

Lavorazioni non convenzionali

# Lavorazioni non convenzionali

- Le lavorazioni non convenzionali sono quei processi che utilizzano tecniche di rimozione del materiale per via meccanica, elettrica, termica e chimica, differenti da quelle «tradizionalmente» adottate (tornitura, fresatura, tranciatura, etc.)
  - Nuove conoscenze chimico-fisiche della materia
  - Esigenza di parametri di lavorazione più spinti
  - Introduzione di nuovi materiali

# Classification

## Type of energy

### 1. Mechanical Processes

- Abrasive Jet Machining (AJM)
- Ultrasonic Machining (USM)
- Water Jet Machining (WJM)
- Abrasive Water Jet Machining (AWJM)

### 2. Electrochemical Processes

- Electrochemical Machining (ECM)
- Electro Chemical Grinding (ECG)
- Electro Jet Drilling (EJD)

### 3. Electro-Thermal Processes

- Electro-discharge machining (EDM)
- Laser Jet Machining (LJM)
- Electron Beam Machining (EBM)

### 4. Chemical Processes

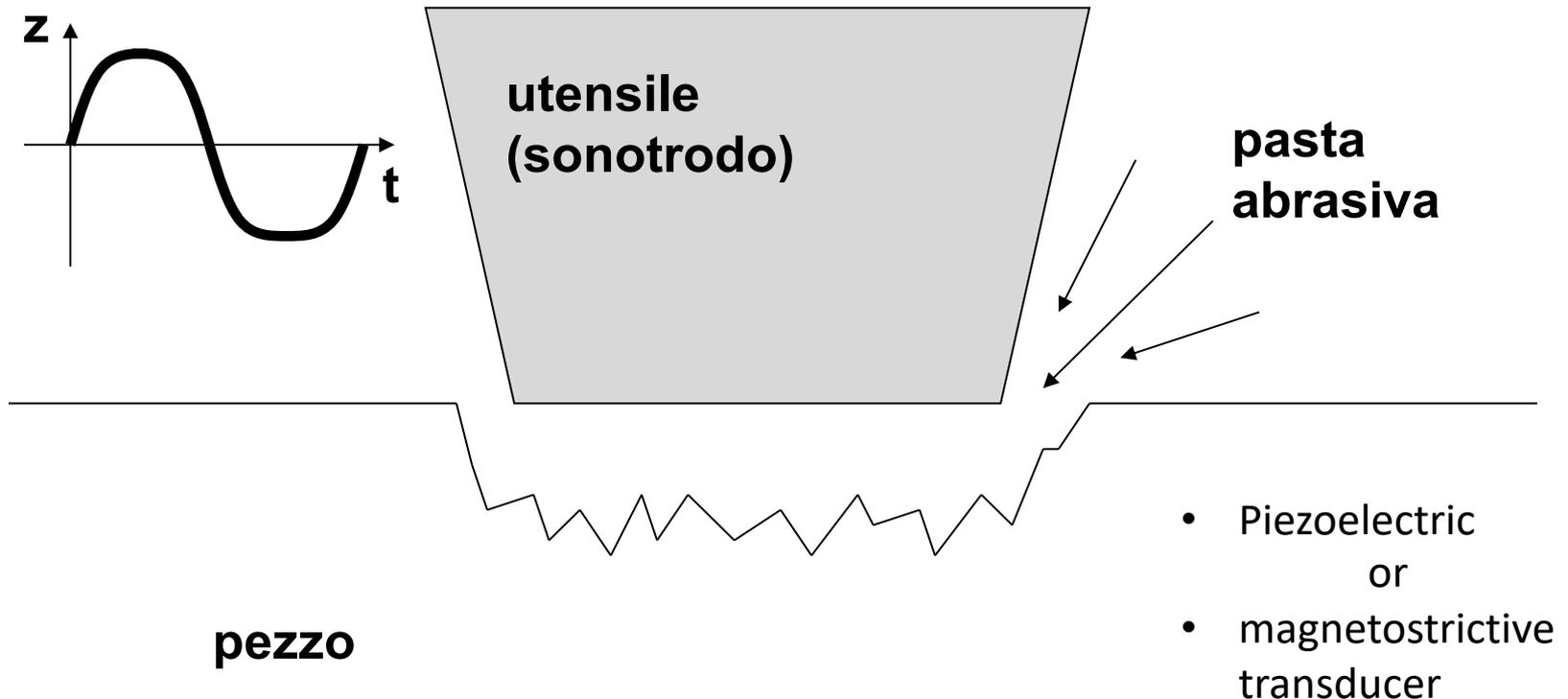
- Chemical Machining (CHM)
- Photochemical Milling (PCM)

# Tecnologie di lavorazione

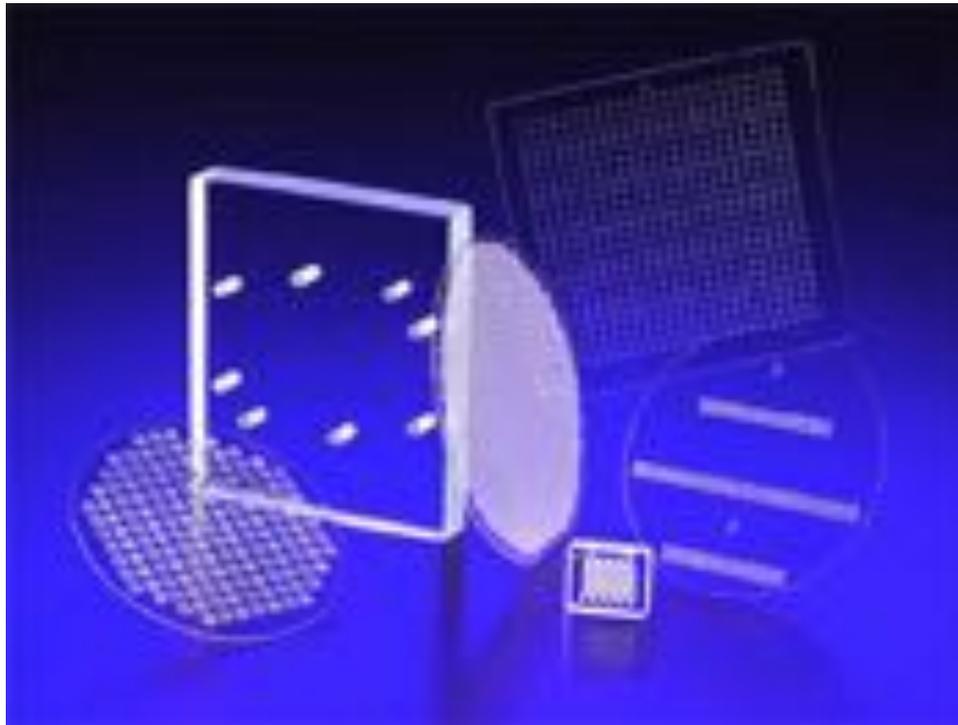
	$\Delta m < 0$	$\Delta m = 0$	$\Delta m > 0$
	Asportazione di materiale	Deformazione del materiale	Aggiunta di materiale
Convenzionali	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tornitura</li><li>• Fresatura</li><li>• Etc.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Stampaggio</li><li>• Estrusione</li><li>• Etc.</li></ul>	
Non convenzionali	<ul style="list-style-type: none"><li>• Taglio laser</li><li>• Lavorazioni a getto d'acqua</li><li>• Etc.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Idroformatura</li><li>• Trattamento al plasma</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Additive manufacturing</li></ul>

# Lavorazioni tramite energia meccanica

- Ultrasonic machining (USM)
- <https://www.youtube.com/watch?v=jh8852sfhpw>



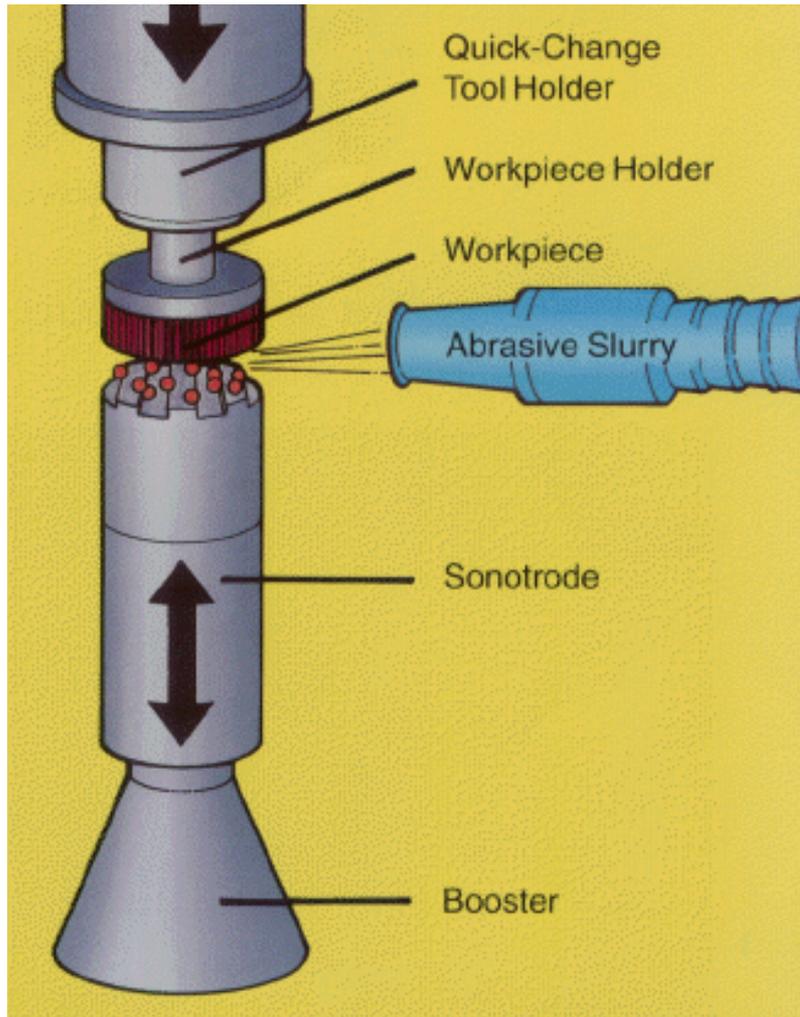
# Ultrasonic machining



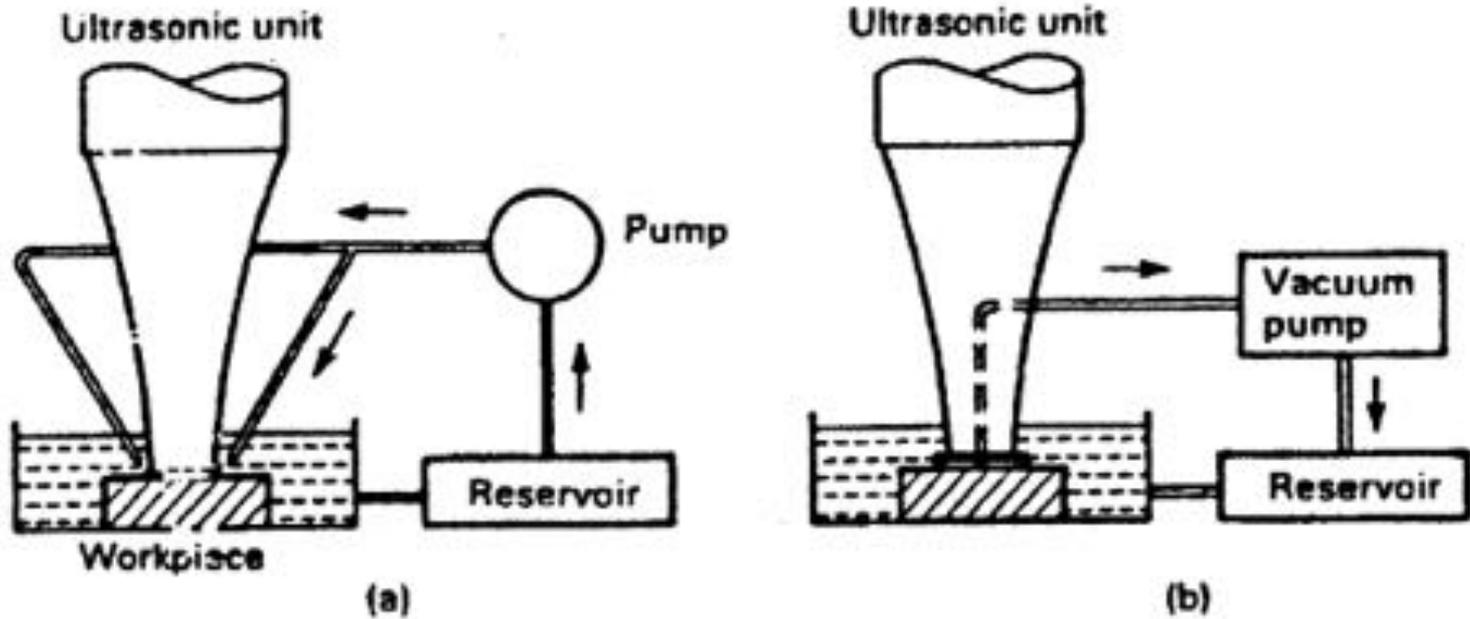
# Applications

- Used for machining round, square, irregular shaped holes and surface impressions.
- Machining of cavities in electrically non-conductive ceramics, glass and carbides (also teeth and diamonds)
- Used to machine metallic (alloys) fragile components in which otherwise the scrap rate is high

# Ultrasonic machining



# Ultrasonic machining



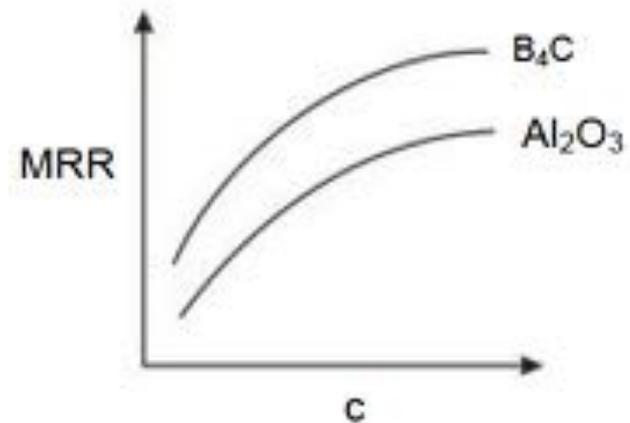
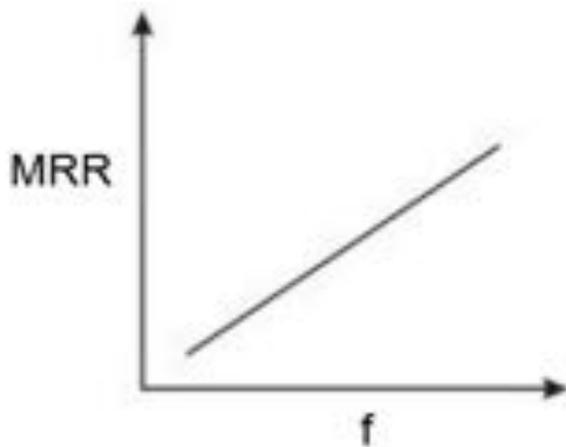
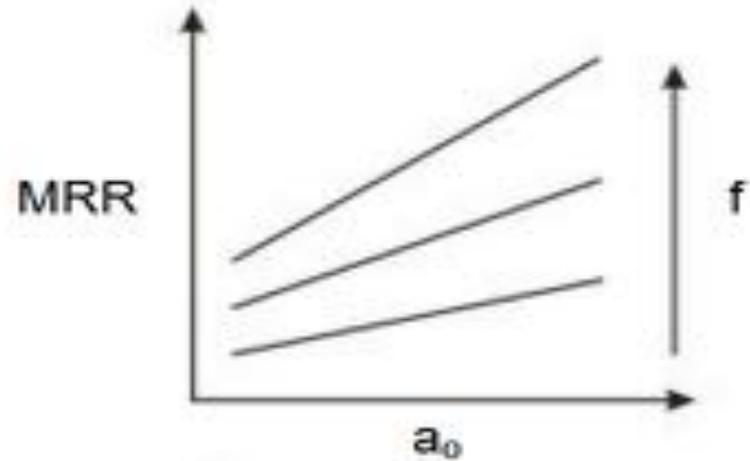
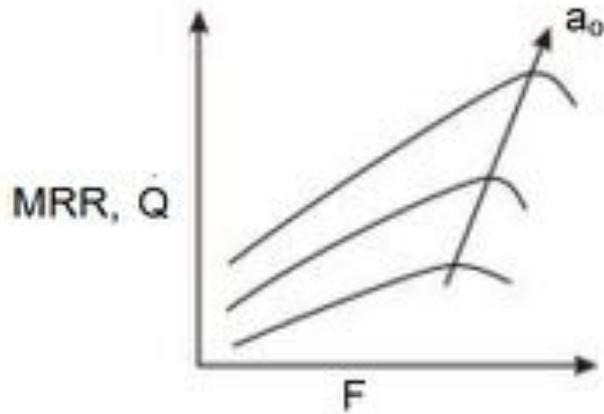
# Working principles

- The following are the Material Removal Models used in USM
  - Throwing of abrasive grains.
  - Hammering of abrasive grains.
  - Cavitations in the fluid medium arising out of ultrasonic vibration of tool.
  - Chemical erosion due to micro –agitations.

# Working parameters

- Amplitude of vibration ( $a_o$ ) – 15 – 50  $\mu\text{m}$
- Frequency of vibration ( $f$ ) – 19 – 25 kHz
- Feed force ( $F$ ) – related to tool dimensions
- Feed pressure ( $p$ )
- Abrasive size – 15  $\mu\text{m}$  – 150  $\mu\text{m}$
- Abrasive material
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$
  - SiC
  - B4C
  - Boronsilicarbide
  - Diamond
- Flow strength of work material
- Flow strength of the tool material
- Contact area of the tool –  $A$
- Volume concentration of abrasive in water slurry –  $C$

# Working parameters



Material Removal rate (MMR)

# Working parameters

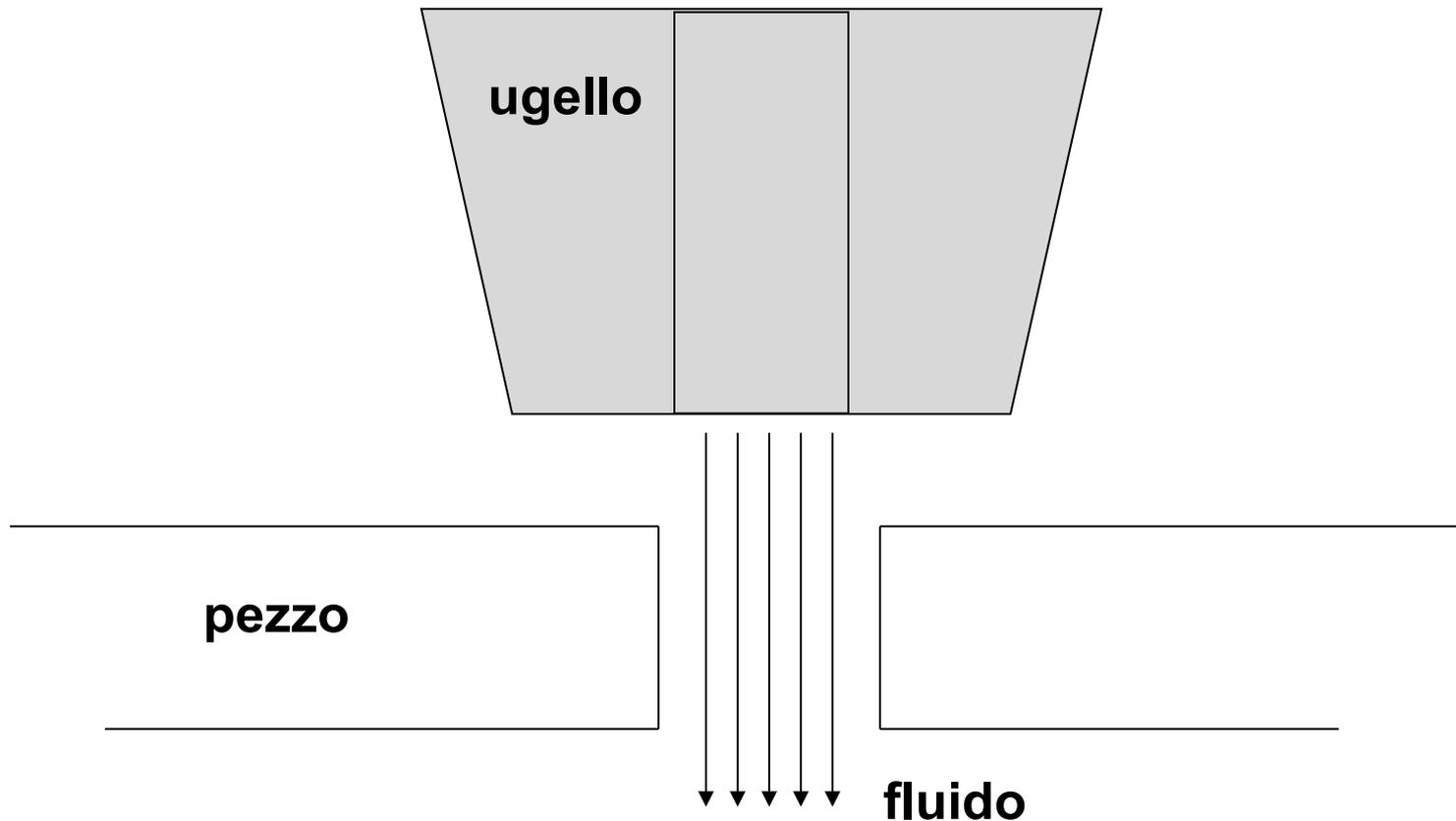
- MRR increases with slurry concentration.
- Slurry saturation occurs at 30 to 40% abrasive/water mixture.
- Material Removal rate drops with increasing viscosity.
- The pressure with which the slurry is fed into the cutting zone affects MRR .
- In some cases MRR can be increased even ten times by supplying the slurry at increased pressure.
- The shape of the tool affects the MRR. Narrower rectangular tool gives more MRR compared to square cross section.
- Conical tool gives twice MRR compared to cylindrical tool.
- The brittle behavior of material is important in determining the MRR.
- Brittle material can be cut at higher rates than ductile materials

# Pros and cons

- It can be used machine hard, brittle, fragile and non conductive material
- No heat is generated in work, therefore no significant changes in physical structure of work material
- Non-metal (because of the poor electrical conductivity) that cannot be machined by EDM and ECM can very well be machined by USM.
- It is burr less and distortion less processes.
- It can be adopted in conjunction with other new technologies like EDM, ECG, ECM.
- Low Metal removal rate.
- It is difficult to drill deep holes, as slurry movement is restricted.
- Tool wear rate is high due to abrasive particles. Tools made from brass, tungsten carbide, tool steel will wear from the action of abrasive grit with a ratio that ranges from 1:1 to 200:1.

# Lavorazioni tramite energia meccanica

- Water Jet Machining (WJM)



# Water Jet Machining



# Water Jet Machining

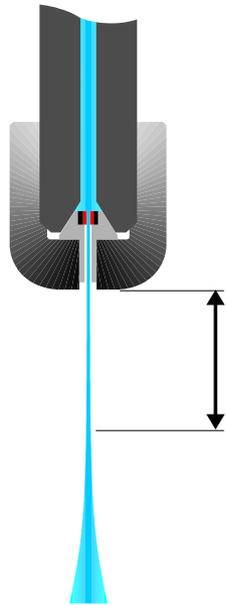
- Vantaggi
  - taglio sottile
  - traiettorie complesse
  - elevati avanzamenti (piccoli spessori)
  - assenza usura utensile
  - assenza danneggiamento termico
  - assenza polveri
  - facile staffaggio

# Water Jet Machining

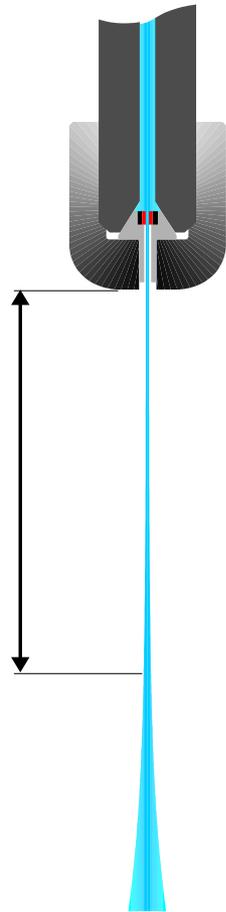
- Svantaggi
  - Solo materiali non metallici
  - Costo
  - Rumorosità
  - Craterizzazione
  - Danneggiamento (laminati)

# Water Jet Machining

Sans polym res

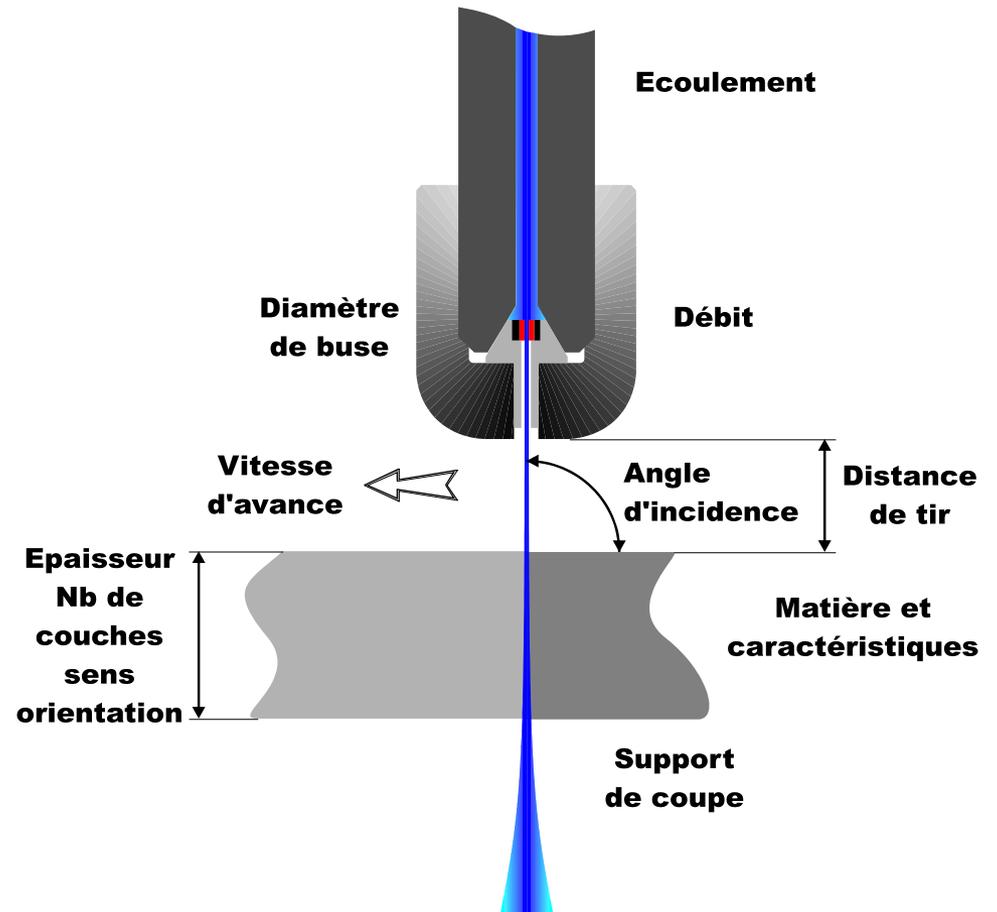


Avec polym res

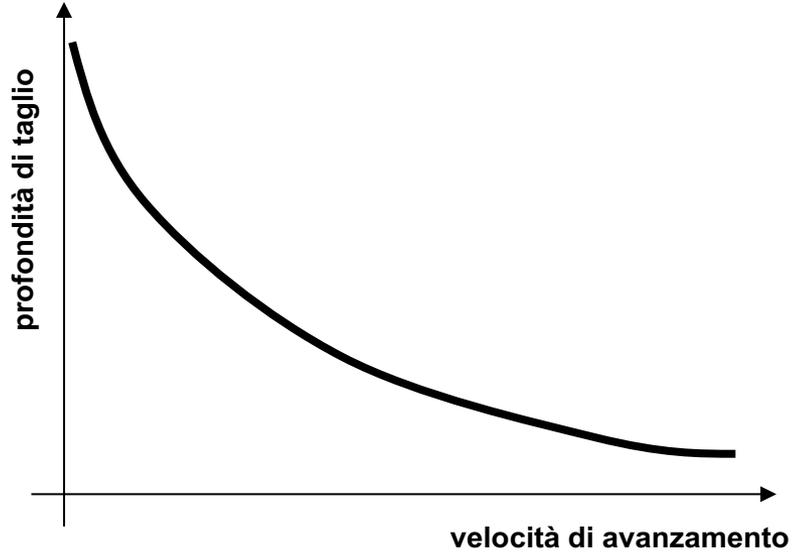
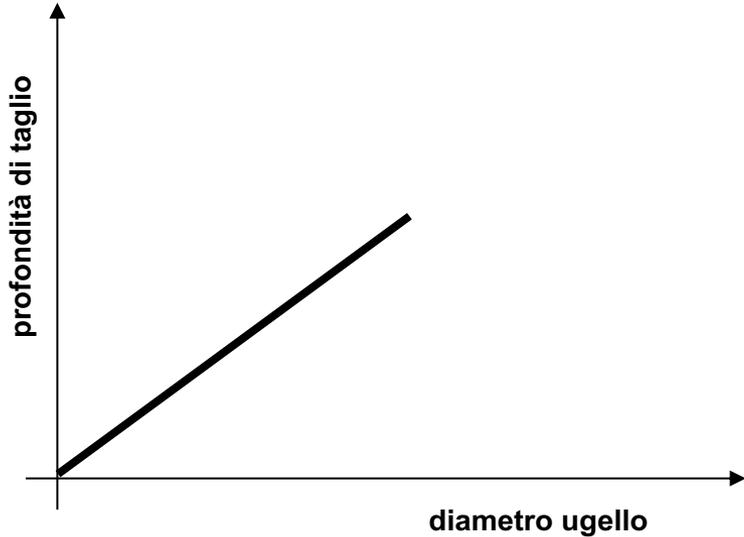
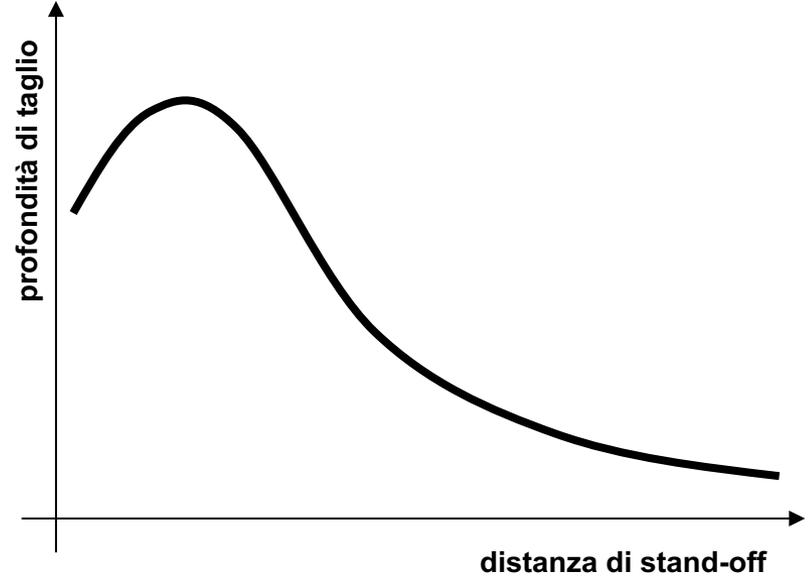
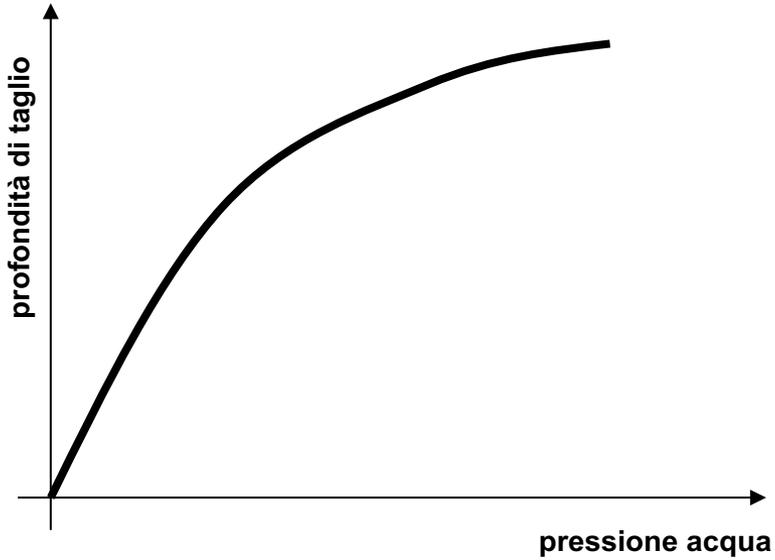


Zone de jet cohérent

**PRESSION**  
**Température**  
**Additif Dosage**

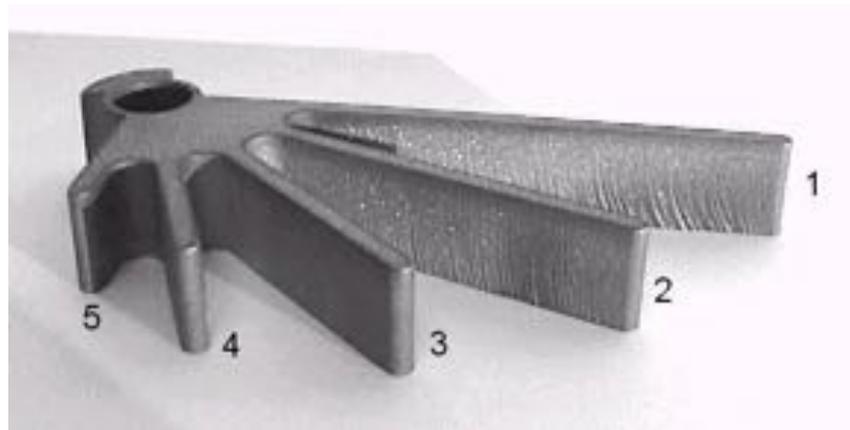
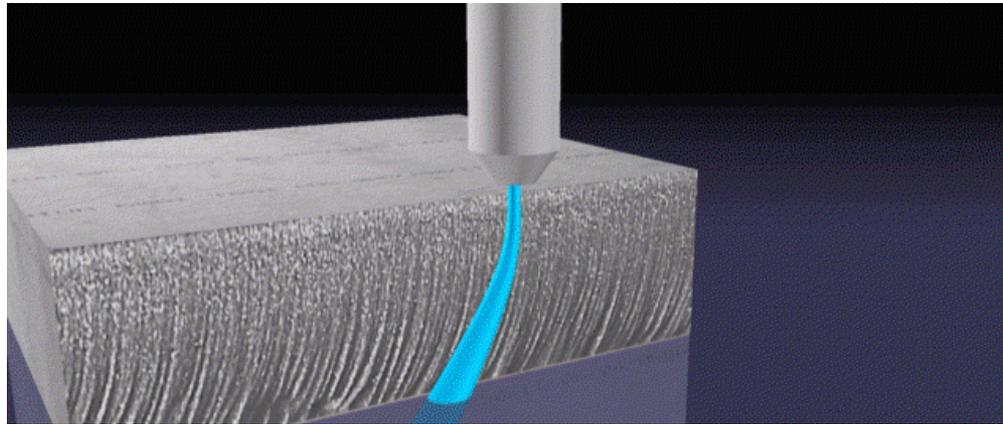


# Water Jet Machining



# Water Jet Machining

- Effetto della velocità di avanzamento

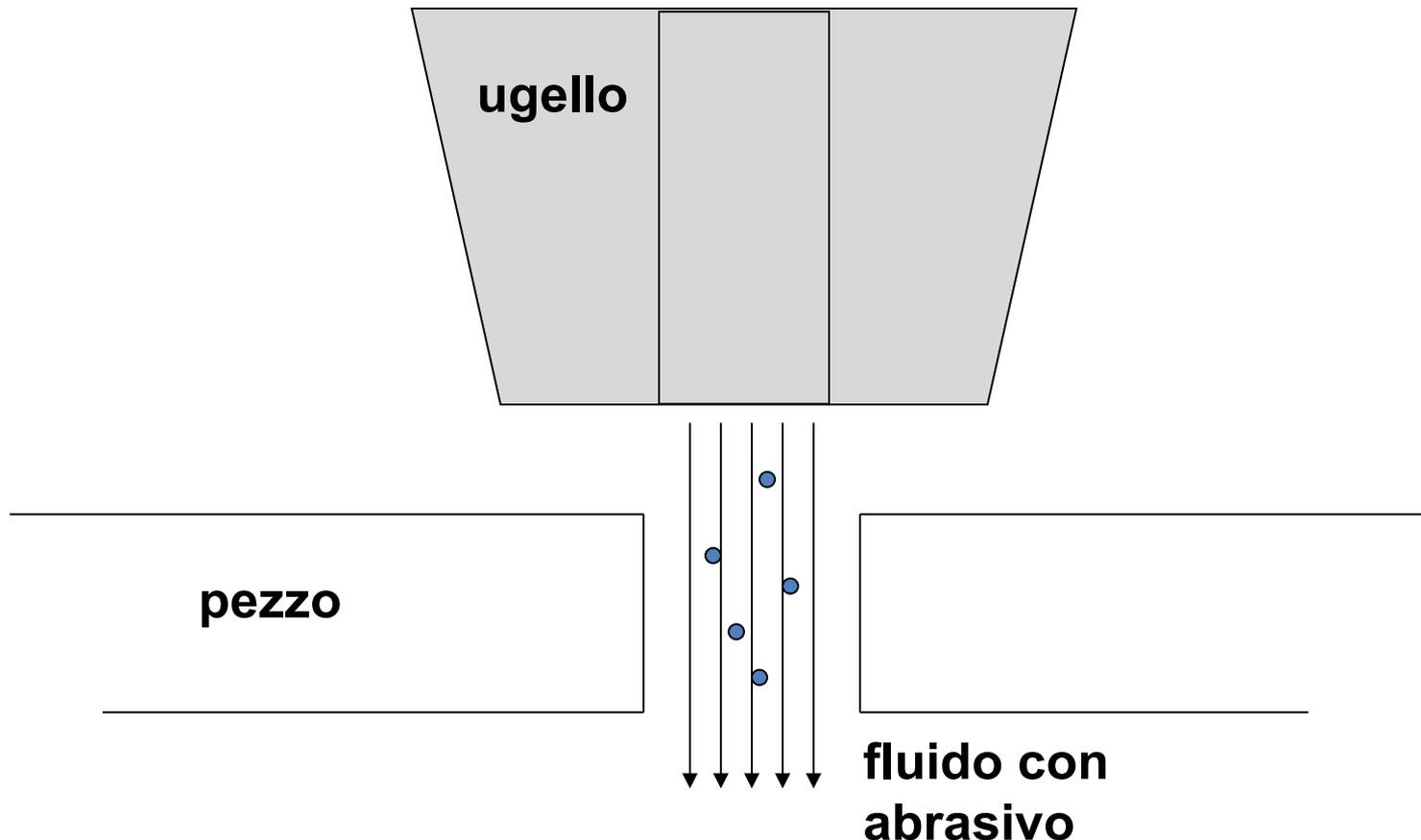


# Water Jet Machining

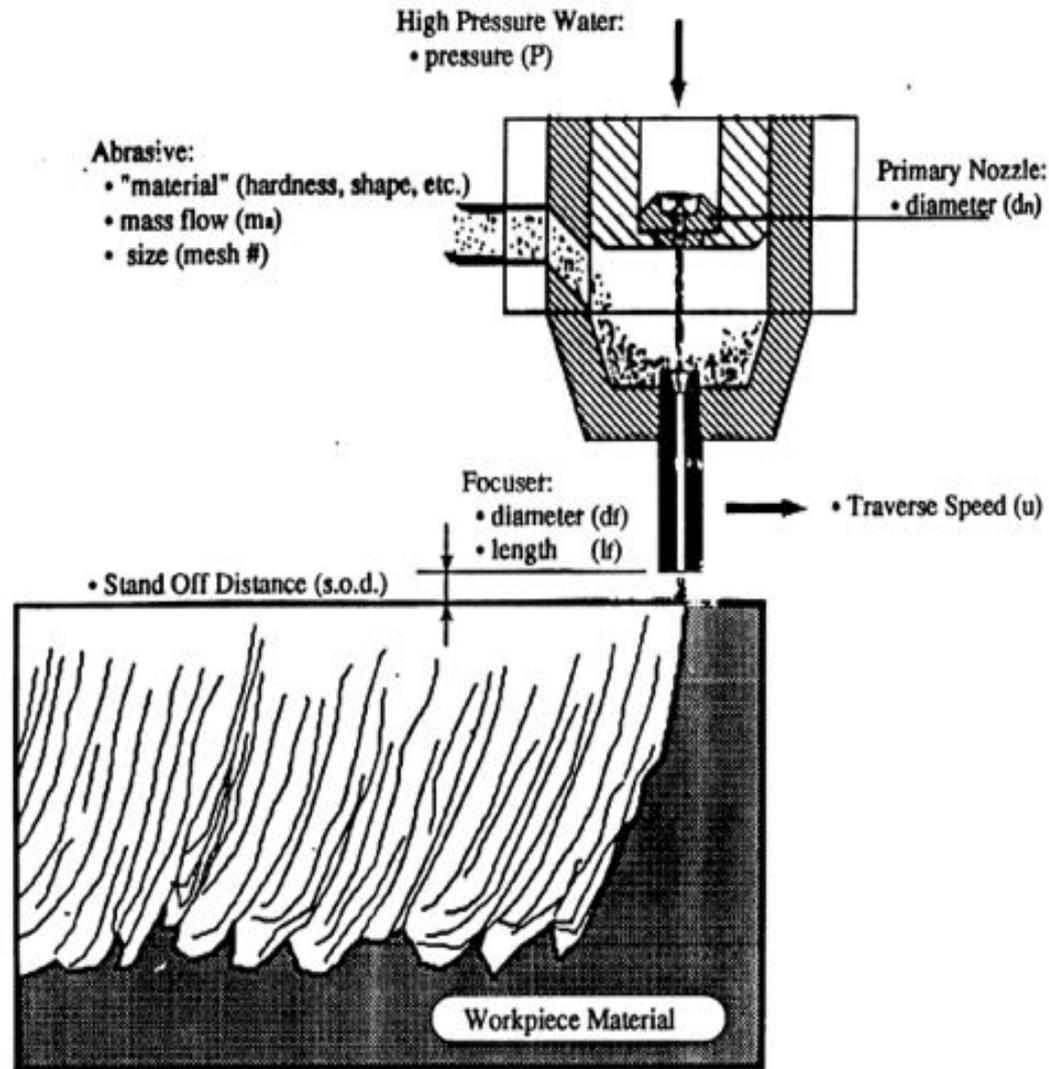
	<b>Spessore (mm)</b>	<b>Pressione (MPa)</b>	<b>Velocità di avanzamento (mm/s)</b>
Legno	6	294	17
Kevlar	3	294	50
Cuoio	2.2	294	330
Poliestere	2	431	2500
Cartone	1	245	8330

# Lavorazioni tramite energia meccanica

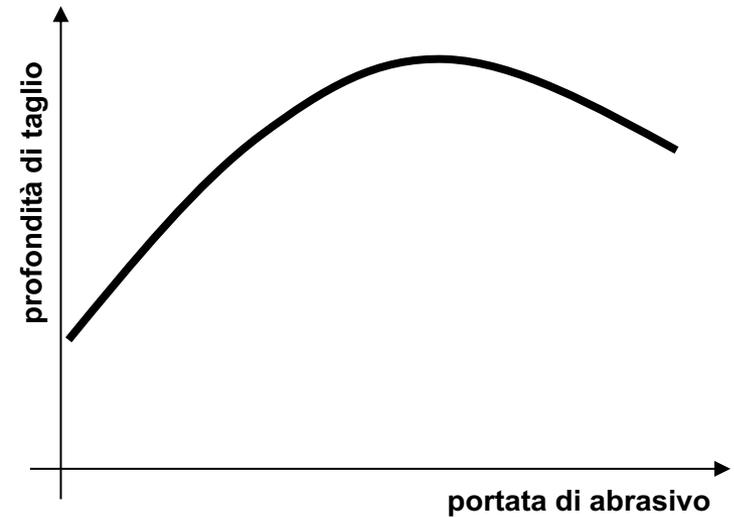
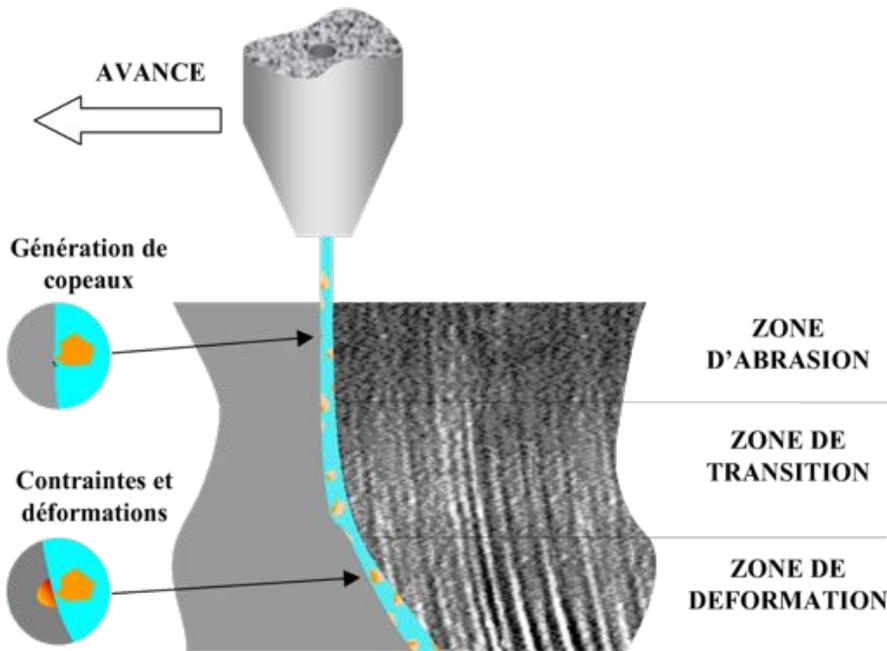
- Abrasive Water Jet Machining (AWJM)



# Abrasive Water Jet Machining



# Abrasive Water Jet Machining



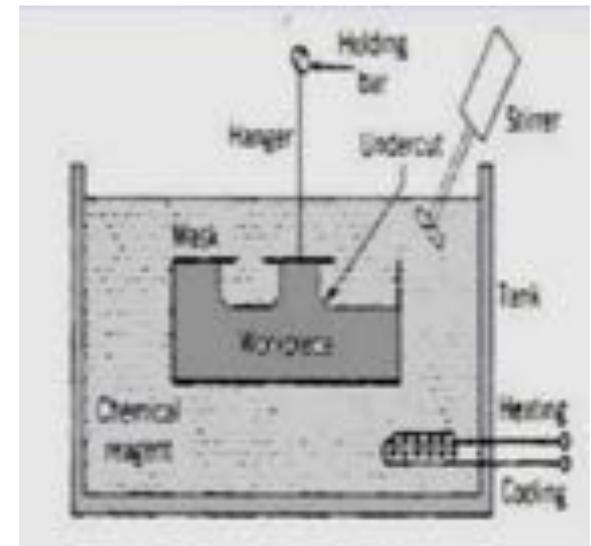
# Lavorazioni tramite energia chimica

- Chemical Machining (CHM)



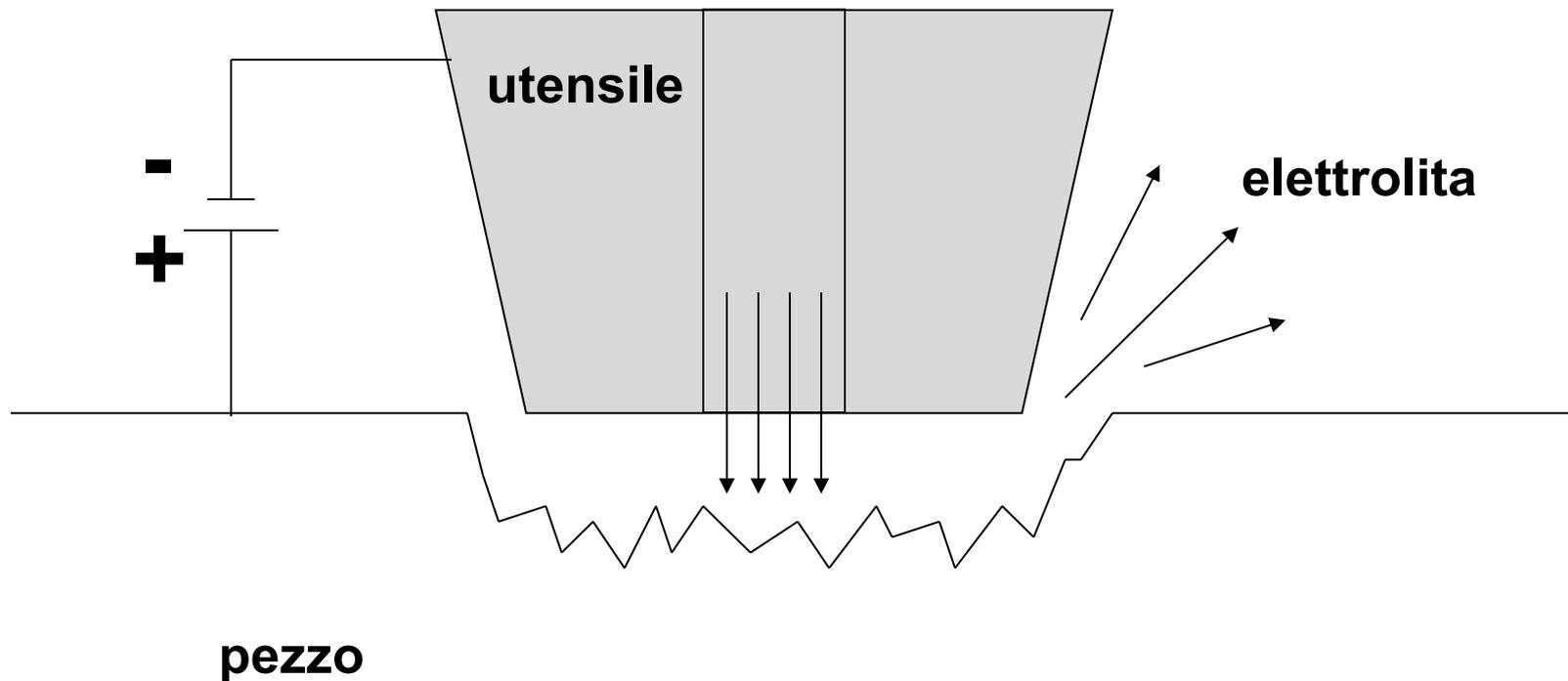
# Chemical Machining (CHM)

- Si utilizzano soluzioni acide o alcaline per attaccare localmente o dissolvere chimicamente il materiale
  - Trattamento termico per l'eliminazione di tensioni residue
  - Eliminazione delle parti della maschera che verranno attaccate chimicamente
  - Decapaggio e pulitura delle superfici
  - Applicazione maschera
  - Immersione del pezzo nel reagente
  - Risciacquo accurato
  - Rimozione della maschera e ispezione



# Lavorazioni tramite energia eletto-chimica

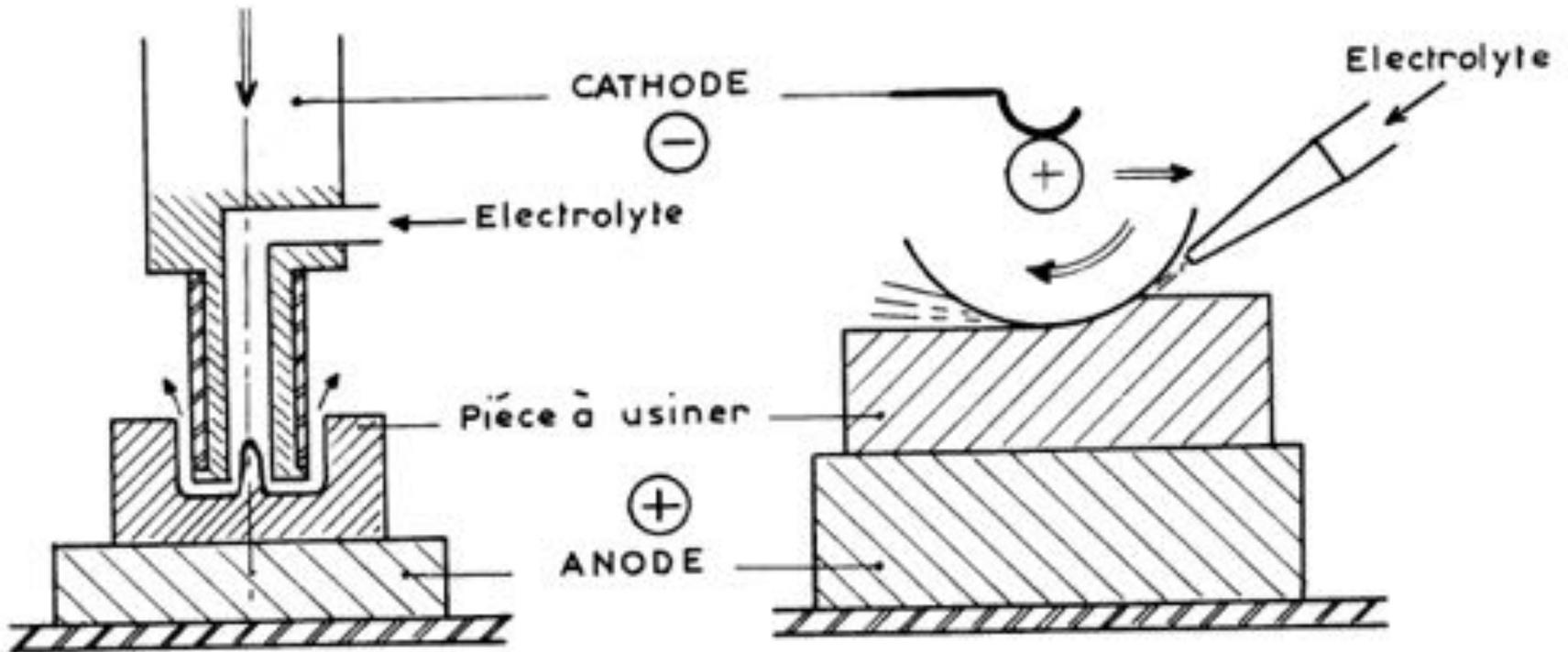
- Electro-chemical Machining (ECM)



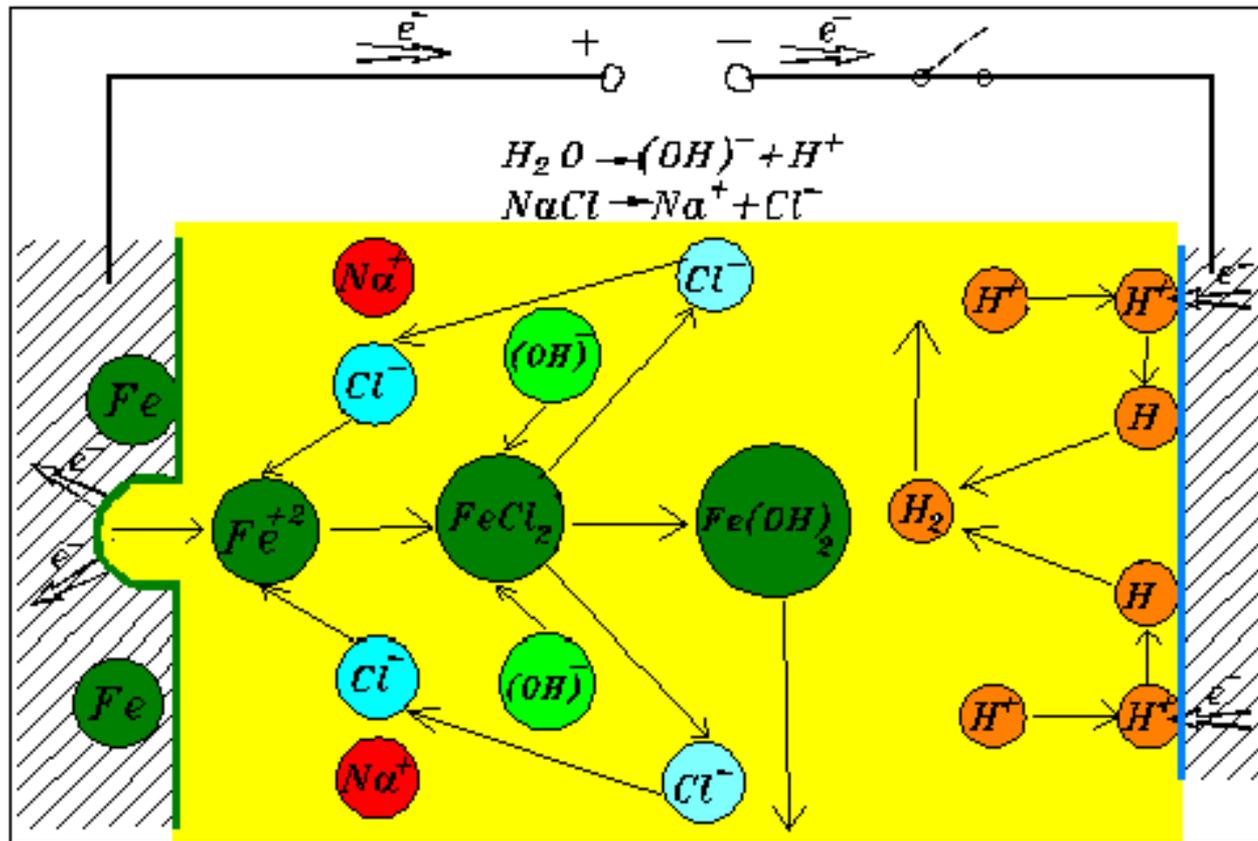
# Electro-chemical machining



# Electro-chemical machining

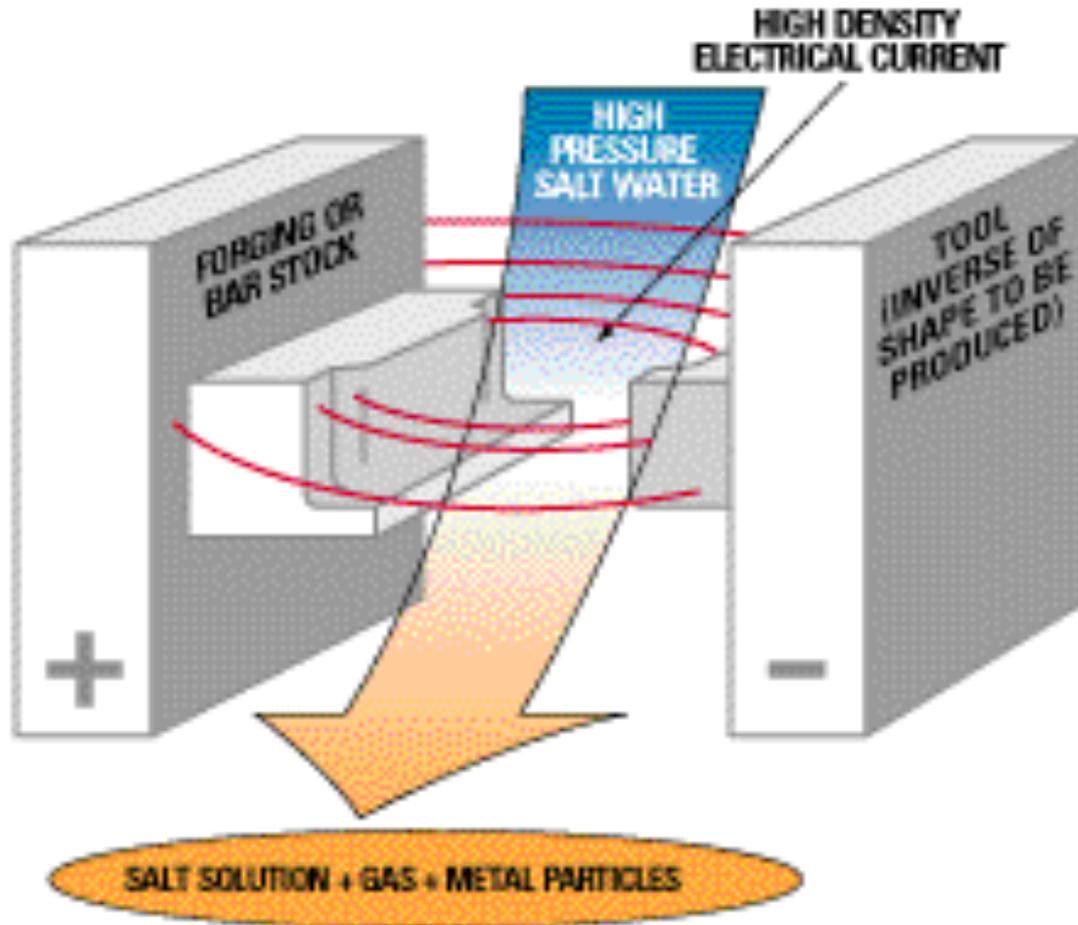


# Working principle (1/2)



Anodic dissolution

# Working principle (2/2)



<https://www.youtube.com/watch?v=ARa983c0XTs>

<https://www.youtube.com/watch?v=zLD9FxEhzRw>

# Electro-chemical machining

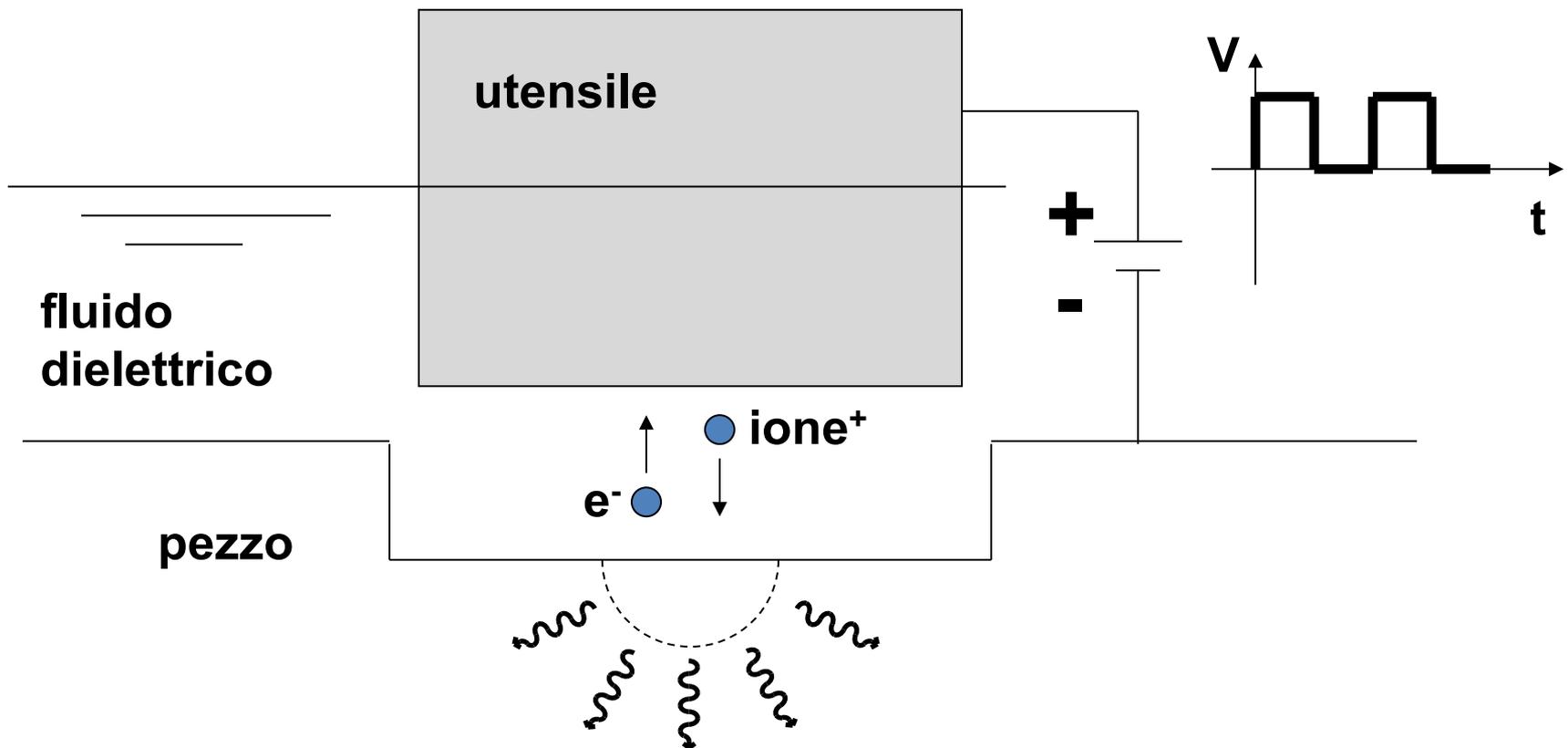
- Vantaggi
  - ottima finitura superficiale (fino a 0.1 mm)
  - capacità di ottenere forme complesse
  - capacità di lavorare i materiali indipendentemente dalla loro durezza
  - buon rateo di asportazione
  - totale assenza usura dell'utensile
  - assenza di tensioni residue

# Electro-chemical machining

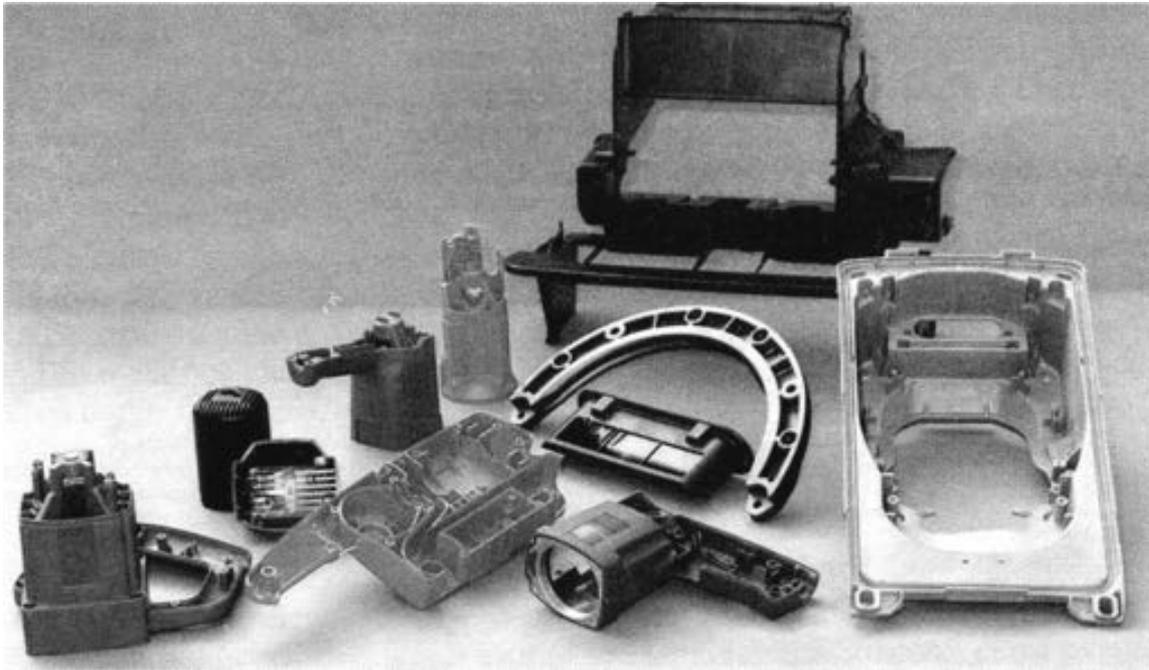
- Svantaggi
  - possono essere lavorati solo materiali conduttori
  - tolleranze dimensionali non particolarmente precise
  - le macchine ECM sono molto costose (diverse volte rispetto a quelle per l'EDM)
  - gli utensili sono molto costosi da produrre
  - presenza di fenomeni corrosivi

# Lavorazioni tramite energia termica

- Electro Discharge Machining (EDM)

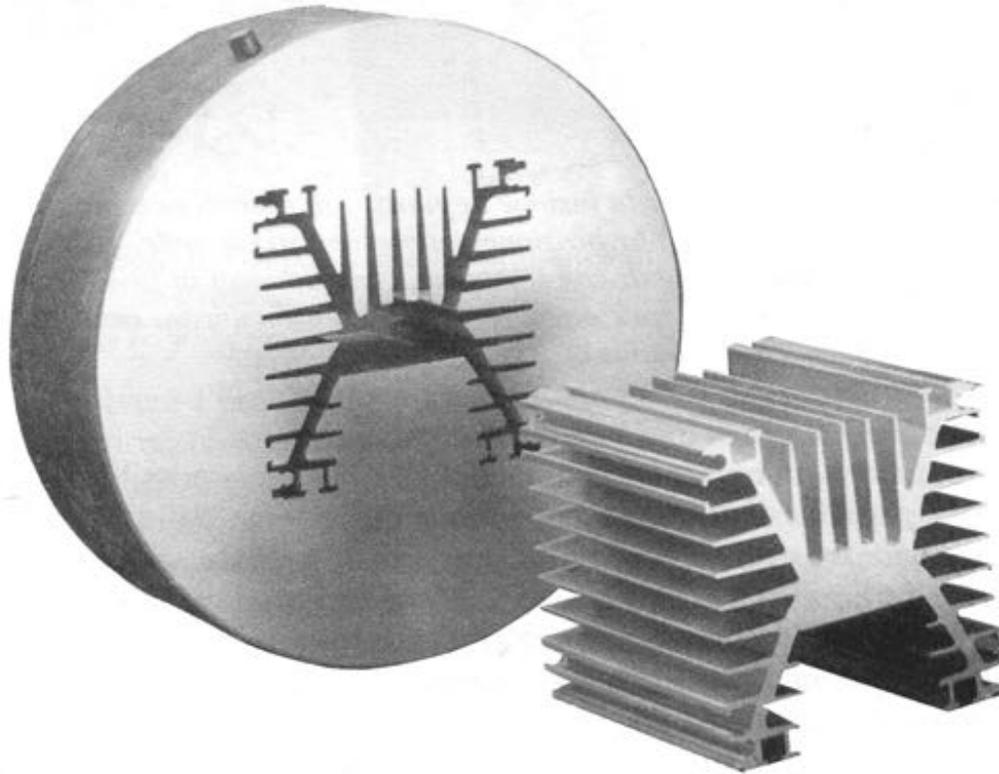


# Electro discharge machining



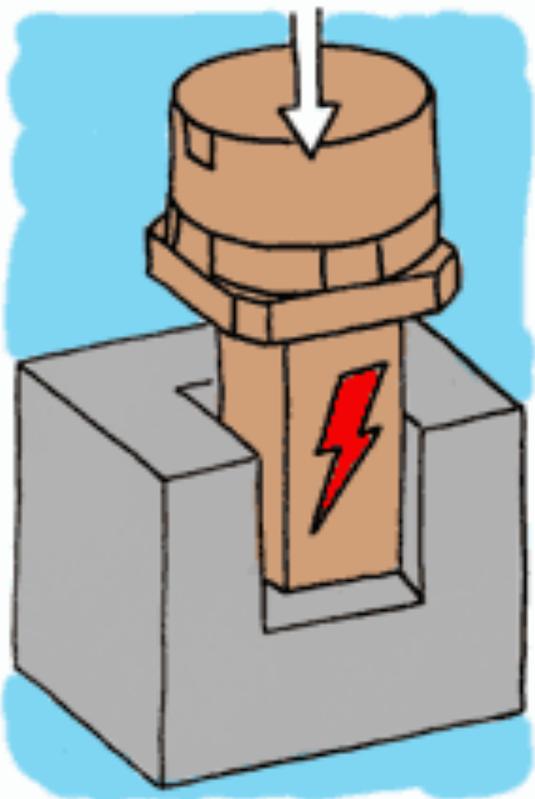
Stampi per oggetti pressofusi

# Electro discharge machining

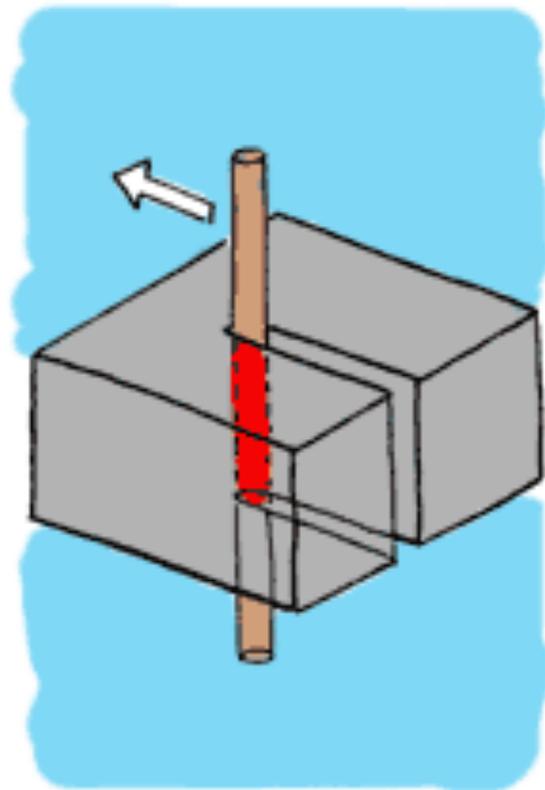


Matrici per oggetti estrusi

# Electro discharge machining

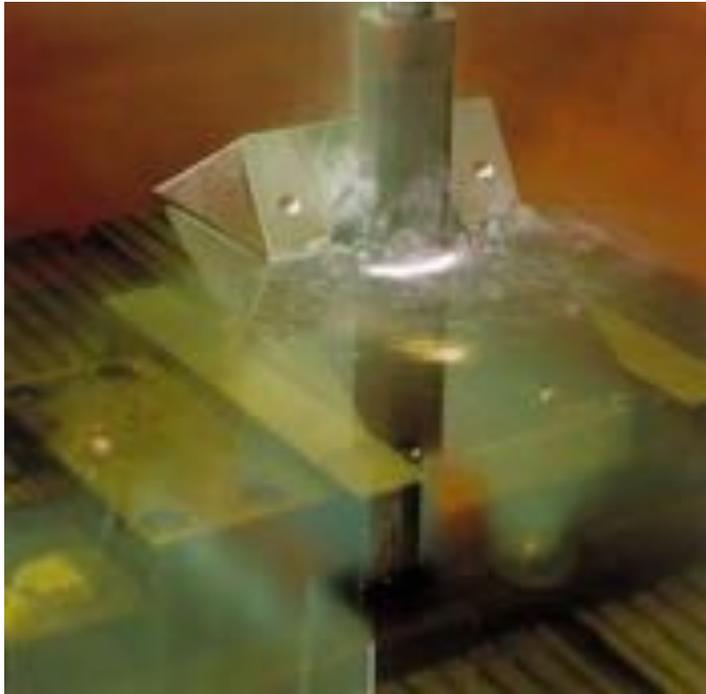


EDM a tuffo



EDM a filo

# Electro discharge machining



EDM a tuffo

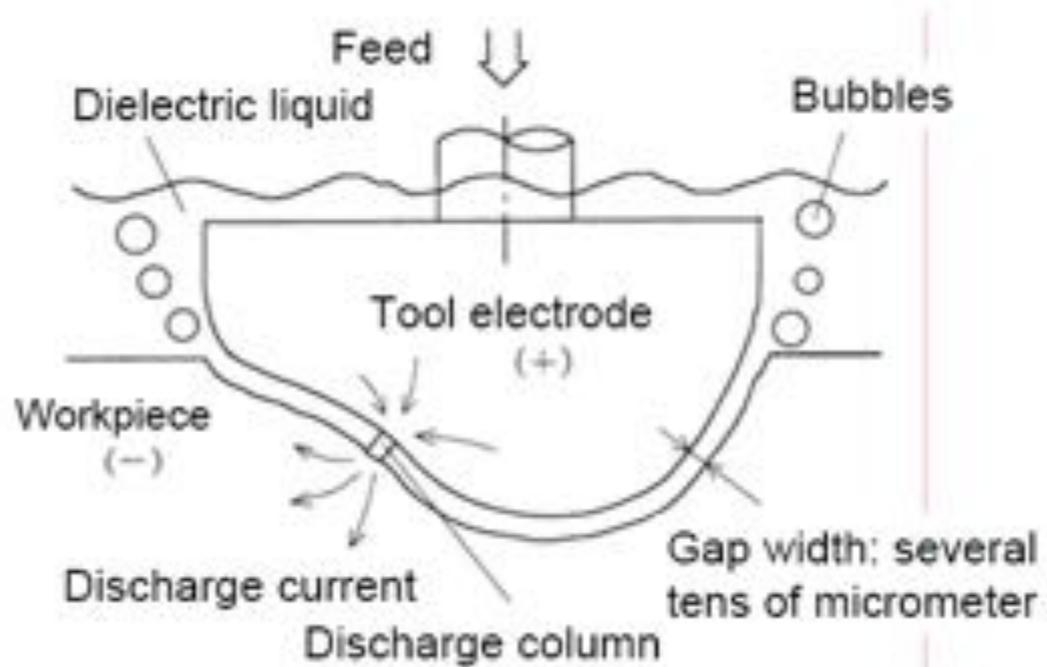


EDM a filo

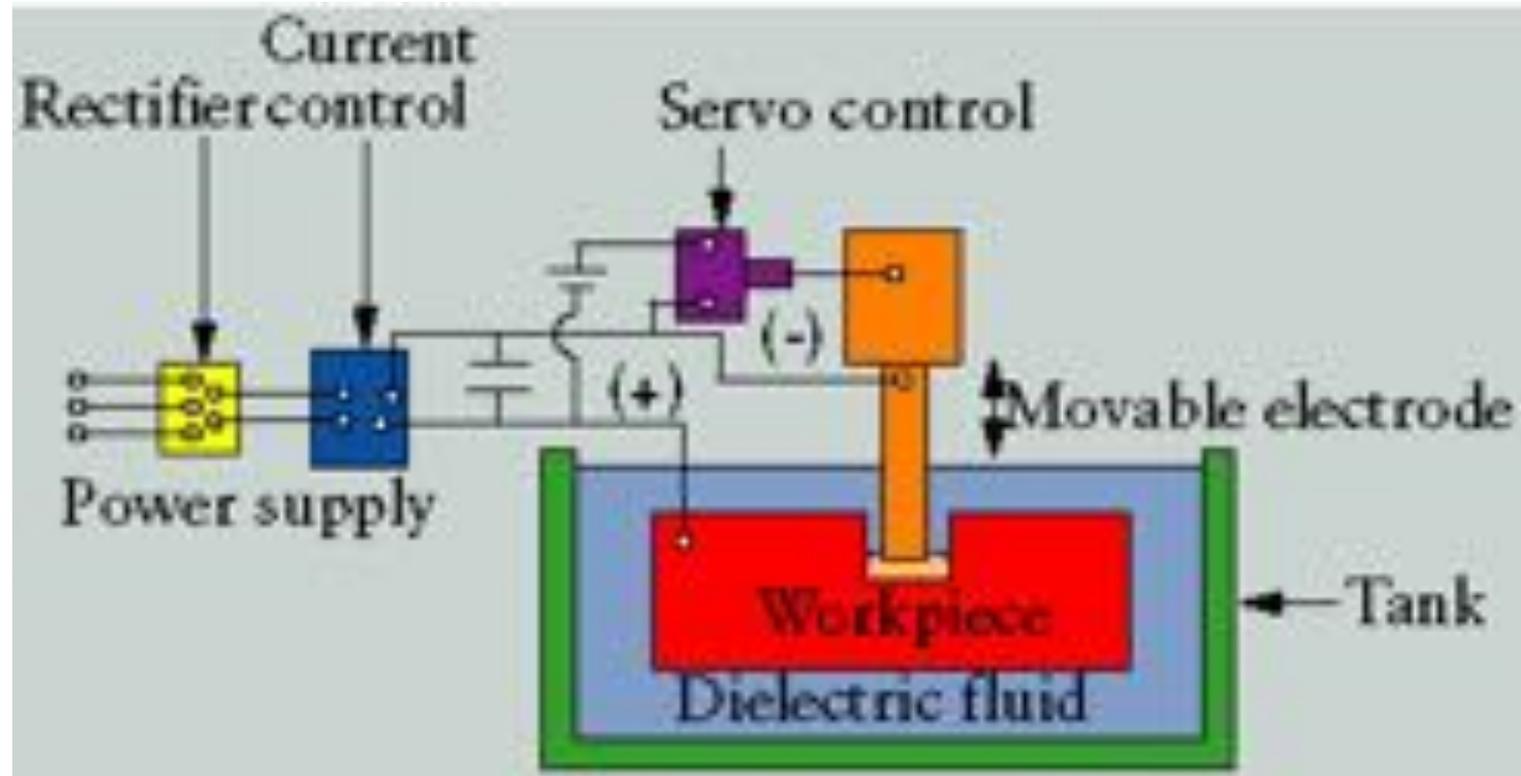
# Electro discharge machining

- Pezzo da lavorare immerso in un fluido dielettrico
- Elettrodo alimentato con polarità positiva
- Pezzo alimentato con polarità negativa
- L'elettrodo e il pezzo non sono mai a contatto (distanza: circa 25  $\mu\text{m}$ )
- Residui della lavorazione: gas e sfere metalliche (tipo polvere metallica)

# Electro discharge machining



# Electro discharge machining



# Electro discharge machining

Descrizione per fasi del processo elettroerosivo:

1. raggiungimento di una certa tensione e conseguente liberazione di elettroni dal catodo
2. urto degli elettroni con atomi e molecole del fluido e creazione di ioni positivi e negativi (effetto a catena)
3. il fluido viene completamente ionizzato e si trasforma in un conduttore lasciando passare la corrente
4. il fluido si trova allo stato di plasma che determina la fusione e la vaporizzazione di alcune zone (sia del pezzo che dell'utensile)
5. dopo la scarica la tensione scende fino ad annullarsi (condensatori scarichi)
6. i condensatori ricominciano ad accumulare energia fino a quando non si raggiunge una tensione tale da innescare nuovamente il processo

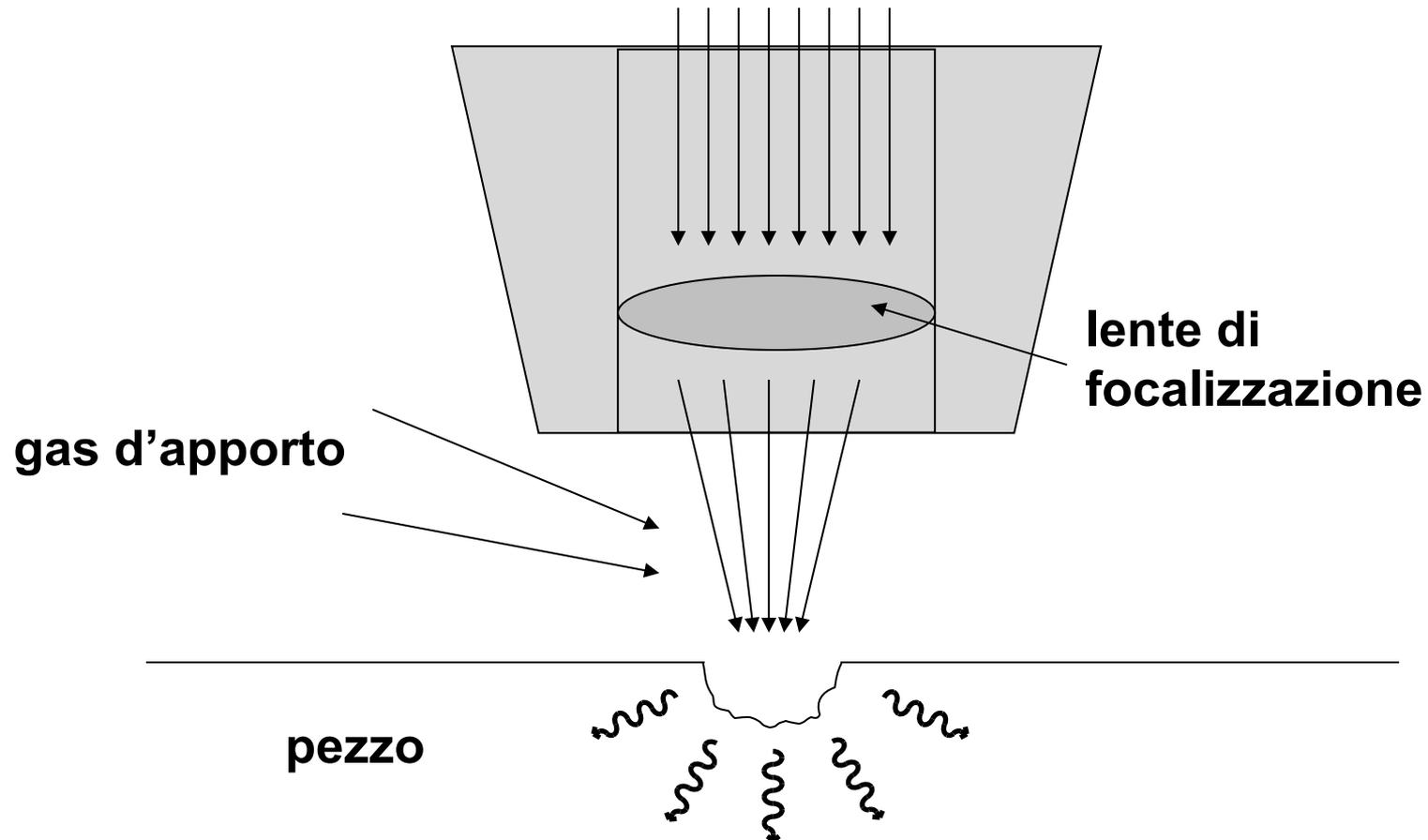
N.B: ad asportare il materiale non è un flusso di corrente ma il continuo e controllato innesco e disinnesco dell'arco elettrico che genera il plasma che ...

# Confronto tra EDM e ECM

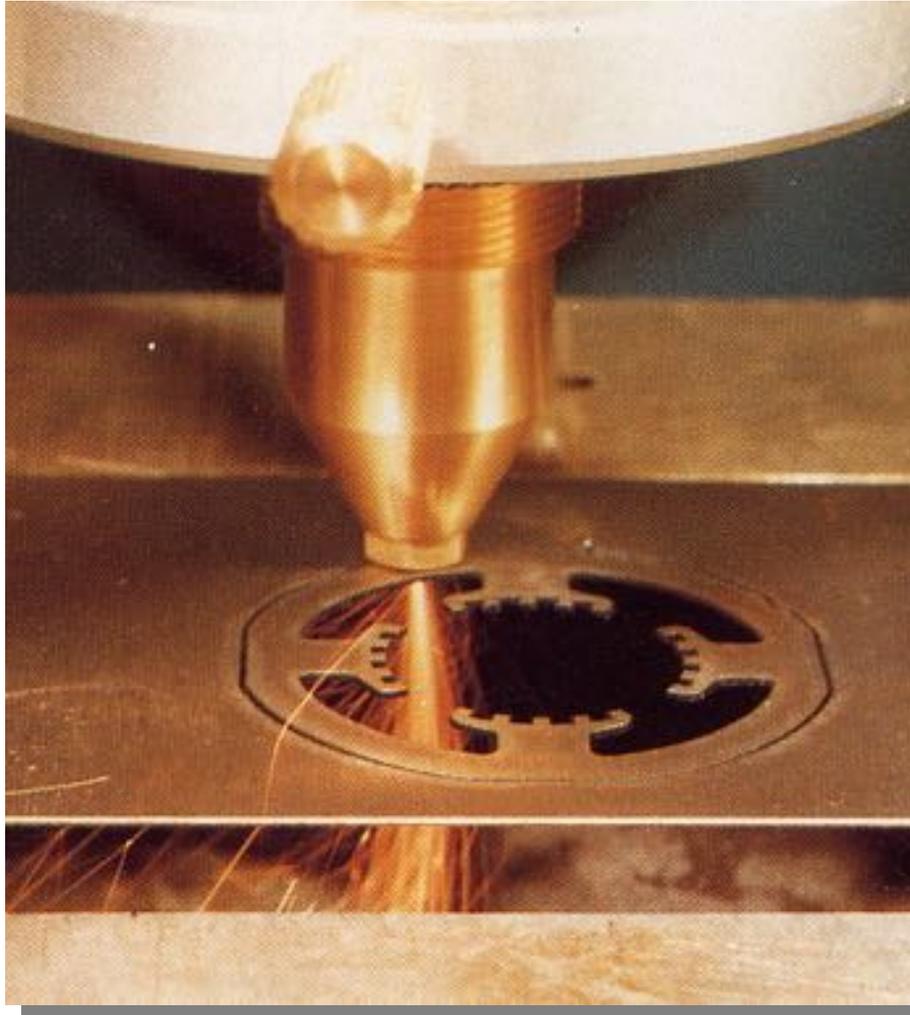
	EDM	ECM
Usura utensile		
Rugosità		
Precisione dimensionale		
Rateo di asportazione		
Spigoli vivi		
Alterazione materiale		
Costo macchina		
Consumo energetico		

# Lavorazioni tramite energia termica

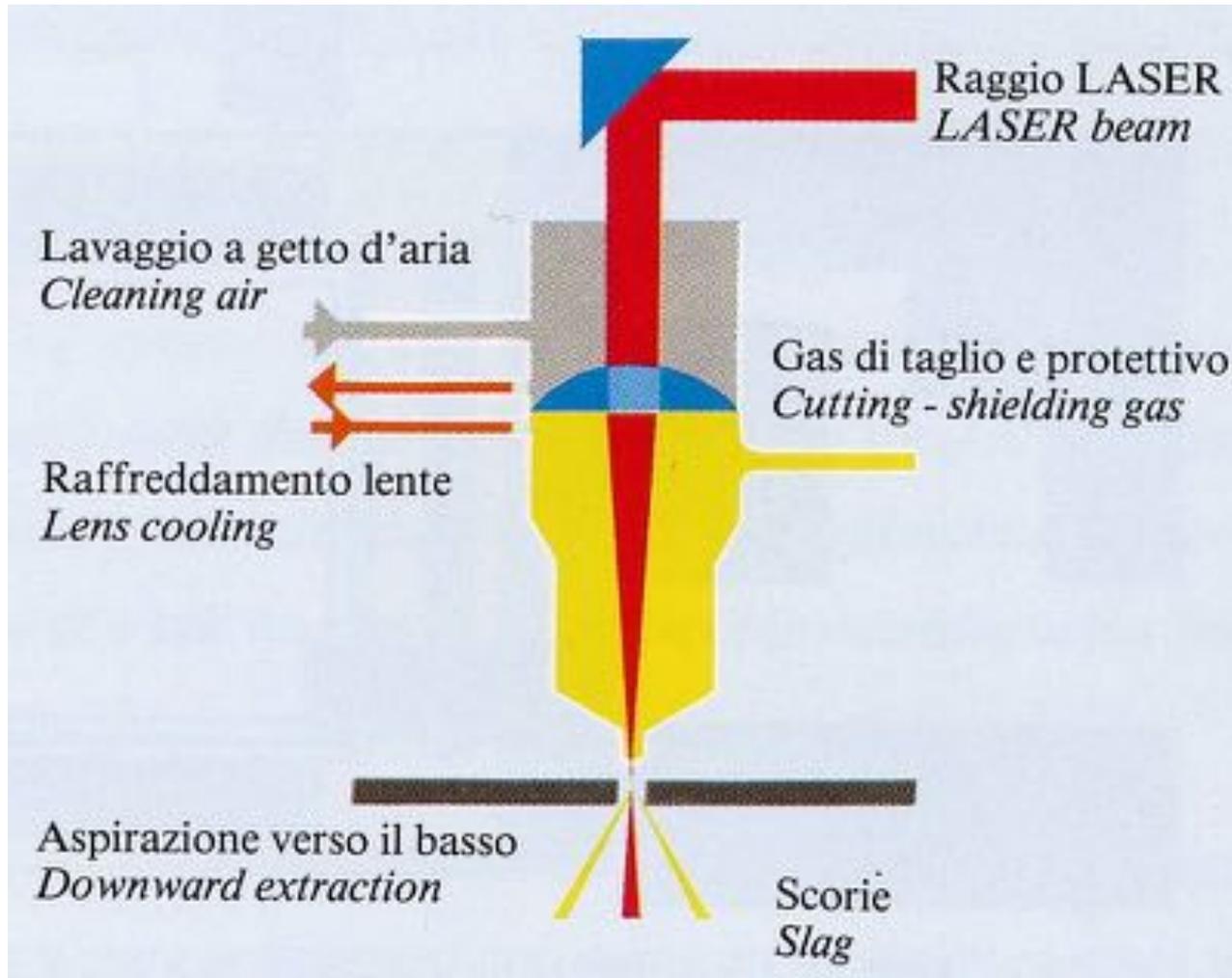
- Laser Beam Machining (LBM)



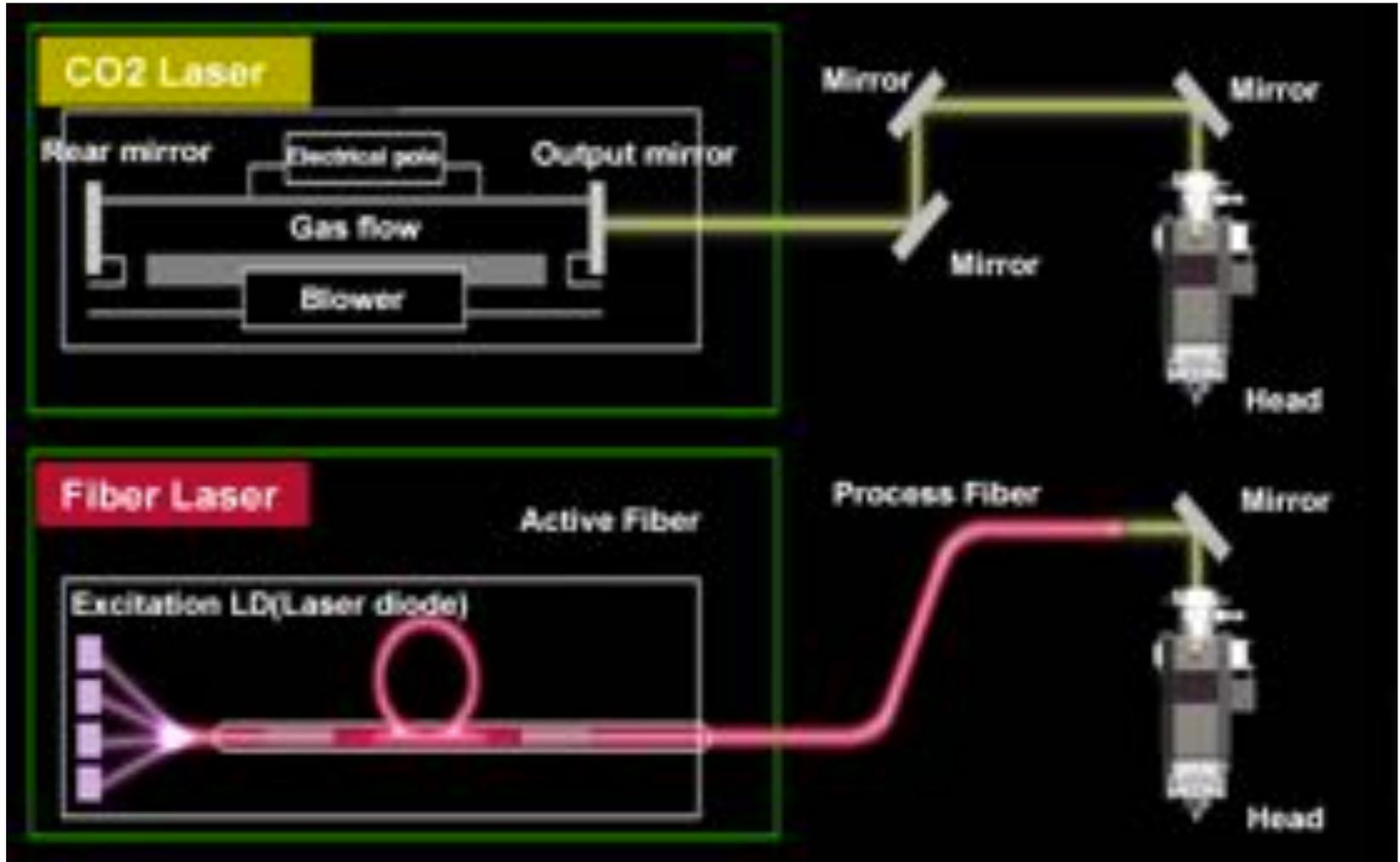
# Laser Beam Machining



# Laser Beam Machining



# Laser Beam Machining



# Laser Beam Machining

- La sorgente di energia è un laser che focalizza l'energia di un fascio di luce coerente sulla superficie del pezzo portandolo alla fusione e all'evaporazione.
- Una sorgente laser è in grado di generare un fascio di onde elettromagnetiche (o fotoni) con particolari caratteristiche:
  - monocromaticità: il fascio laser è costituito da fotoni di uguale lunghezza d'onda  $\lambda$ ;
  - coerenza (fasamento): i fotoni sono tutti in fase;
  - direzionalità: il fascio viene emesso in un'unica direzione con una ristretta divergenza

# Laser Beam Machining

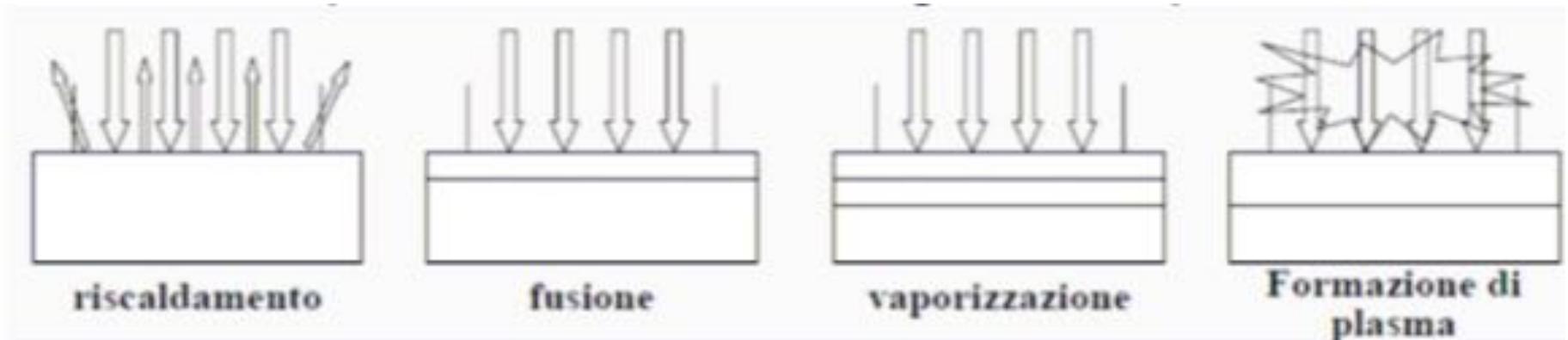
Laser	Lunghezza d'onda (um)	Potenza (W)	Regime
He-Ne	0.6328; 1.15, 3.39	0.001 – 0.05	Continuo
CO2	10.6	Fino a 20k	Continuo o pulsato
Rubino	0.6943	500 J	Pulsato
Nd-YAG	1.06	Fino a 1k	Continuo o pulsato
Erbio	1.55	>1k	Continuo o pulsato

# Laser Beam Machining

- Quando il fascio laser raggiunge una superficie avvengono diversi fenomeni:
  - riflessione,
  - assorbimento
  - trasmissione della luce.La riflessione comporta perdita di energia.
- Se  $P_i$  è la potenza incidente,  $R$  verrà riflessa dalla superficie e solo la quantità  $A=1-R$  viene assorbita dal materiale.
- Il coefficiente di assorbimento superficiale dipende dal materiale, dalla lunghezza d'onda del laser (all'aumentare della  $\lambda$  diminuisce  $A$  per i metalli mentre aumenta per i materiali organici) e dalla finitura superficiale (all'aumentare della finitura diminuisce  $A$ )

# Laser Beam Machining

- L'asportazione di materiale può avvenire con diverse modalità e passa attraverso le fasi seguenti:
  - riscaldamento,
  - fusione
  - vaporizzazione
- Questa è la modalità più utilizzata, ma, a causa della elevata conducibilità termica e del basso assorbimento, alcuni materiali non possono essere tagliati in questo modo.

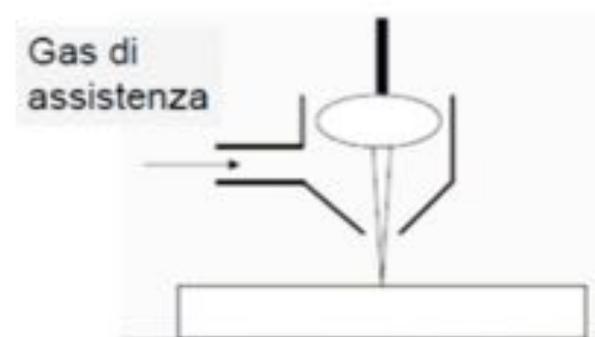


# Laser Beam Machining

- In alternativa possono avvenire
  - riscaldamento
  - reazione esotermica di ossidazione
- Tale modalità viene utilizzata solo per i metalli. Il laser riscalda il materiale ad una T che favorisce la reazione tra materiale e gas di assistenza. Il calore prodotto permette l'asportazione.

# Laser Beam Machining

- Durante le lavorazioni di taglio il fascio laser viene focalizzato sulla superficie da lavorare. Nella stessa direzione del fascio viene fatto fluire del gas che ha lo scopo di:
  - favorire l'allontanamento del materiale fuso
  - proteggere la lente da eventuali proiezioni di materiale fuso
  - allontanare il plasma che si forma al di sopra della superficie
- Il gas è generalmente una miscela di gas inerti ( $N_2$ ,  $He_2$ ). Nel caso di taglio ossiassistito, il gas inerte viene sostituito con l'ossigeno che è estremamente reattivo.



# Laser Beam Machining

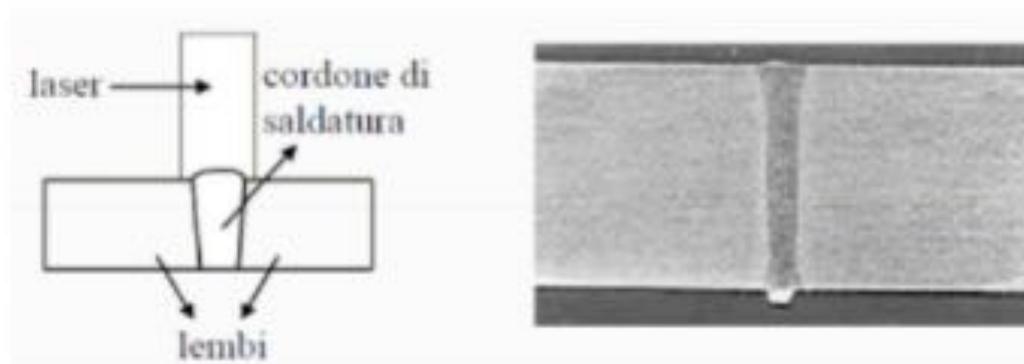
- Vantaggi
  - elevati valori di densità di potenza
  - assenza contatto utensile-pezzo
  - assenza usura utensile
  - fascio facilmente direzionabile
  - non occorre lavorare sotto-vuoto
  - zona termicamente alterata ridotta
  - ridotte distorsioni termiche
  - Materiali lavorabili: metallici, polimerici, ceramici, compositi, legno, carta, vetro, gomma, pelle

# Laser Beam Machining

- Svantaggi
  - impianti costosi
  - danneggiamento termico sui materiali sensibili al calore
  - superfici craterizzate
  - elevata precisione di posizionamento dei pezzi
  - influenza della riflettività

# Altre applicazioni dei laser

- Laser per saldatura
  - Il raggio laser, focalizzato sul profilo dei lembi, ne determina la saldatura autogena per fusione e successiva risolidificazione.
    - Assistito ad ossigeno
    - Per fusione
    - Per degradazione chimica
  - La saldatura avviene quindi senza materiale d'apporto, mentre è richiesto l'uso di un gas inerte di copertura (argon, elio, azoto) per evitare ossidazioni.



# Altre applicazioni dei laser

## Laser per saldatura

### **Vantaggi**

- Elevata produttività
- Limitate distorsioni termiche del componente
- Limitata alterazione termica del materiale
- Assenza di materiale d'apporto
- Facilità di accesso
- Possibilità di ottenere saldature estetiche
- Elevata qualità del cordone (profonda penetrazione)

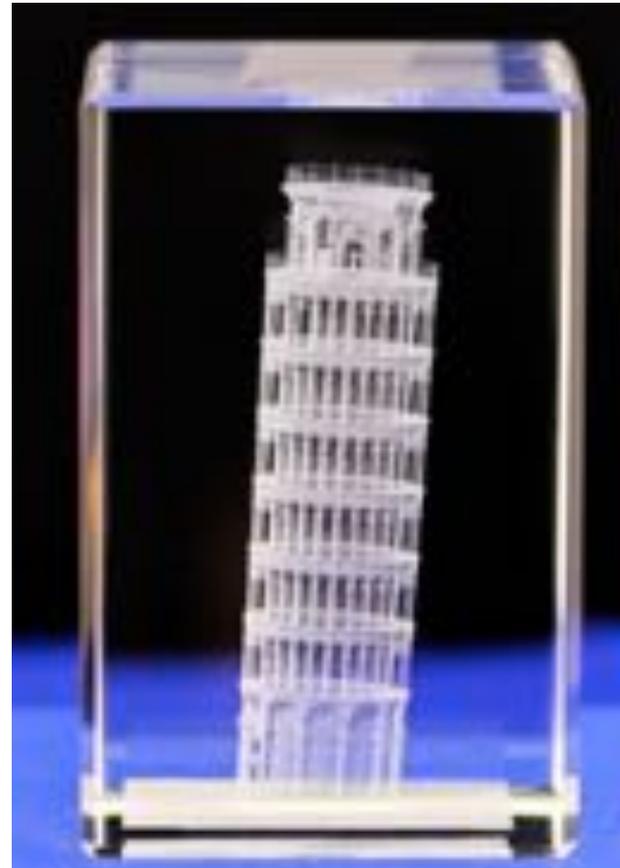
### **Svantaggi**

Difficoltà tecnologiche:

- I due lembi devono essere accoppiati in modo perfetto (luce 5÷10% dello spessore)
- Il fascio deve seguire con estrema precisione la linea di saldatura (sistema di spostamento particolarmente preciso)

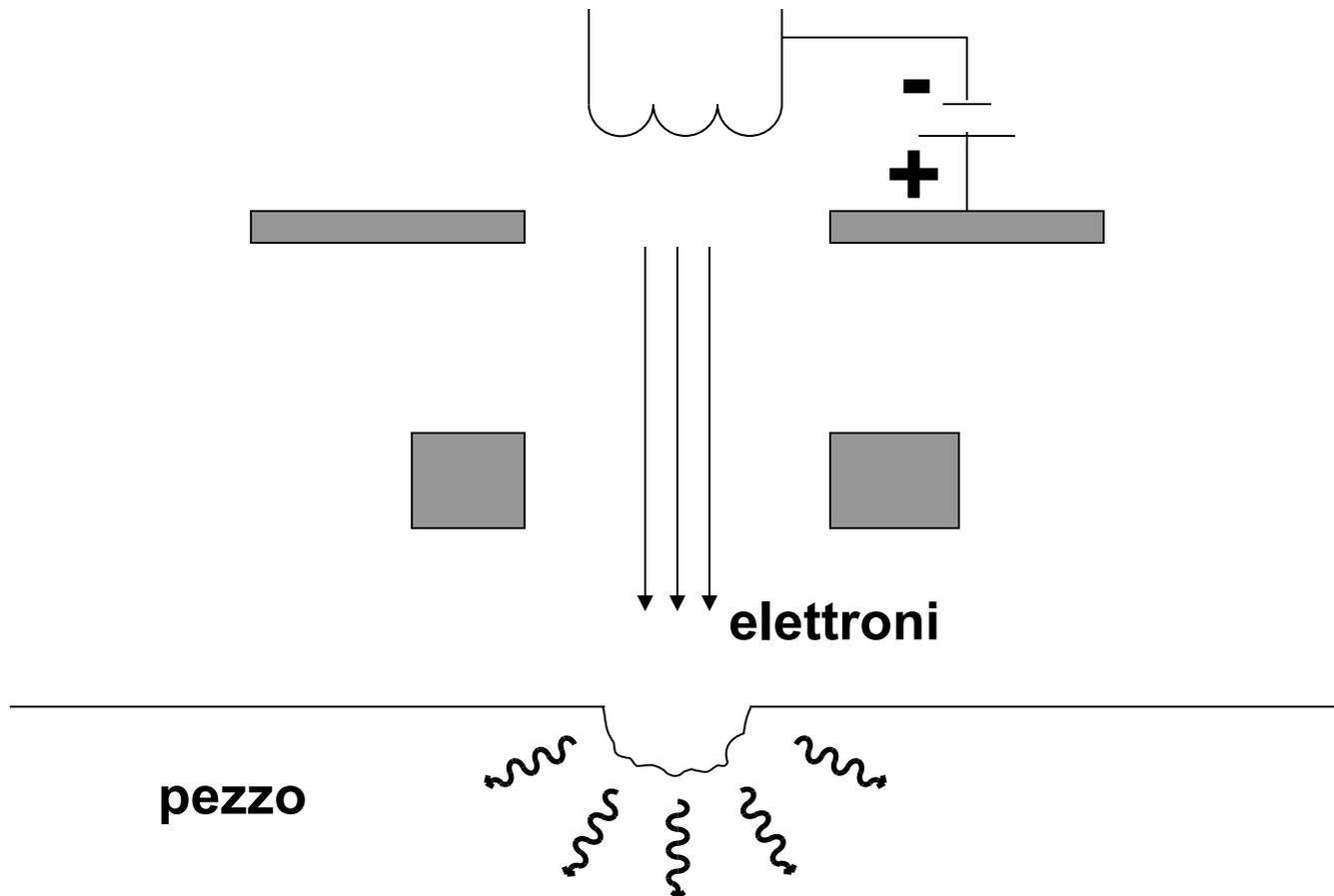
# Altre applicazioni dei laser

- Laser per marcatura ed incisione



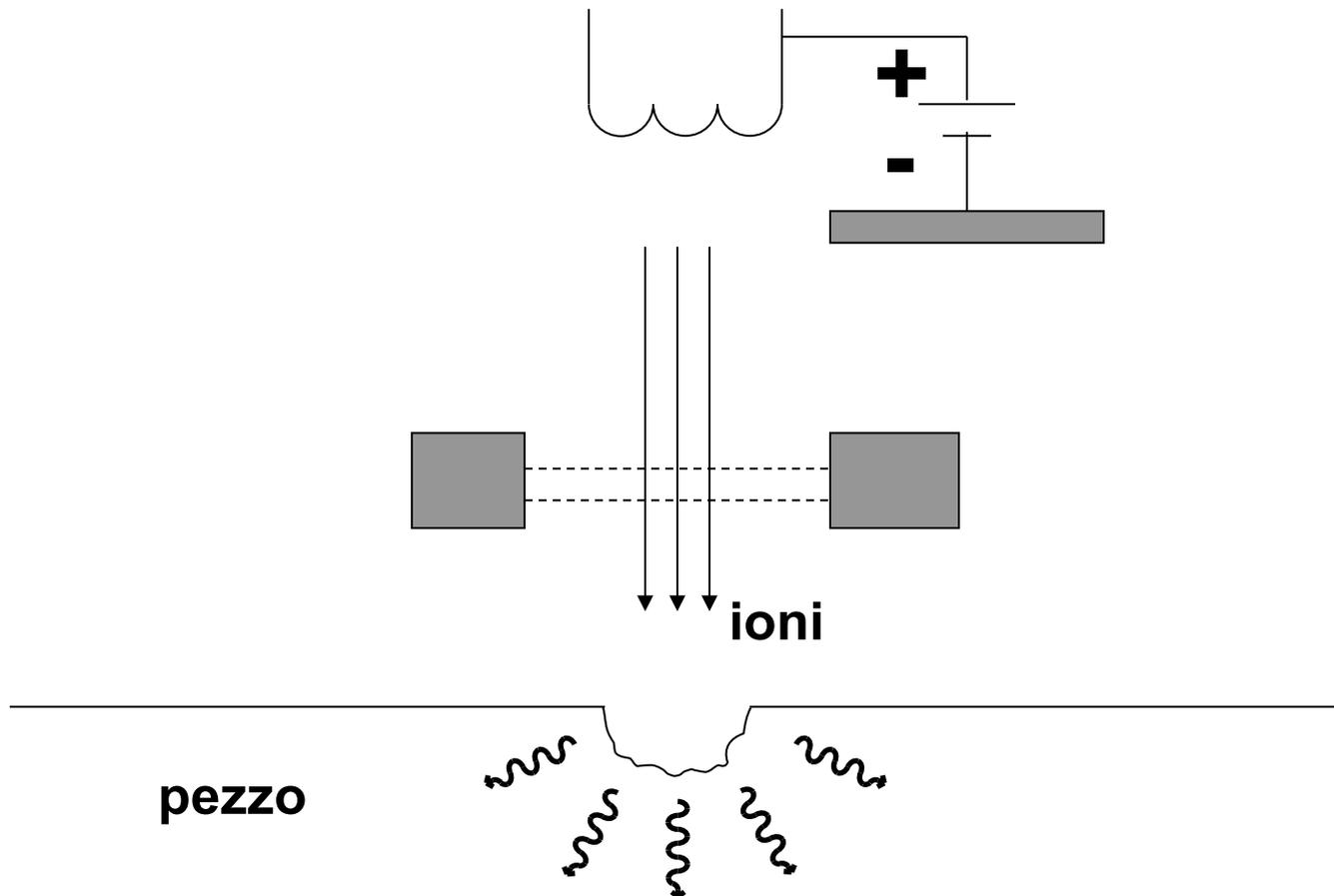
# Lavorazioni tramite energia termica

- Electron Beam Machining (EBM)



# Lavorazioni tramite energia termica

- Ion Beam Machining (IBM)

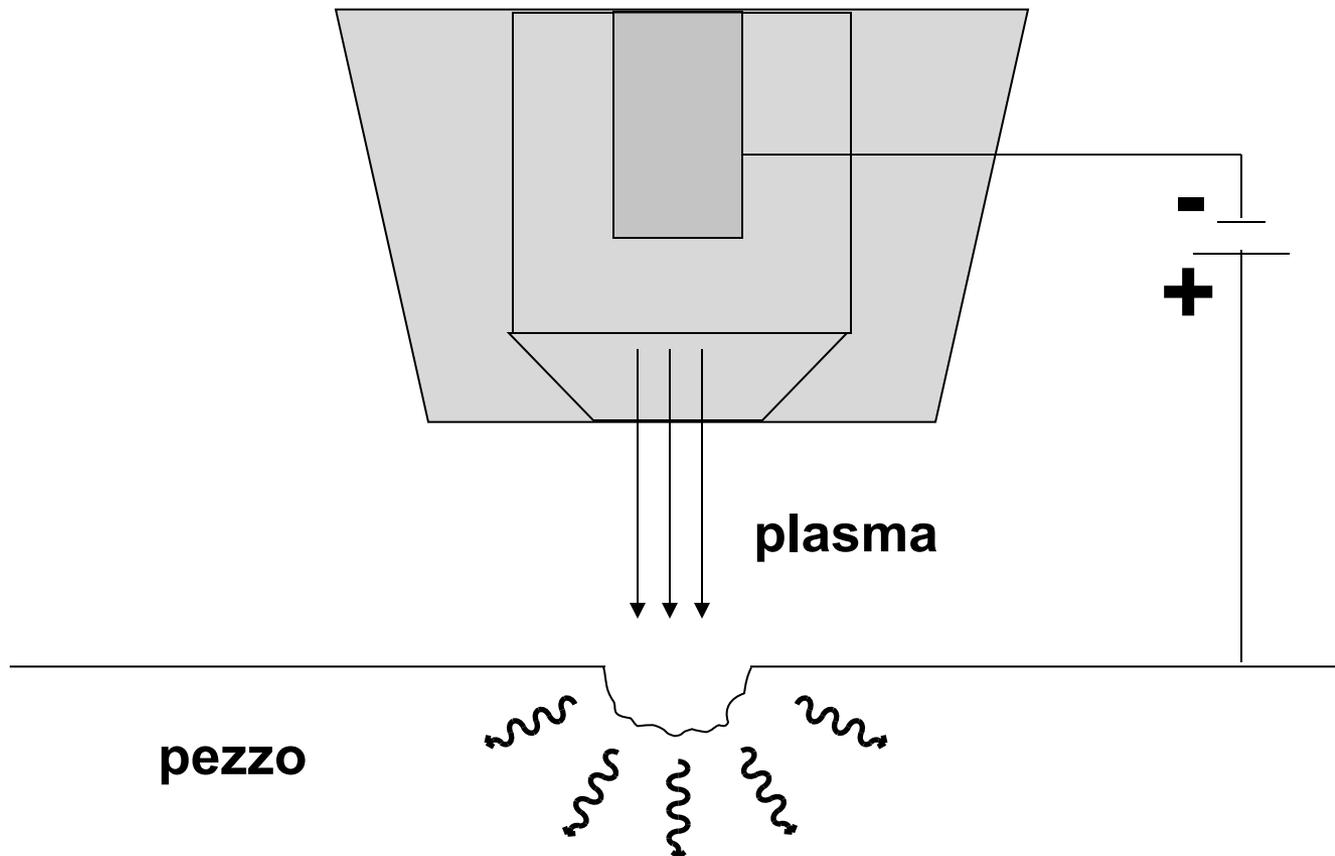


# EBM e IBM

- Questi processi vengono tipicamente utilizzati utilizzato per
  - taglio
  - foratura
  - saldatura
  - impianto di atomi sulla superficie del pezzo (drogaggio)
  - deposizione di atomi sulla superficie del pezzo (ricoperture)
- La necessità di operare sotto vuoto limita le dimensioni dei pezzi da lavorare.

# Lavorazioni tramite energia termica

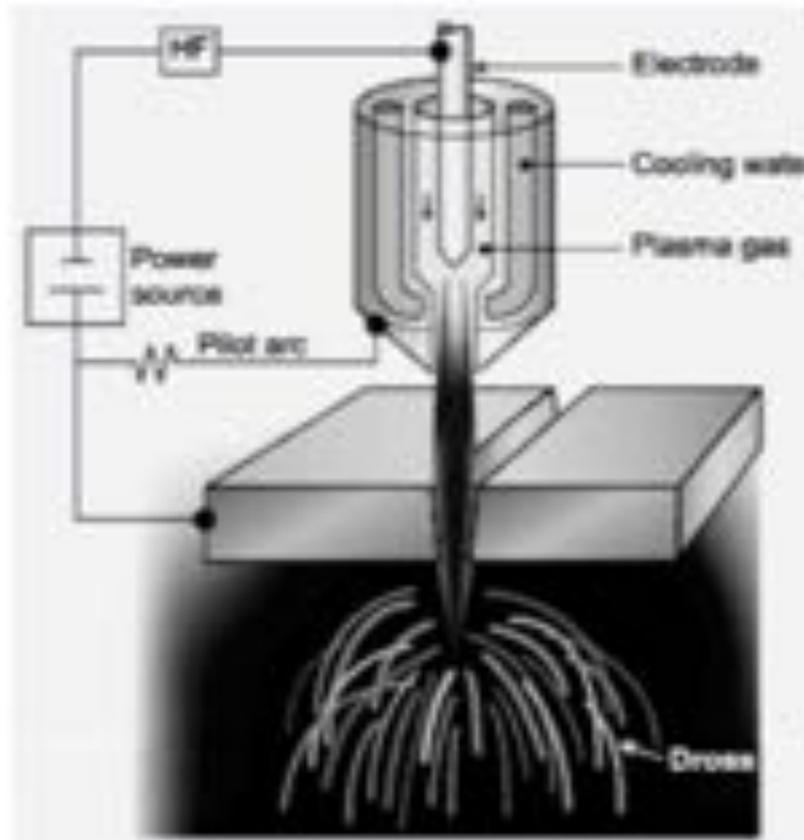
- Plasma Beam Machining (PBM)



# Plasma Beam Machining (PBM)

- Si utilizza un gas ionizzato (plasma) come mezzo per trasferire energia termica da una sorgente di potenza elettrica alla superficie del materiale.
  - Gas a T ambiente → ISOLANTE elettrico
  - Gas ad alta energia → CONDUTTORE elettrico
- L'arco viene fatto passare attraverso un ugello di rame, raffreddato ad acqua, posizionato tra elettrodo e pezzo.
- Principio di funzionamento consiste nella generazione di un flusso di plasma che viene accelerato e “sparato” contro la superficie del pezzo da lavorare

# Plasma Beam Machining (PBM)



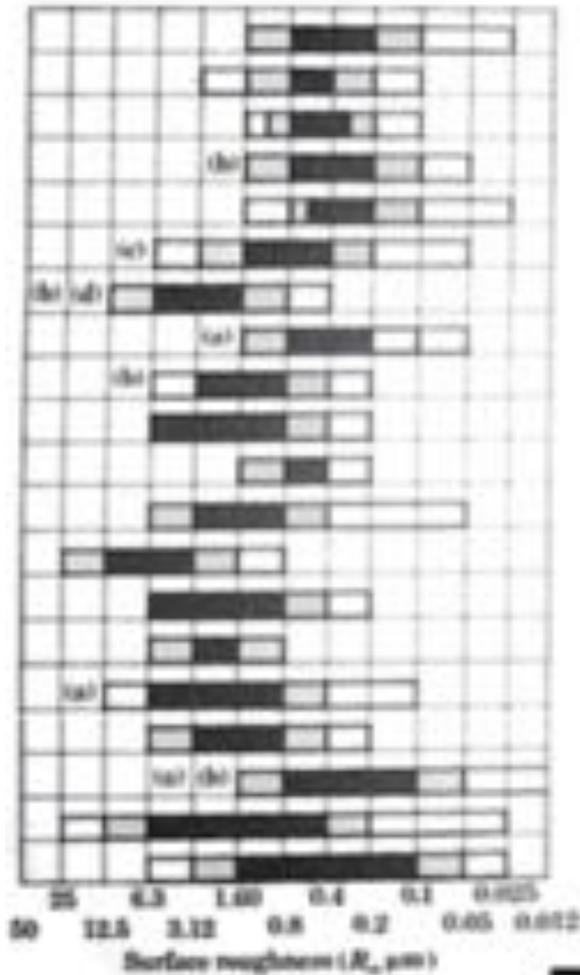
# Parametri di processo

	<b>USM</b>	<b>ECM</b>	<b>EDM</b>	<b>EBM</b>	<b>LBM</b>	<b>PBM</b>
Tensione (V)	220	10	45	150k	4k	100
Corrente (A)	10	10k	60	0.01	0.25	500
Potenza (W)	220	100k	2700	1500	1000	50k
Gap (mm)	0.25	0.20	0.03	100	>100	10

# Materiali lavorabili

	USM	WJM	ECM	CHM	EDM	EBM	LBM	PBM
Alluminio	*	**	**	***	**	**	**	**
Acciaio	**	**	***	***	***	**	**	***
Superleghe	*	***	***	**	***	**	**	***
Titanio	**	**	**	**	***	**	**	**
Ceramiche	***	***	No	*	No	***	***	No
Plastiche	**	**	No	*	No	**	**	*
Vetro	***	***	No	**	No	**	**	no

# Prestazioni



## MECHANICAL

Abrasive-flow machining

Low-stress grinding

Ultrasonic machining

## ELECTRICAL

Electrochemical deburring

Electrochemical grinding

Electrochemical milling (internal)

Electrochemical milling (side walls)

Electrochemical polishing

Shaped-tube electrolytic machining

## THERMAL

Electron-beam machining

Electrical-discharge grinding

Electrical-discharge machining (finishing)

Electrical-discharge machining (roughing)

Laser-beam machining

Plasma-beam machining

## CHEMICAL

Chemical machining

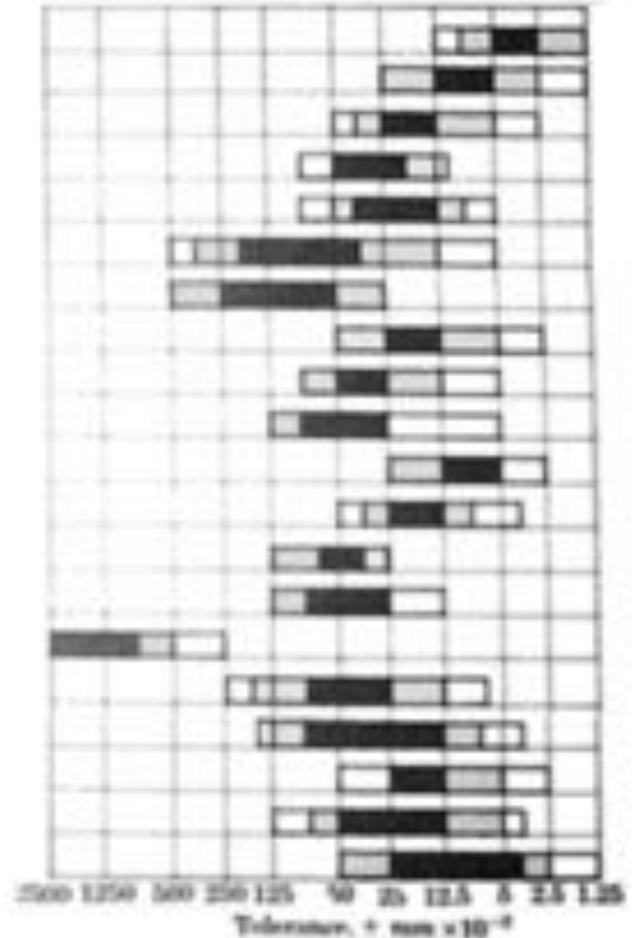
Photochemical machining

Electropolishing

## CONVENTIONAL MACHINING

Turning

Surface grinding



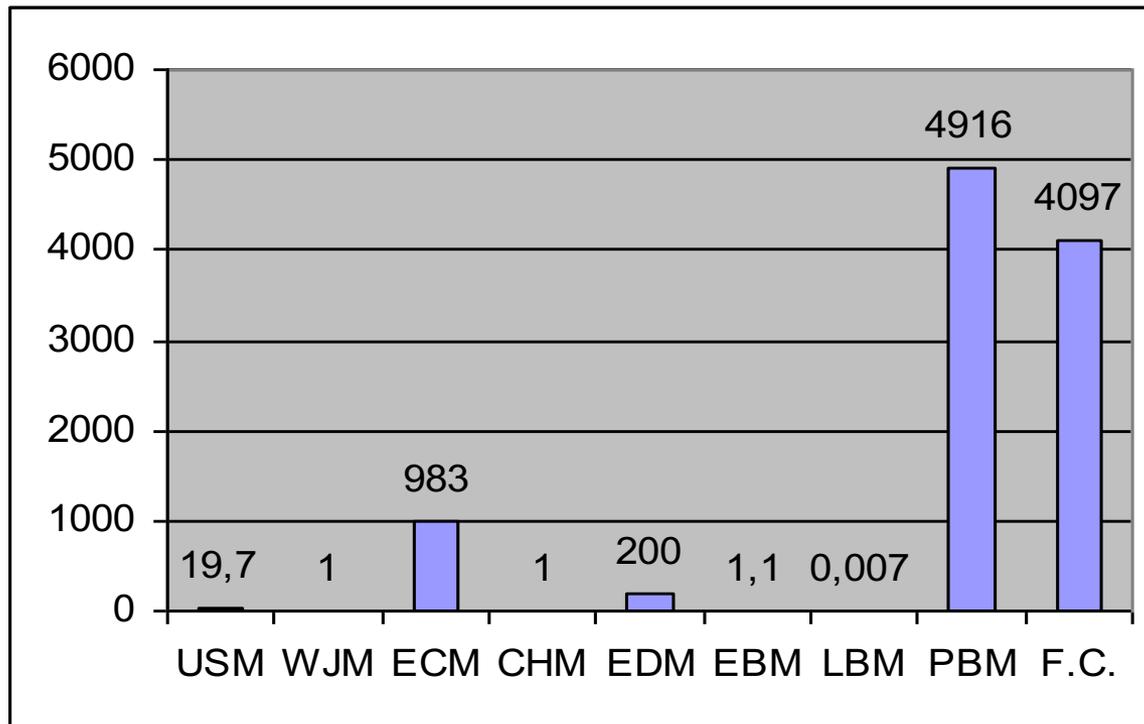
■ Average application (normally anticipated values)

▨ Less frequent application (unusual or precision conditional)

□ Rare (special operating conditions)

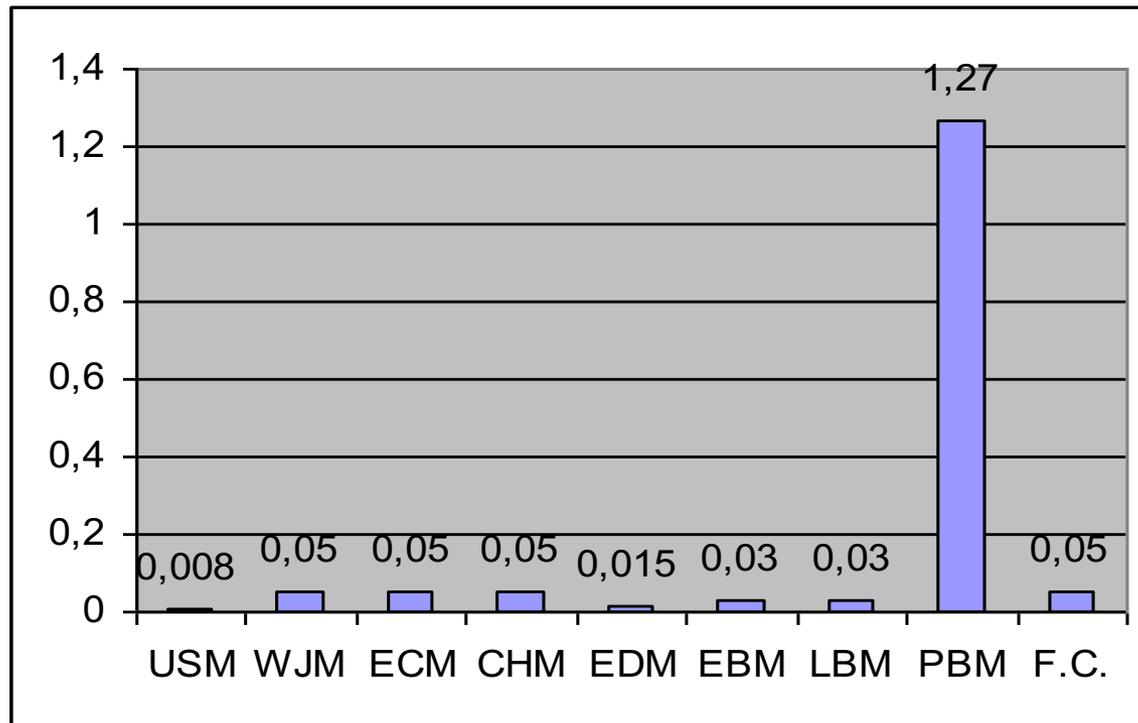
# Prestazioni

- Produttività ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )



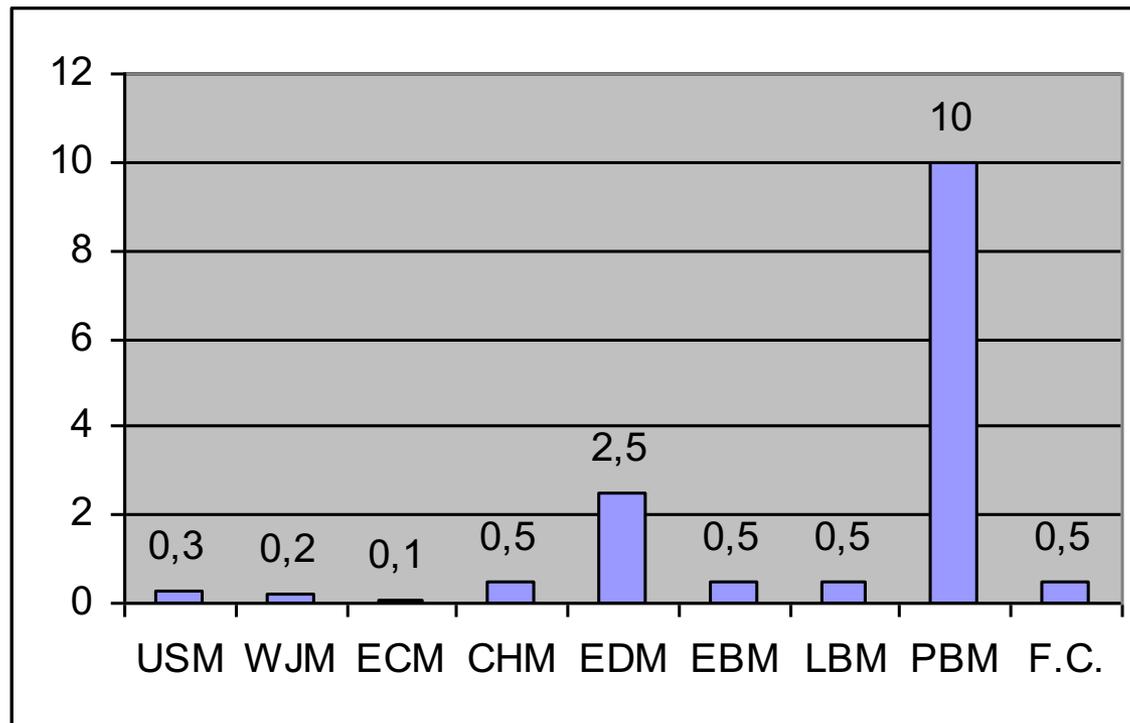
# Prestazioni

- Precisione dimensionale (mm)



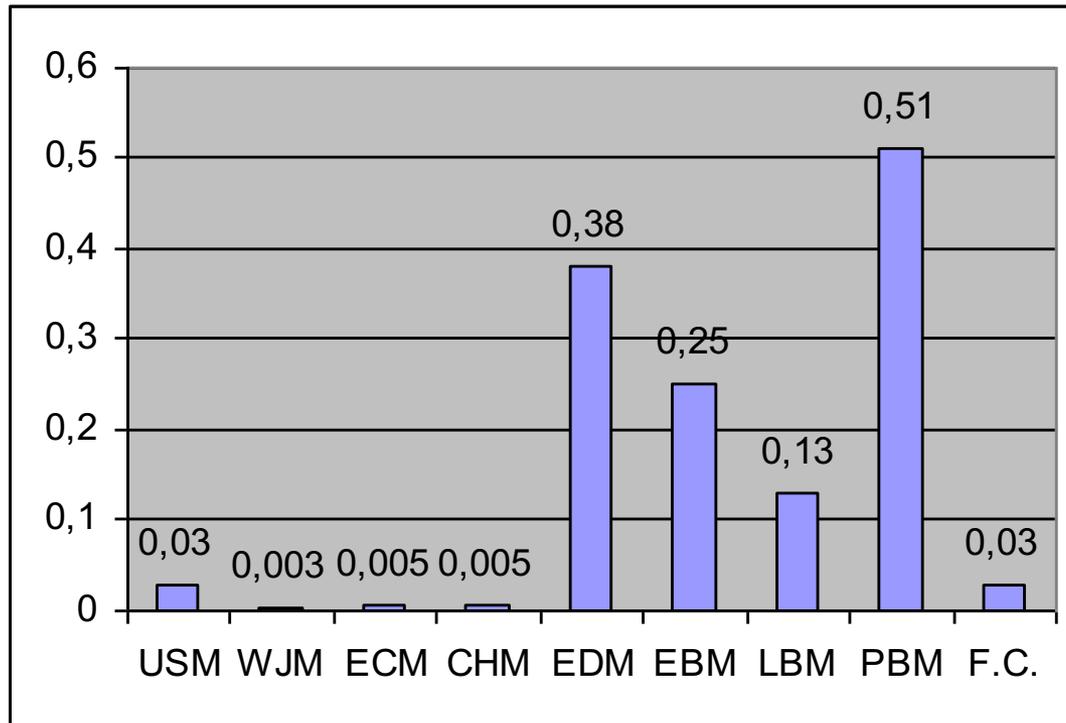
# Prestazioni

- Rugosità (um)



# Prestazioni

- Profondità alterazione materiale (mm)



# Valutazione di una tecnologia

- Tecnologia: Prodotto + processo + sistema
- Processo
  - principio fisico di base del processo
  - modellazione dell'interazione tra utensile e materiale
  - principali parametri di processo e relativo campo di variabilità
- Sistema
  - descrizione del sistema
  - schema di funzionamento
- Prodotto
  - relazione tra parametri di processo e qualità dei prodotti ottenibili
  - principali applicazioni industriali

# Valutazione di una tecnologia

- Costo
  - Costo d'investimento (S)
  - Costo di esercizio (S)
  - Impatto ambientale (S/Pc)
- Qualità
  - Complessità particolari geometrici (Pd)
  - Finitura superficiale (Pd)
  - Proprietà termomeccaniche (Pd)
  - Ripetibilità del processi (Pc)
  - Precisione del processo (Pc)
- Flessibilità
  - Range di materiali lavorabili (S/Pc)
  - Range di geometrie lavorabili (S/Pc)
  - Variabilità di ritmi produttivi (S/Pc)
- Tempo
  - Velocità di lavorazione (S/Pc)
  - Tempi di setup (S)
  - Tempo di progettazione e lancio in produzione di un nuovo prodotto (time to market) (S)

# Credits

- Prof. Gino Dini – Università di Pisa
  - Processi di Produzione Innovativi
  - [http://www.dimnp.unipi.it/dini-g/index\\_file/Page1453.html](http://www.dimnp.unipi.it/dini-g/index_file/Page1453.html)