imprese in chiave 4.0**

## **Caratteristiche delle macchine**

- controllo per mezzo di **CNC** (Computer Numerical Control) e/o **PLC** (Programmable Logic Controller)
- **interconnessione ai sistemi informatici di fabbrica** con caricamento da remoto di istruzioni e/o part program
- **integrazione automatizzata** con il sistema logistico della fabbrica o con la rete di fornitura e/o con altre macchine del ciclo produttivo
- **interfaccia uomo macchina** semplici e intuitive
- rispondenza ai più recenti standard in termini di **sicurezza, salute e igiene** del lavoro

# Macchine del piano Calenda impresa 4.0

**..e almeno 2 tra le seguenti caratteristiche delle macchine per renderle assimilabili e/o integrabili a sistemi cyberfisici:**

- sistemi di tele manutenzione e/o telediagnosi e/o controllo in **remoto**
- **monitoraggio in continuo** delle condizioni di lavoro e dei parametri di processo mediante opportuni set di sensori e adattività alle derive di processo
- caratteristiche di integrazione tra macchina fisica e/o impianto con la **modellizzazione e/o la simulazione** del proprio comportamento nello svolgimento del processo (sistema cyberfisico)
- dispositivi, strumentazione e componentistica intelligente per l'integrazione, la sensorizzazione e/o l'interconnessione e il controllo automatico dei processi utilizzati anche **nell'ammodernamento o nel revamping dei sistemi di produzione esistenti**
- filtri e sistemi di trattamento e recupero di **acqua, aria, olio, sostanze chimiche e organiche, polveri** con sistemi di segnalazione dell'efficienza filtrante e della presenza di anomalie o sostanze aliene al processo o pericolose, integrate con il sistema di fabbrica e in grado di avvisare gli operatori e/o fermare le attività' di macchine e impianti.

# Macchine del piano Calenda impresa 4.0

**In breve, la quarta rivoluzione porta l'informatica nel senso che:**

- Le macchine sono "**connesse**" in tempo reale e in modo continuo così da poter avere un modello della macchina che possa funzionare virtualmente in parallelo alla macchina
- Le macchine sono "**facili da usare**" in modo che la gestione della fabbrica possa avvalersi di più fornitori di servizi, con operatori non istruiti su quella particolare fabbrica
- Le macchine devono essere "**sicure per l'uomo e per l'ambiente**"

**I problemi aperti:**

- la formazione verso queste nuove tecnologie
- la sicurezza informatica



**In dipartimento abbiamo un laboratorio con una macchina di assemblaggio 4.0 (Laboratorio Industrial Internet of Things)**

# Prerequisiti di Meccanica: cosa muove le macchine?

**Lavoro  $L = Forza F \times spostamento d$**

Il lavoro si misura in Joule = Newton x metro

**Potenza  $P = Lavoro / tempo$**

La potenza si misura in Watt = Joule/s

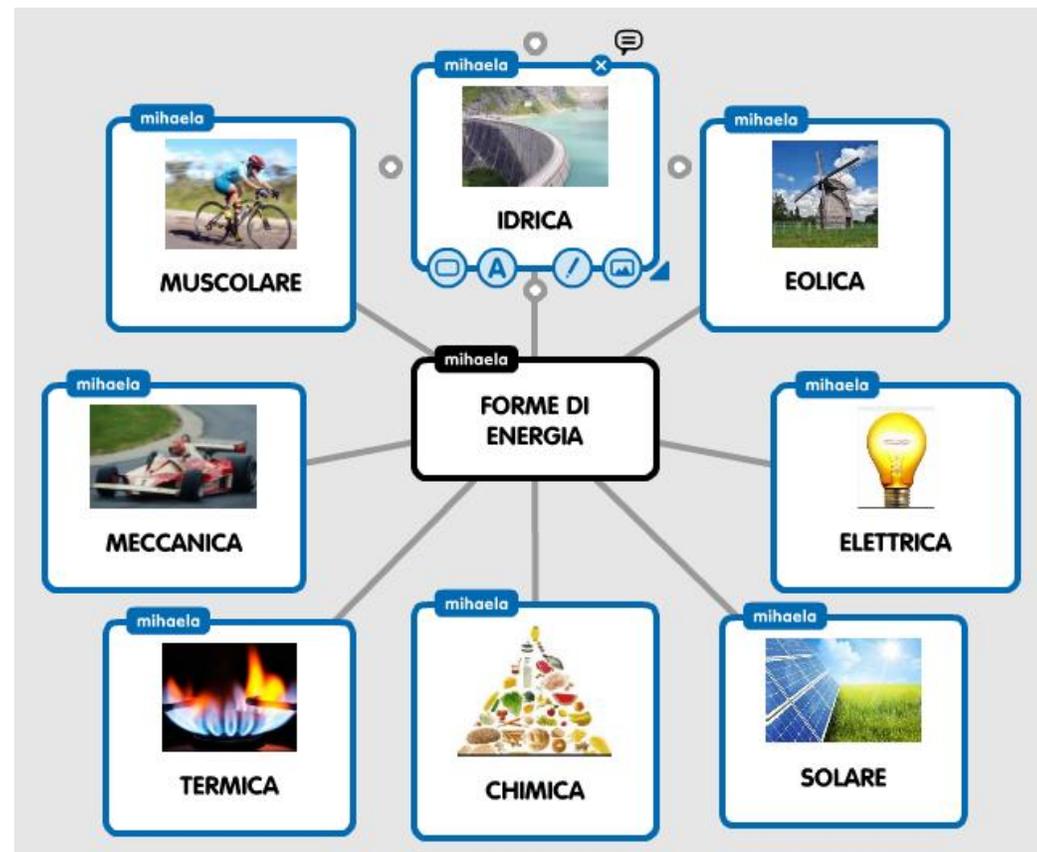
**Energia  $E = capacità di compiere un lavoro L$**

**Energia cinetica  $E_c = capacità di un oggetto di massa  $m$  che si muove ad una velocità  $v$  di compiere un lavoro =  $0,5mv^2$$**

L'energia si misura in Joule come il Lavoro

L'energia ha tante forme e si trasforma

**Per muovere le macchine serve energia**  
**Dal 1900 l'energia è generalmente elettrica**



# Prerequisiti di Elettrotecnica: elettromagnetismo

I materiali sono composti da **atomi**

Gli atomi sono formati da **cariche elettriche + e -**

Carica elettrica elementare negativa = 1 elettrone =  $1e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb

**Carica elettrica  $Q = n \cdot e$**  insieme di cariche elementari

La mobilità degli elettroni varia da materiale a materiale

Materiali **conduttori** (alta mobilità) e **isolanti** (bassa mobilità).

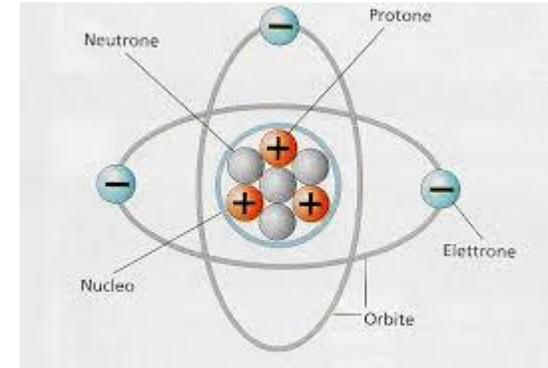
Nei materiali isolanti si possono creare accumuli di cariche; questi generano un campo elettrico che esprime una differenza di potenziale o **tensione  $V$**  tra i due accumuli.

L'atmosfera terrestre è isolante e ha accumuli di cariche

Quando la tensione  $V$  cresce si ha la scarica

La scarica è un flusso di cariche ossia una corrente

**Corrente  $I = \text{Carica } Q / \text{tempo}$**  [Ampere = Coulomb/s]



# Prerequisiti di Elettrotecnica: elettromagnetismo

Una **batteria** stilo AA ha:

Tensione = 1,2 V e "Capacità" = 2000mAh

E' un serbatoio di cariche di 2000mA ora = 2A ora

che può dare 2Ampere (=2A) per 1 ora, o 1A per 2 ore, o 0,5A per 4 ore...

**Tutti gli apparecchi elettrici, inclusi i motori elettrici, hanno bisogno di un certo valore di tensione e assorbono una certa corrente.**

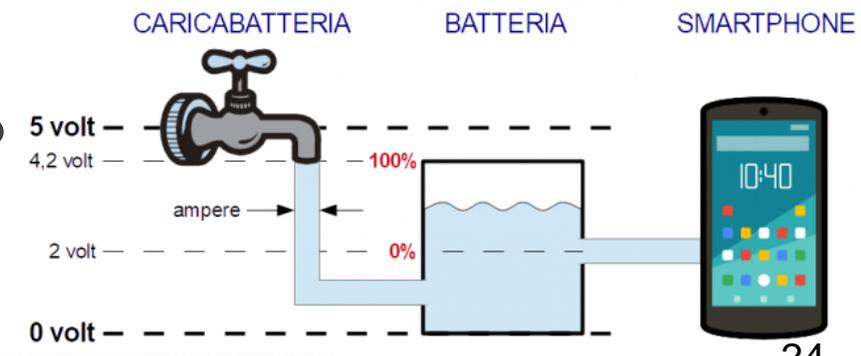
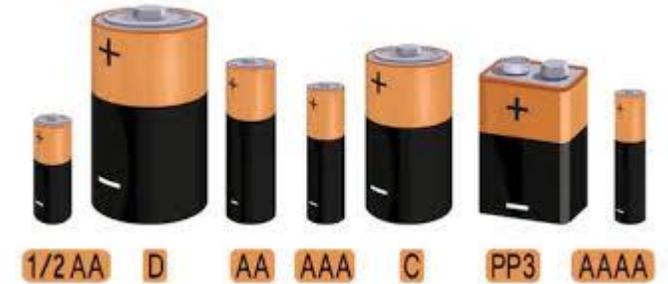
Es. la batteria dello Smartphone ha tensione = 3,7 V e capacità 4000mAh e dura per circa 12 ore in funzionamento intenso; quanta corrente assorbe?

$4Ah / 12h = 0,33$  Ampere (Corrente = Carica / tempo)

La ricarica dura 2,5h, qual è la corrente di carica?

$4Ah / 2,5h = 1,6$  Ampere

NOTA: USB eroga max 5A a 5V. Assorbimento di 1,8A da USB 3.0 e USB OTG (On-The-Go)



# Prerequisiti di Elettrotecnica: elettromagnetismo

Una **batteria** fa muovere un'automobile elettrica, come fa?

Tensione = 400 V e Capacità = 150 Ah e a 100km/h fa 250 km (2,5 ore)

Quindi Tensione = 400 V e corrente assorbita = 150Ah/2,5 ore = 60 A

**Potenza elettrica  $P = \text{Tensione} \times \text{Corrente} = 400\text{V} \cdot 60\text{A} = 24 \text{ kWatt [kW]}$**

La potenza, come l'energia, si trasforma

**La potenza elettrica si trasforma in potenza meccanica grazie al motore**

Il motore dell'auto ha potenza media 30 CV

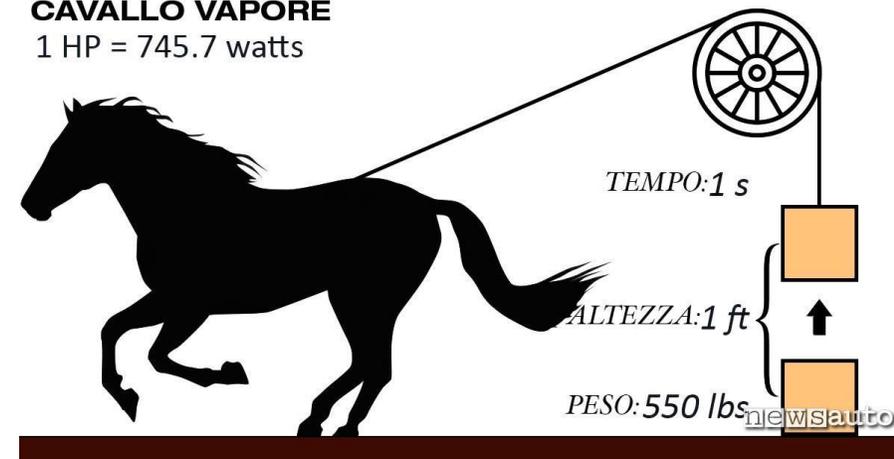
(CV = Cavallo Vapore = HP)

1 CV = 745,7 Watts  $\rightarrow$  30CV = 22,3kW

Potenza meccanica  $P_m = 22,3 \text{ kW}$

Potenza elettrica  $P_e = 24 \text{ kW}$  ( $P_e - P_m = \text{perdite}$ )

**CAVALLO VAPORE**  
1 HP = 745.7 watts



# Prerequisiti di Elettrotecnica: rete elettrica

Il motore della macchina elettrica va a batteria (consumo in Wh/km ~ 100)

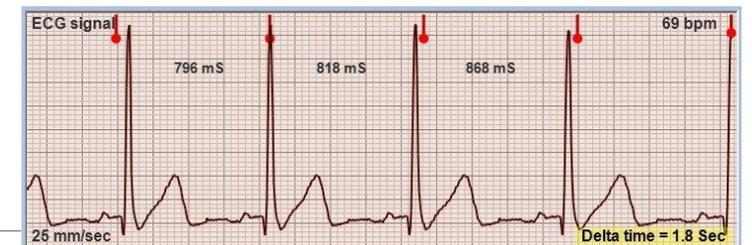
**Il motore industriale prende potenza elettrica dalla rete elettrica**

La rete elettrica viene distribuita a case e aziende e si paga per potenza assorbita

- Contratto tipico appartamento = 3 kW potenza impegnata ( $P_{\text{picco}}$ )
- Consumo tipico annuo appartamento ~ 2700 kWh (2700kWh/8760h~300W)
- Consumo tipico annuo acciaieria ~ 350 MWh (650kWh per fondere 1 ton acciaio)
- Consumo tipico annuo laminatoio ~ 50 MWh
- Consumo tipico annuo centro di lavoro CNC ~ 5 MWh

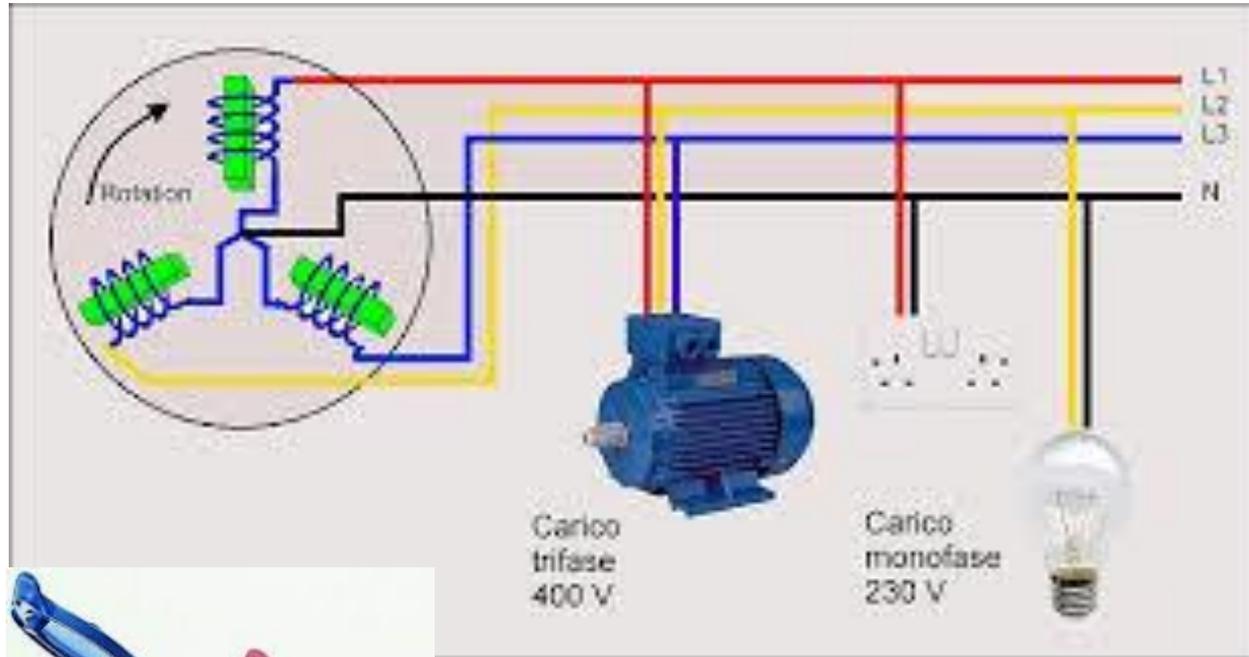
**La rete elettrica non ha tensione costante**

Il cuore, il cervello emettono tensioni impulsive



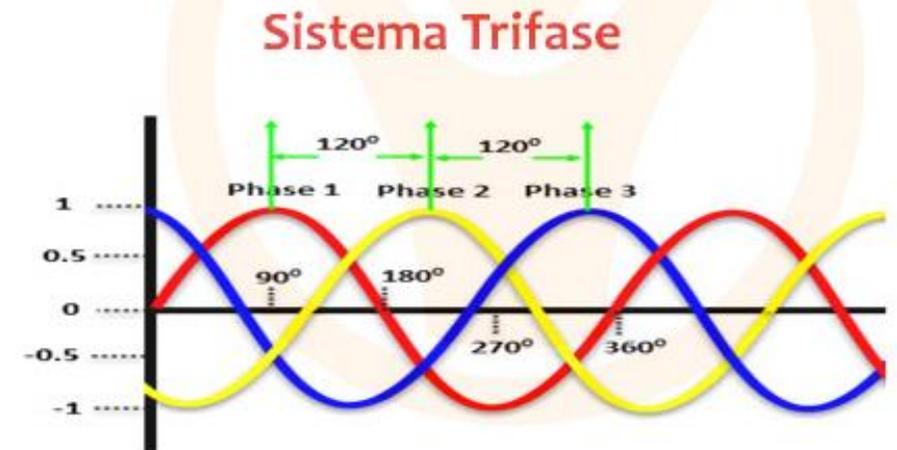
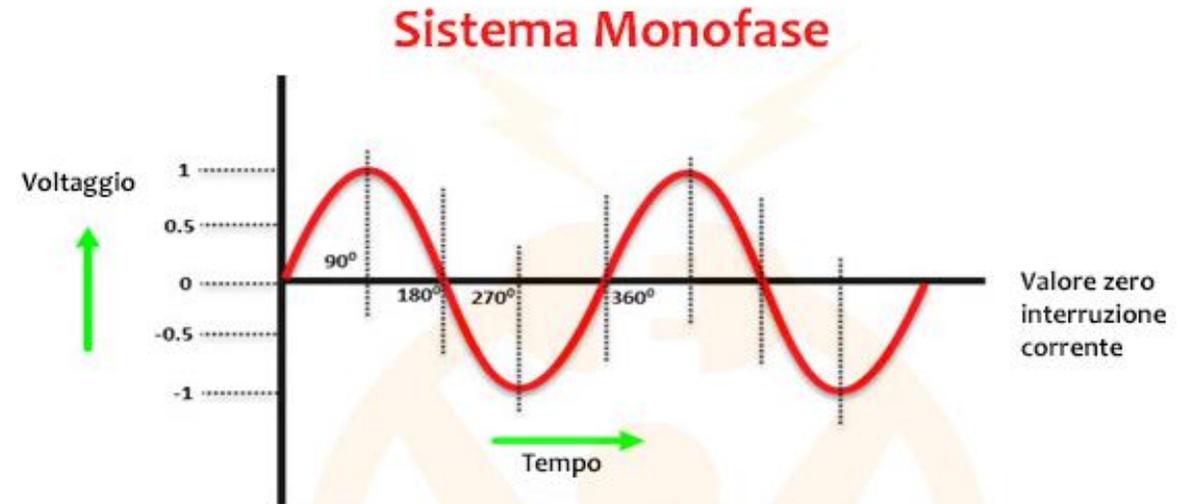
# Prerequisiti di Elettrotecnica: rete elettrica

Rete elettrica: tre linee sinusoidali ("alternate") a 400V con periodo 20ms

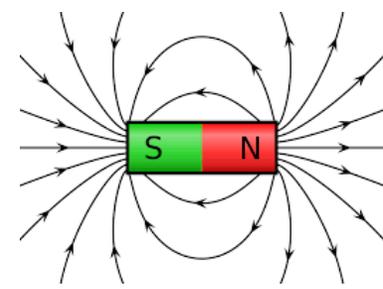


Industria  
Trifase

Casa  
Monofase



# Prerequisiti di Elettrotecnica: magnetismo

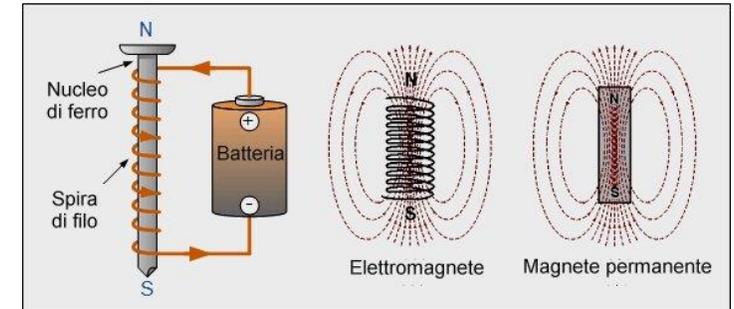


Alcuni materiali (**magneti**) hanno proprietà magnetiche

Alcuni materiali, se avvolti da un filo percorso da corrente, variano le proprietà magnetiche (**elettromagneti**)

Un magnete ha due poli: sud e nord

La terra è un magnete



Dati due magneti, i poli opposti si attraggono, i poli uguali si respingono

Da questo effetto può generarsi un moto (i motori si basano su campi elettromagnetici variabili <https://www.youtube.com/watch?v=4wAScxBrGKo>)

La tensione di rete varia ogni 20 ms (periodo  $T = 20$  ms). Si definisce

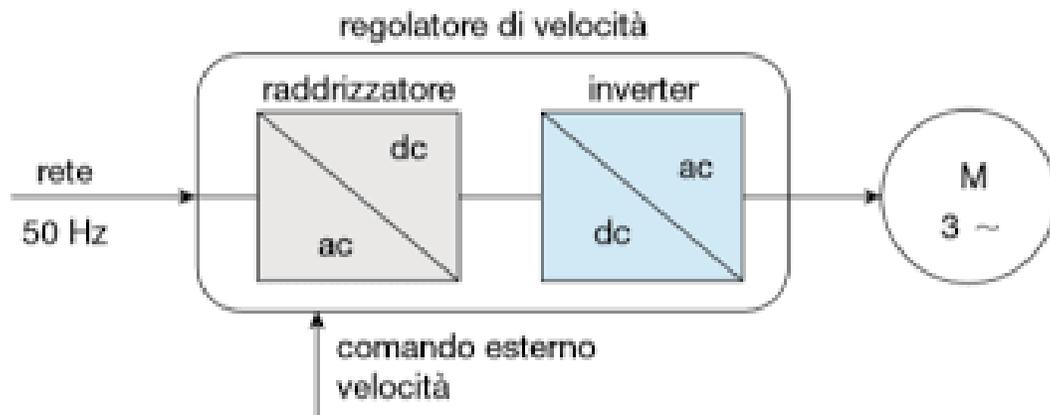
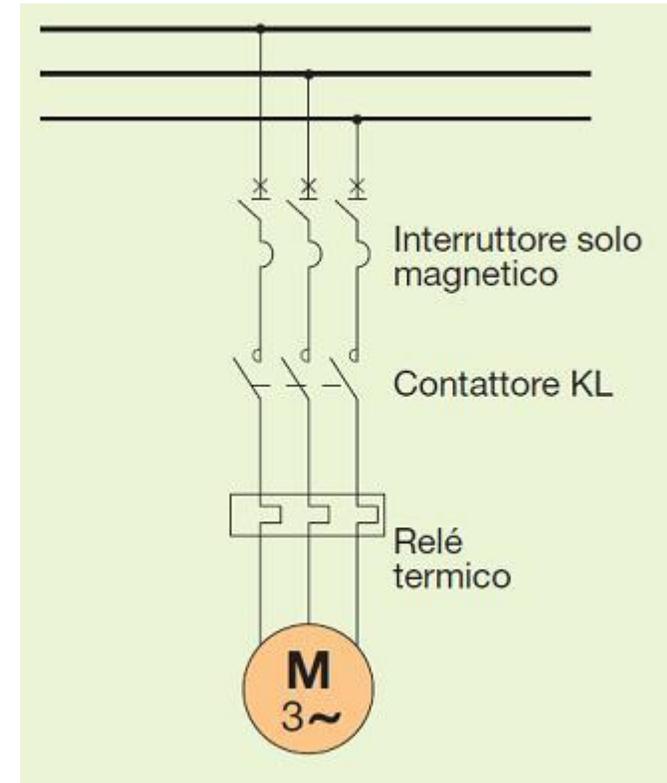
**Frequenza  $F = 1 / \text{Periodo } T$**  e si misura in Hertz [Hz], periodi al secondo.

$F = 1/T = 50$  Hertz (50 giri al secondo, 3000 giri al minuto, **3000 rpm**)

# Prerequisiti di Elettrotecnica: motori

I **motori AC a bassa potenza** ( $< 10\text{kW}$ ) sono collegati alla rete mediante uno o più dispositivi di protezione e teleruttori; se alimentati, girano a 3000 rpm ( $=50\text{Hz}$ )

I motori a maggiore potenza o i **motori che girano a velocità variabile** e che svolgono lavori più o meno gravosi sono connessi ad **inverter** che adattano la rete in tensione (coppia/forza) e frequenza (velocità)



**Segnali (tensioni o correnti) AC o DC**  
**AC Alternate Current – segnali variabili**  
**DC Direct Current – segnali costanti**

# Prerequisiti di Elettrotecnica: segnali AC

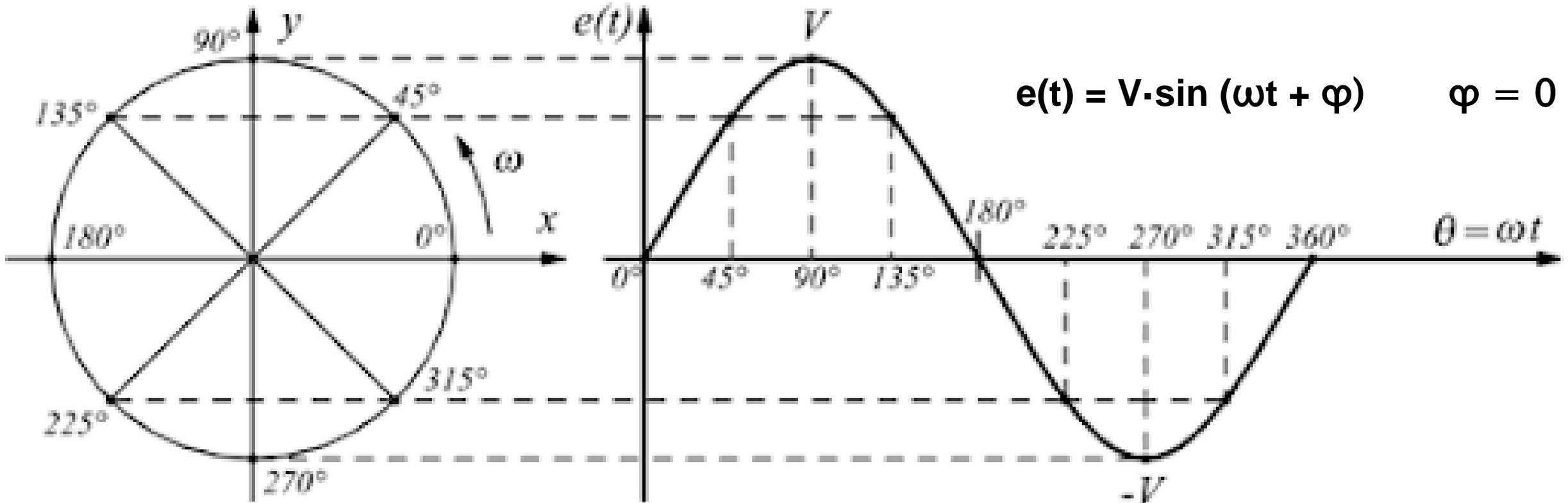
**AC significa segnali variabili, perché sono sempre sinusoidi?**

Il motore ruota a velocità costante se alimentato da un segnale sinusoidale

$$e(t) = V \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

$$\theta = \omega t$$



# Prerequisiti di Elettrotecnica: segnali AC

**AC significa segnali variabili, perché sono spesso sinusoidi?**

Il motore ruota a velocità costante se alimentato da un segnale sinusoidale

$$e(t) = V \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad \omega = 2\pi f = 2\pi/T \quad \theta = \omega t$$

$e(t)$  = segnale sinusoidale variabile nel tempo  $t$  [secondi -s-]

$\omega$  = pulsazione = radianti al secondo

$f$  = frequenza = giri al secondo

$T$  = periodo = tempo x 1 giro

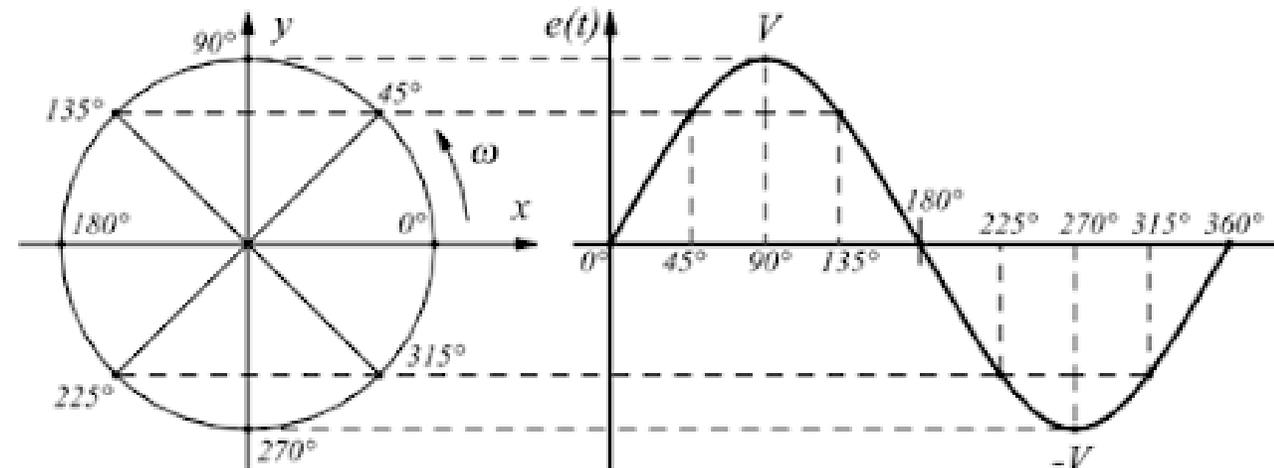
$\Phi$  = fase = angolo iniziale

$V$  = valore di picco

Valore medio di  $e(t) = 0$

Valore quadratico medio = **RMS**

Il valore RMS si dice valore efficace e per una sinusoide vale  $V/\sqrt{2}$ )



# Prerequisiti di Elettrotecnica: rete elettrica

La rete elettrica trifase è costituita da 3 segnali sinusoidali A, B e C sfasati tra loro di  $120^\circ$  ( $2\pi/3$ ) e riferiti ad un punto N detto neutro

$$U_{AN} = E_1 = E_p \cdot \sin(2\pi t / 20\text{ms})$$

$$\text{Valore efficace} = E_p / \sqrt{2}$$

$$U_{BN} = E_2 = E_p \cdot \sin(2\pi t / 20\text{ms} - 2\pi/3)$$

$$\text{Valore efficace} = E_p / \sqrt{2}$$

$$U_{CN} = E_3 = E_p \cdot \sin(2\pi t / 20\text{ms} - 4\pi/3)$$

$$\text{Valore efficace} = E_p / \sqrt{2}$$

$U_{AB} = U_{AN} - U_{BN} = E_1 - E_2$  è una sinusoide con valore efficace  $= \sqrt{3} \cdot E_p / \sqrt{2}$

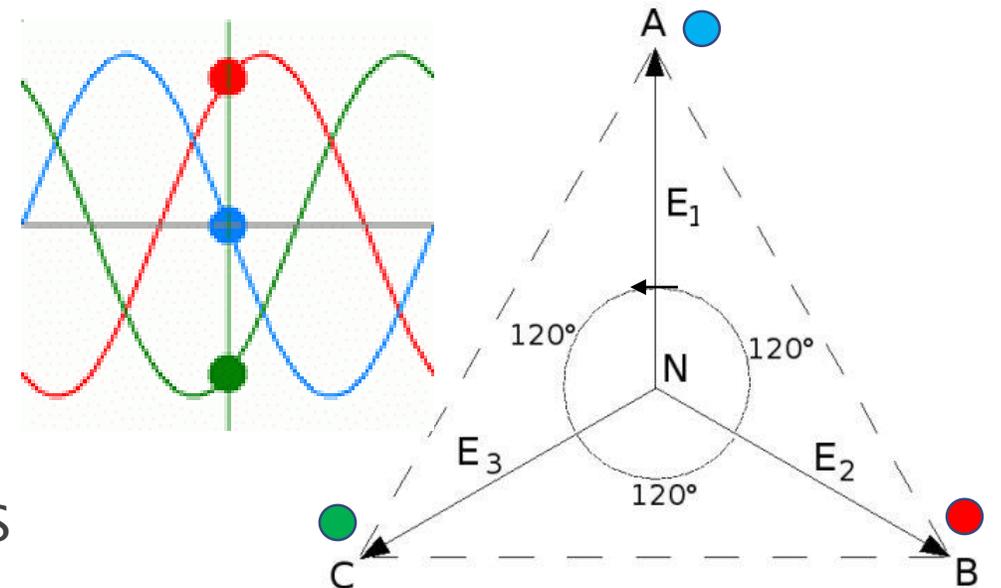
Analogamente  $U_{BC}$  e  $U_{CA}$

Ei = tensioni stellate, **230V<sub>eff</sub>**

Uij = tensioni concatenate, **400V<sub>eff</sub>**

La rete elettrica trifase è a **400V<sub>RMS</sub>**

La rete monofase domestica è **230V<sub>RMS</sub>**



# Prerequisiti di Elettrotecnica: motori

Le movimentazioni degli assi avvengono mediante sistemi elettrici o idraulici (meno usati, si trovano nelle macchine da sollevamento, gru, ecc.)

## Movimentazione elettrica

(sistema elettromagnetico)

Motore

Tensione

Corrente

Regolando la **corrente** si **regola** la forza o coppia motrice, regolando la **tensione** si regola la **velocità**

## Movimentazione idraulica

(sistema oleodinamico)

Pompa

Pressione

Portata, regolata dalle valvole

Serve comunque anche energia elettrica per tenere in pressione l'olio anche quando "non fa lavoro"