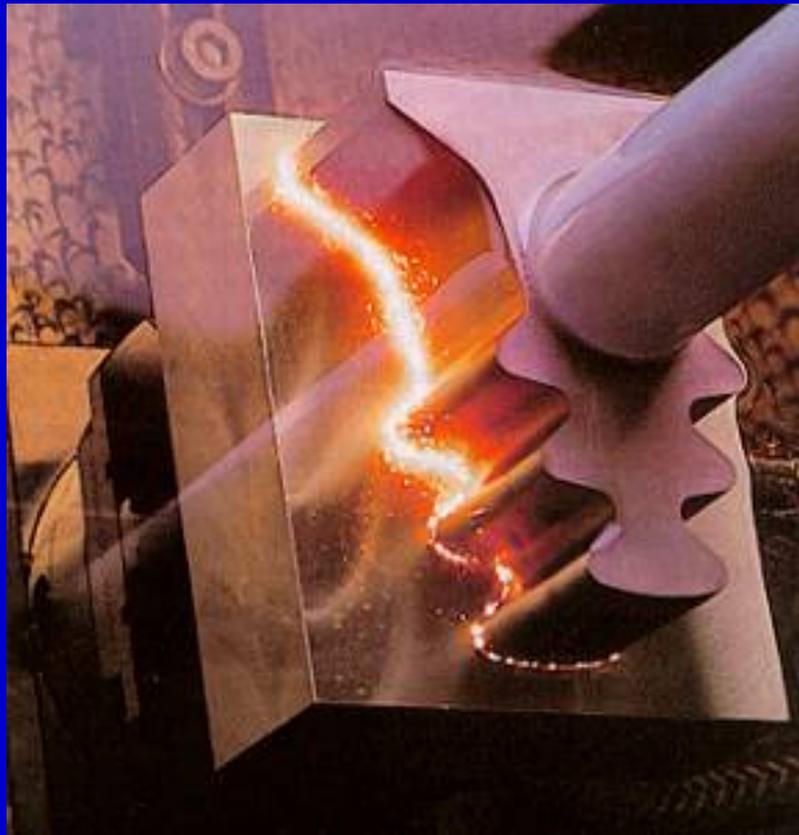


Gli elettrodi nell' EDM



A - sinistra: esecuzione di uno stampo, dove il fluido è convogliato nella zona di lavorazione tramite piccoli fori presenti nell'elettrodo utensile.

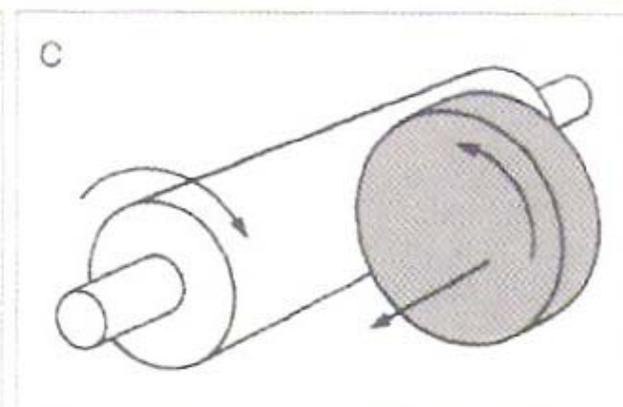
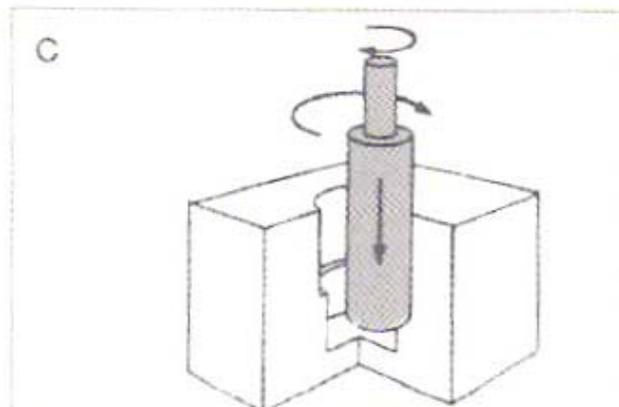
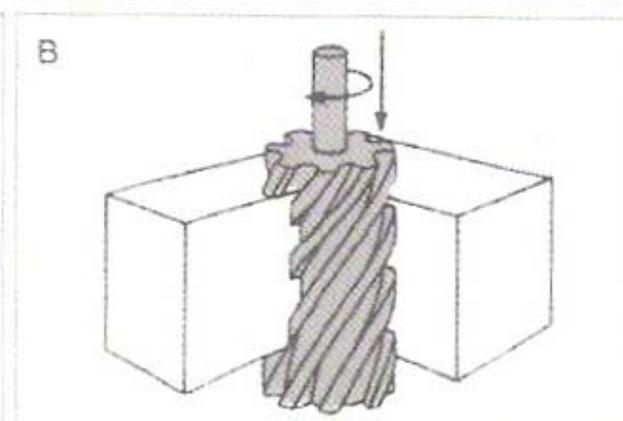
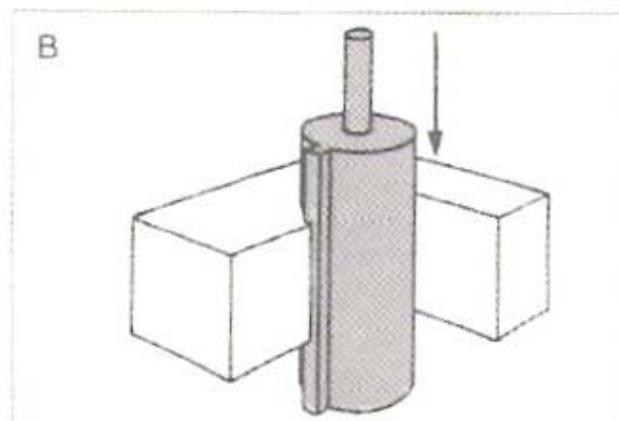
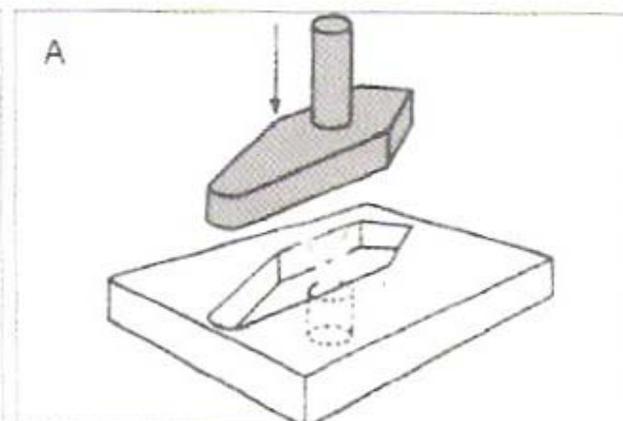
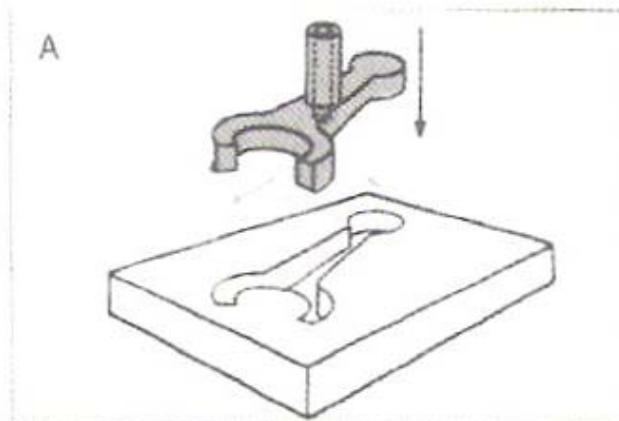
A - destra: lavorazione di uno stampo nel quale il fluido arriva alla zona di erosione attraverso il pezzo lavorato.

B - sinistra: operazione di alesatura con semplice avanzamento verticale dell'elettrodo utensile.

B - destra: alesatura elicoidale con semplice avanzamento verticale e movimento rotatorio combinati.

C - sinistra: rettifica cilindrica interna, dove l'elettrodo ruota, orbita e avanza verso il basso.

C - destra: rettifica tangenziale, dove il pezzo in lavorazione ruota, mentre l'elettrodo utensile avanza lateralmente.



D - sinistra: operazione di semplice fresatura piana.

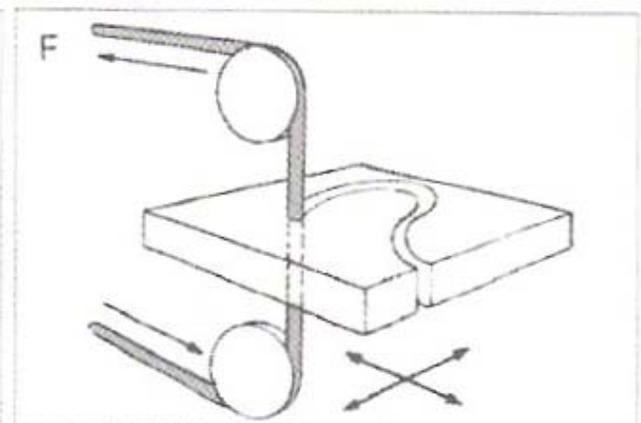
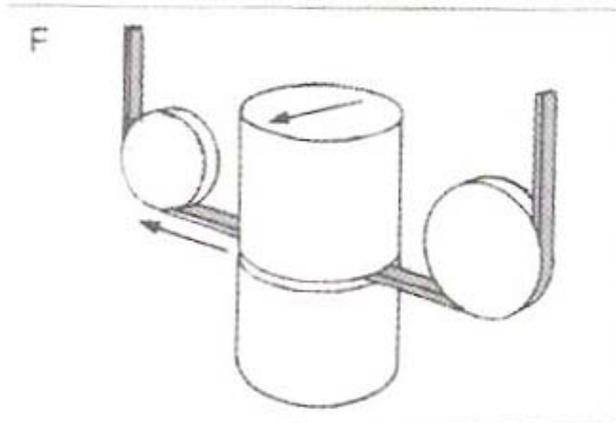
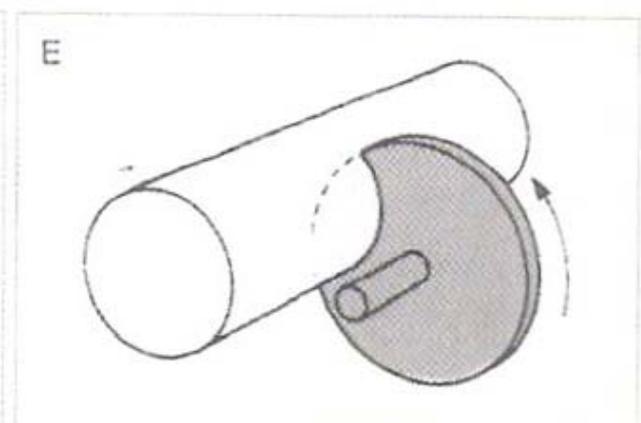
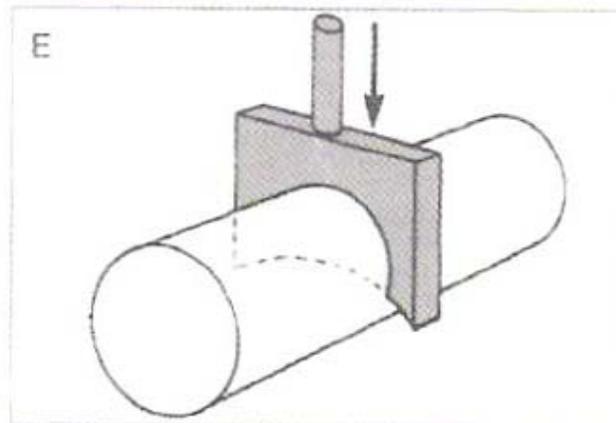
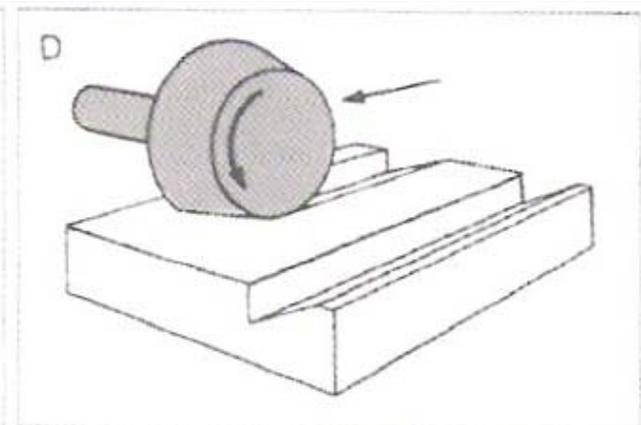
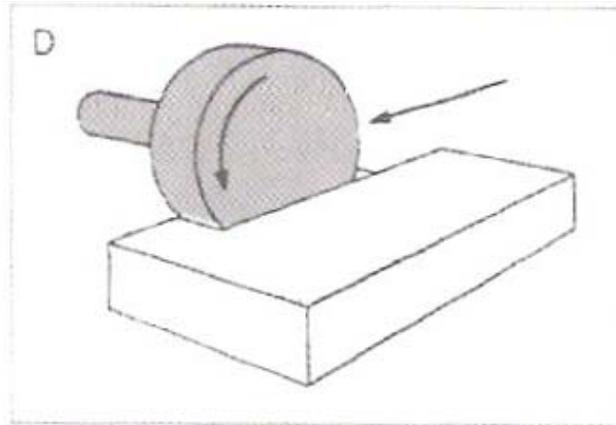
D - destra: operazione di fresatura piana sagomata.

E - sinistra: operazione di troncatura, dove l'elettrodo utensile, costituito da una semplice lama, avanza verticalmente.

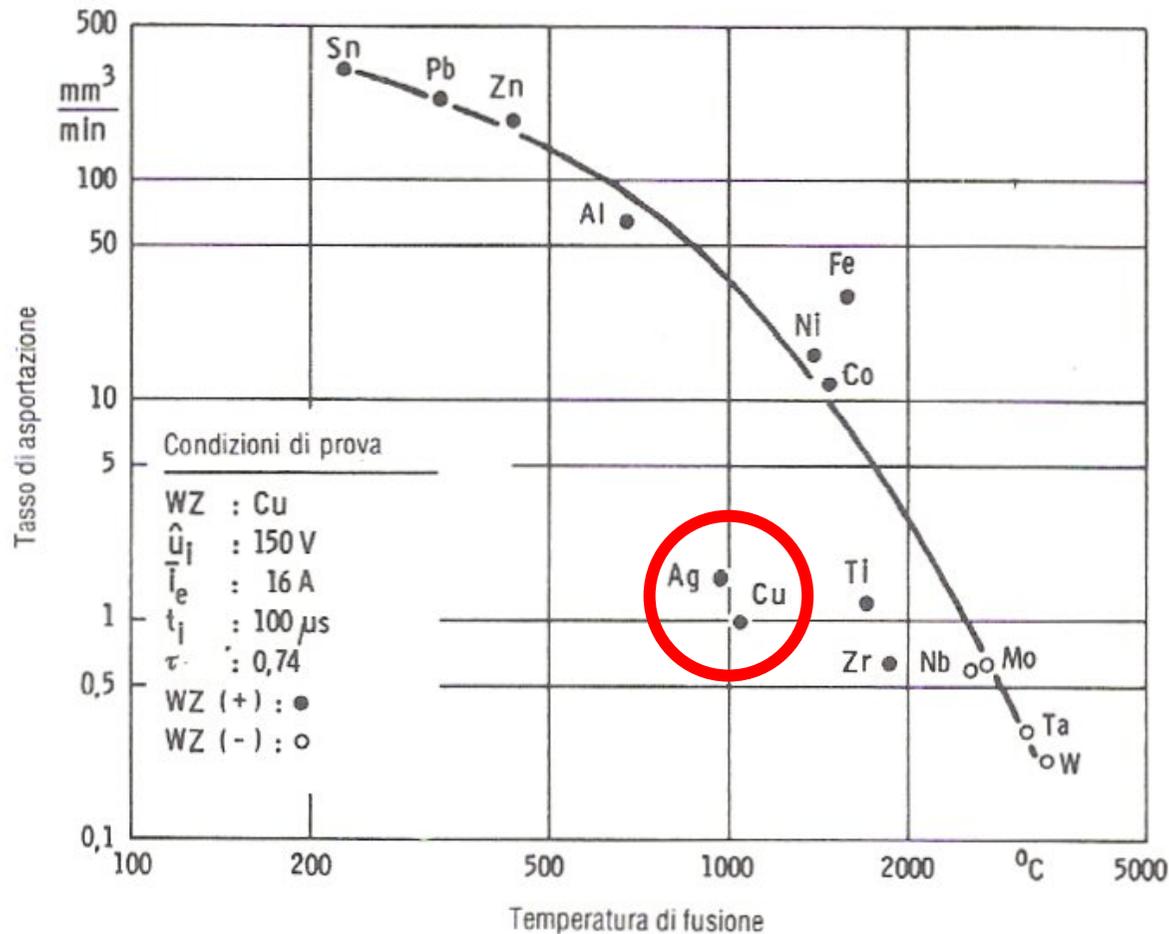
E - destra: operazione di taglio a sega circolare, dove l'elettrodo utensile ruota su se stesso.

F - sinistra: sega a nastro.

F - destra: taglio a filo. Questa operazione, che viene generalmente effettuata su una tavola a controllo numerico dei movimenti sul piano orizzontale, permette di ottenere profili complessi.



Erodibilità di diversi materiali metallici PURI



Comportamento all'erosione di alcuni metalli puri. WZ = utensil

- $T_{fus.} \uparrow - MRR \downarrow$
- Ma Ag, Cu anomali infatti erodibilità dipende anche da conducibilità termica, capacità termica, $t_{eboll.}$, densità
- C'è chi chiama in causa anche R specifica ed il rapporto fra T fusione e Tebollizione
- Secondo altri ricercatori sembra che il parametro dominante sia un mix dei precedenti: l'energia di legame.

Metalli puri?

- Le leghe hanno comportamento anomalo, il variare degli elementi di lega rende inapplicabili i modelli di cui sopra, si deve ricorrere a esperimenti di caratterizzazione
- Leghe diverse danno luogo a prestazioni diverse soprattutto sull'usura dell'utensile

Usura utensile - pezzo

- Esiste una formula empirica collegata solo a T fusione dei materiali che è la seguente:

$$r = \frac{W_{pezzo}}{W_{utensile}} = 2,25 \left(\frac{T_{utensile}}{T_{pezzo}} \right)^{2,2}$$

→ Tendenza ad usare elettrodi con alta T per usurare al minimo l'utensile e arrivare ad elevati MRR

Attenzione W, Mo e Ti si lavorano con difficoltà, ma si usano per fare microfori e W in lega con Cu

Vantaggi grafite vs rame

- Minor consumo elettrodo da 1/3 a 1/10 in meno
- Maggiore velocità di erosione
- Migliore lavorabilità alle macchine utensili: resistenza a taglio da 1/3 ad 1/6
- Basso peso specifico
- Maggiore resistenza al calore: la grafite non fonde, sublima a circa 3600°C (Cu=1083°C)
- A pressione atmosferica resiste agli shock termici, non si deforma, resiste ad alte T e quindi alte correnti
- Dilatazione termica 1/3 acciaio, 1/6 rame
- Le grafiti sono anisotrope, ma quelle per elettroerosione vengono rese isotrope (1,06) grazie a miscelazione e compressione
- Facilmente incollabile (alette)

Usura nel caso di utensili in rame e grafite

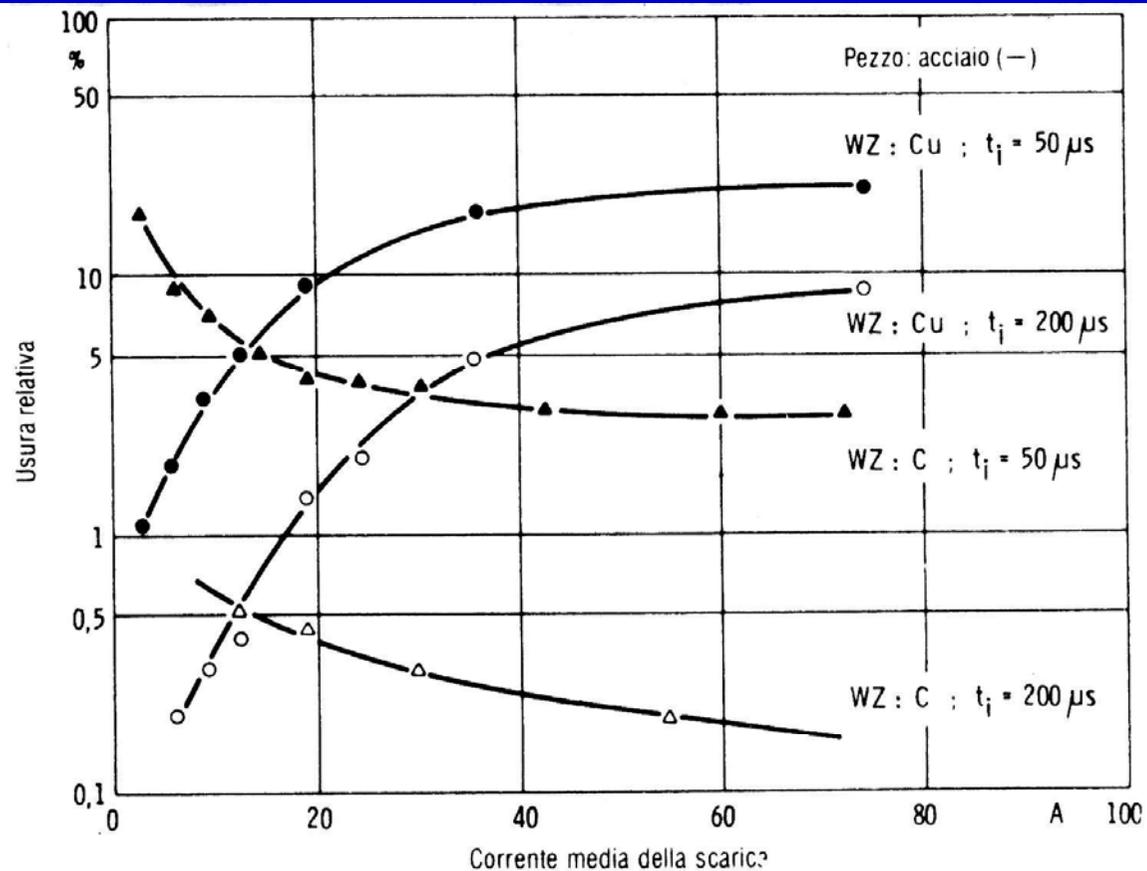


Fig. 2-26 - Comportamento all'usura di elettrodi di rame e di grafite (AGIE). WZ = utensile.

Elettrodi in rame e grafite



Elettrodi per impronte in EDM

Incisione degli elettrodi in rame per la realizzazione di utensili e stampi.

Profondità di incisione effettiva: 0,4 mm.



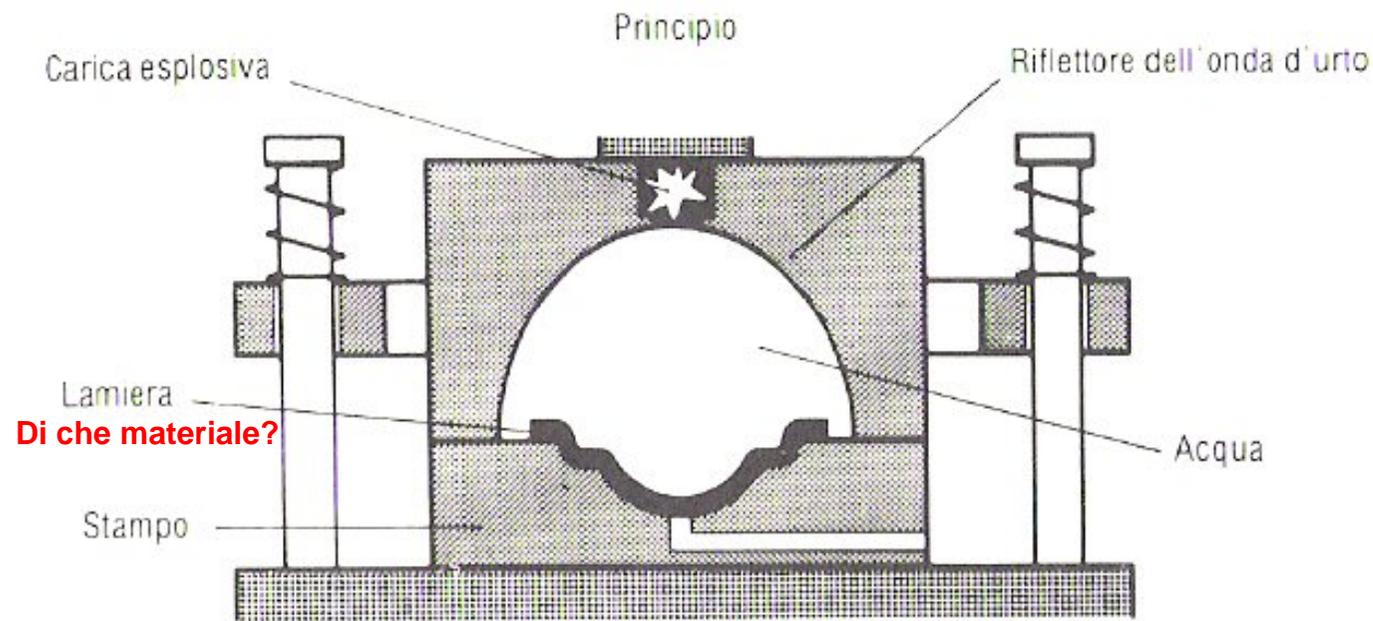
Elettrodi per impronte in EDM

Incisione degli elettrodi in grafite per la realizzazione di utensili e stampi.

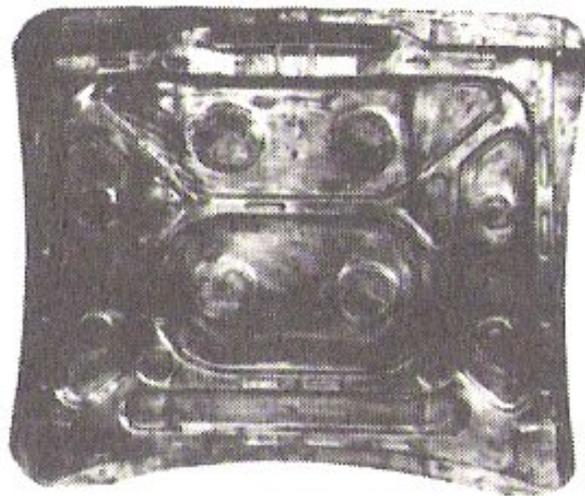
Profondità di incisione effettiva: 0,4 mm

Altri materiali per utensili

- Cu-W per lavorare metalli duri
- Cu + Tellurio o Cromo per aumentare la lavorabilità del rame ma peggiora l'usura
- Per leghe di titanio (SMA o superelastiche) si usa l'ottone (Cu-Zn)
- Rari i casi di elettrodi in Al e acciaio a causa di elevata usura sull'utensile
- Per forature profonde si usano fili o tubi (calibrati) di W con diametri fino a 0,001mm.
- Cuprografiti (grafiti infiltrate di Cu).



Esempio



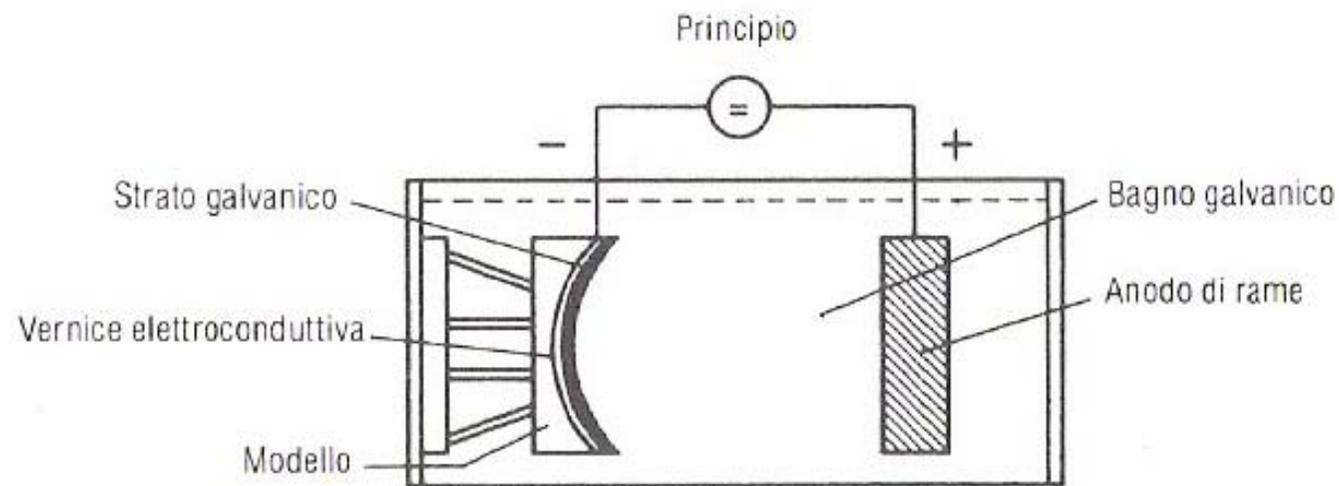
Elettrodo di trasmissione in corrente continua ad alta tensione per elementi di irrigidimento di cofani anteriori di autoveicoli.

Formatura
dell'
elettrodo
mediante
esplosione

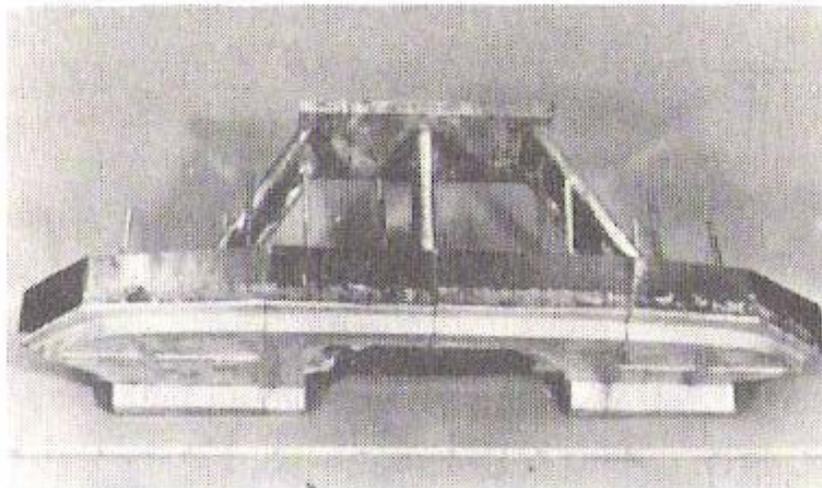
Vantaggi e svantaggi

- Ipotizziamo di utilizzare gli elettrodi di cui sopra per l'iniezione di materiale plastico.
- Ipotizziamo che il pezzo finito in plastica abbia spessore circa costante.
- Con 2 lamiere posso lavorare sia la matrice superiore che inferiore.
- Attenzione alle deformazioni termiche causate dal riscaldamento del fluido! Posso andare fuori dalle tolleranze richieste.

Elettrodi ottenuti per deposizione galvanica



Esempio



Difetti?

Problemi?

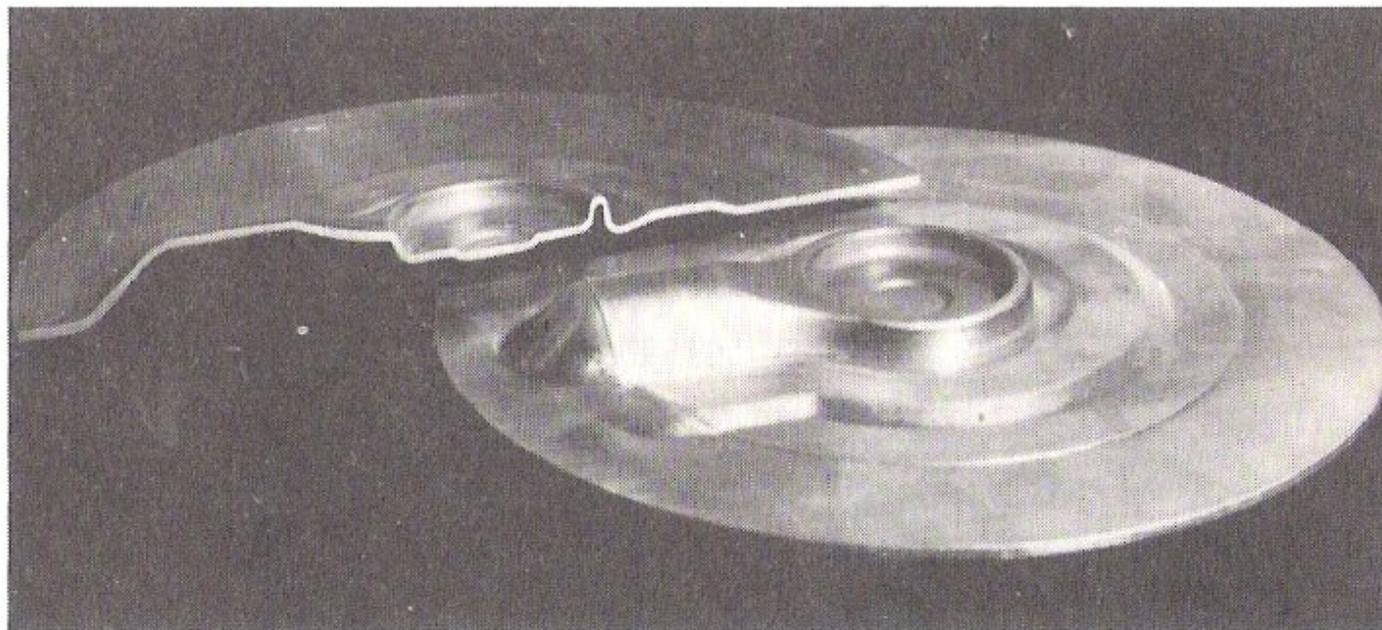
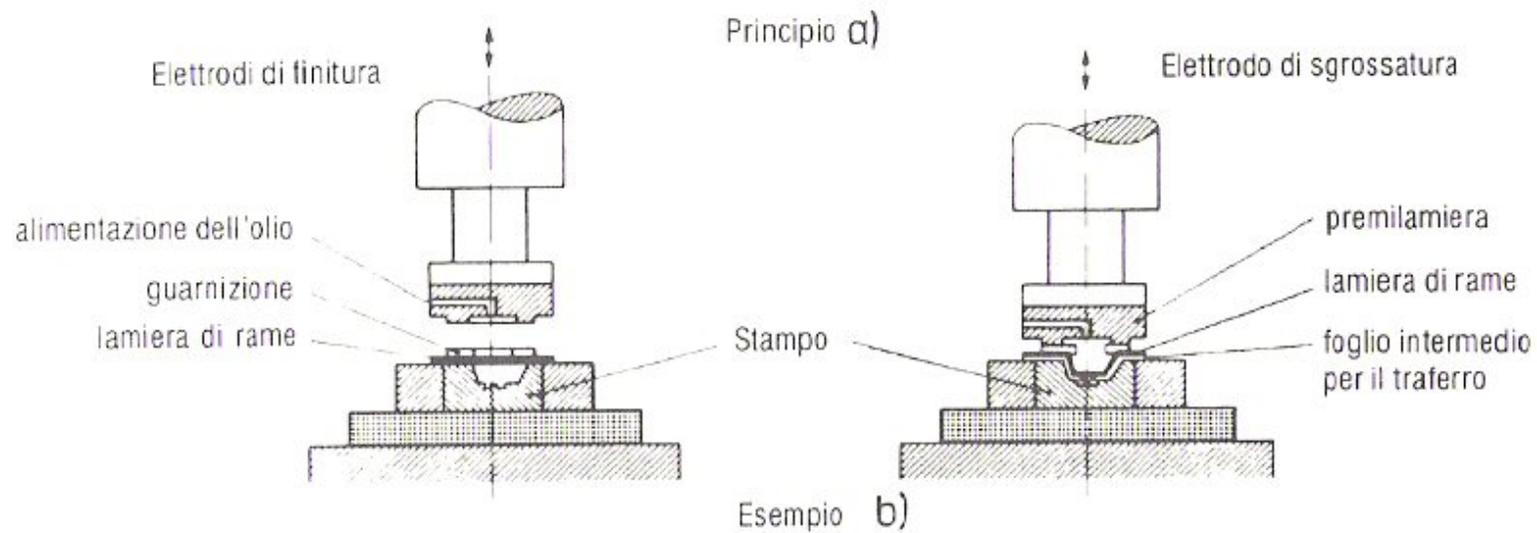
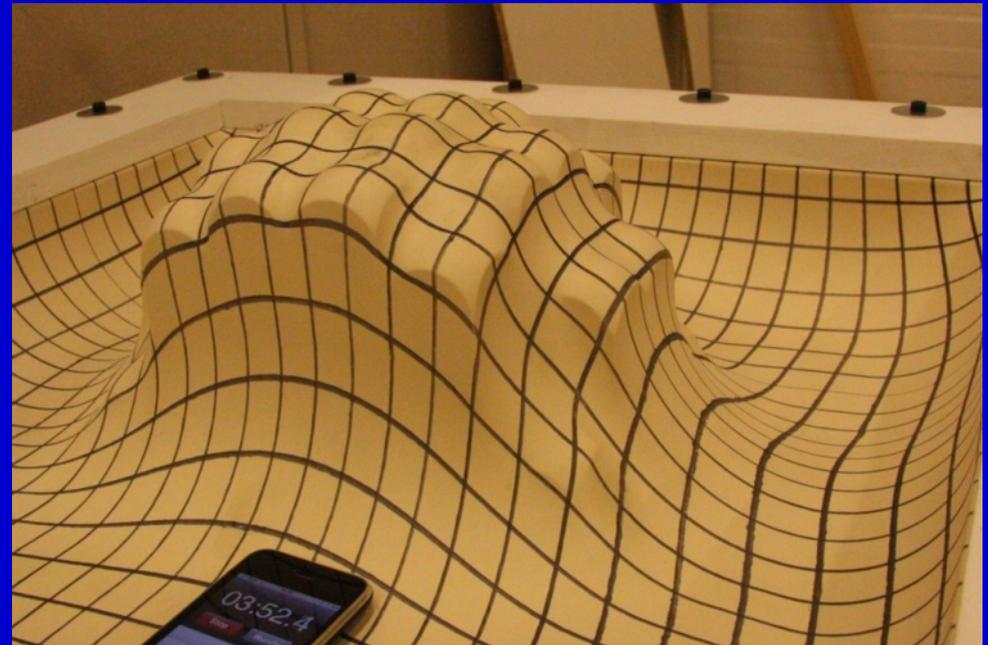


Fig. 2-43 - Fabbricazione di elettroidi attraverso stampaggio elettromeccanico (da Stahlwerke Brüning-haus).

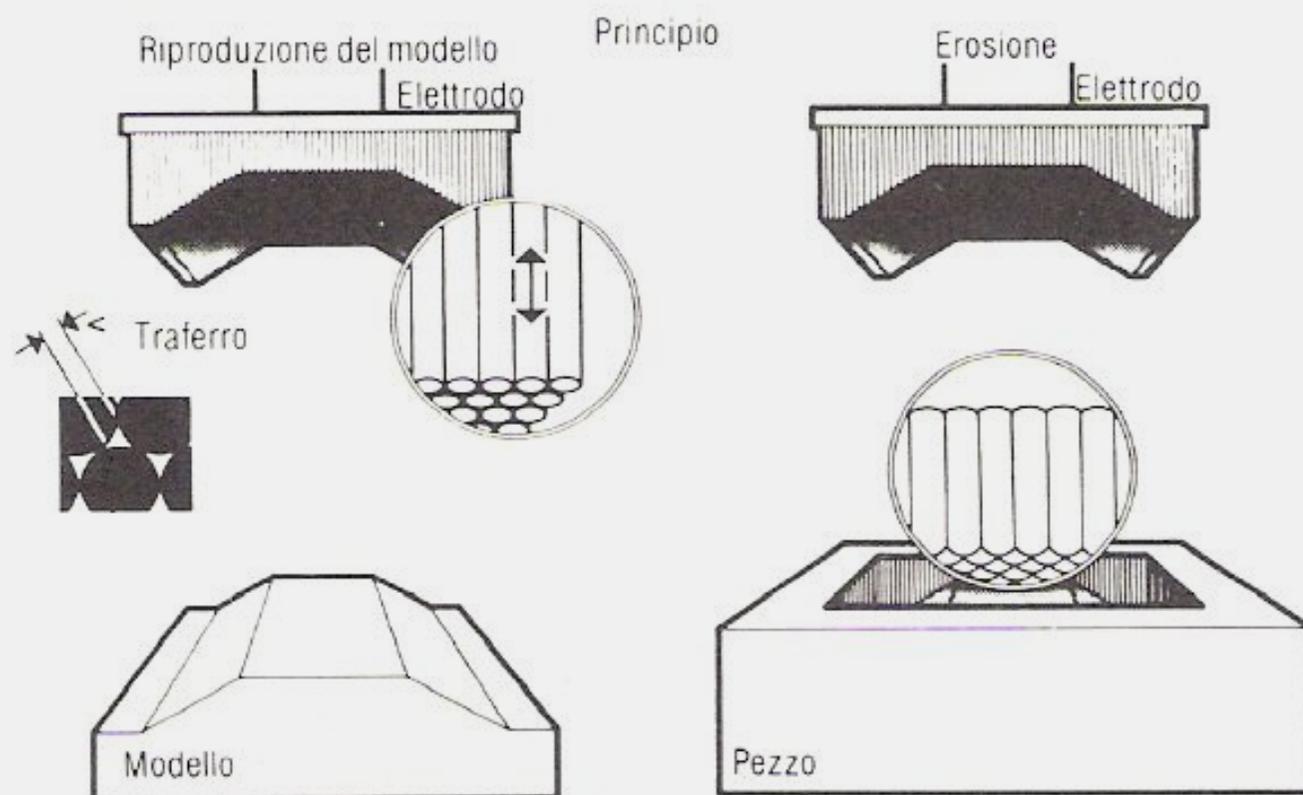
Altri vantaggi dell'idroformatura

- Lamiere di rame fino a 3mm (talvolta sono necessari trattamenti termici intermedi)
- Fogli intermedi per ottenere utensili di sgrossatura e (senza fogli) per finitura

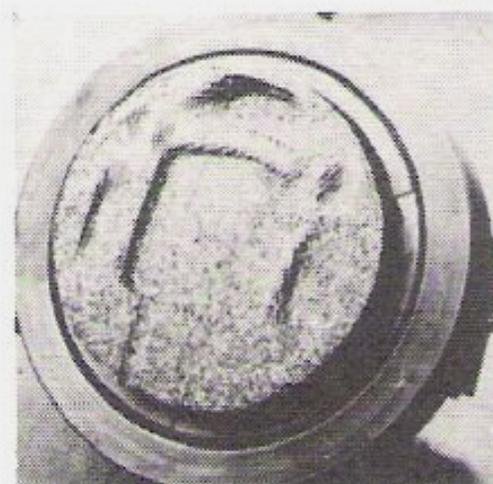
Elettrodo a perni



Elettrodo a perni



Esempio di lavorazione



Elettrodo a perni di rame



Pezzo sgrossato

Lavorazione degli elettrodi in grafite



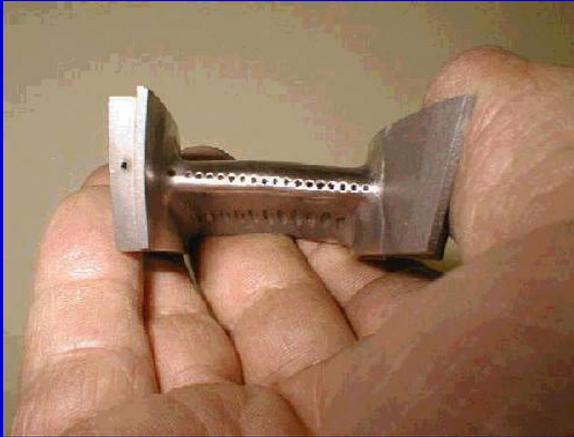
Figura 4.3 - Fresatura programmata, ad alta velocità, di un elettrodo in grafite, con macchina EroTech ECM 500. La lavorazione è eseguita dentro una campana a velo d'acqua per l'abbattimento totale delle polveri. (EROTECH s.r.l. - Torino)

EDM drilling

Foratura mediante EDM

- Fori con profondità fino a 400 volte il diametro
- Elettrodo cavo da 1mm V foratura:
 - 10 mm/min su carburo di tungsteno
 - 50 mm/min su rame
 - 60 mm/min su acciaio inox
 - 80 mm/min su alluminio

Impiego principe



Foratura palette turbine per realizzare fori di raffreddamento $d=0,05\text{mm}$. Utensile filo di W.

Aumentando il raffreddamento (Tesercizio- 50°K) si aumenta la durata fino al doppio.

Foro eroso ha grande superficie dovuta alla forma dei crateri → migliore effetto raffreddante rispetto a fori ECM particolarmente “lisci” ma anche a drilling classico.

La superficie ricoperta da crateri favorisce la generazione di moti turbolenti che contribuiscono allo scambio termico.

CACCIA ALL'ERRORE

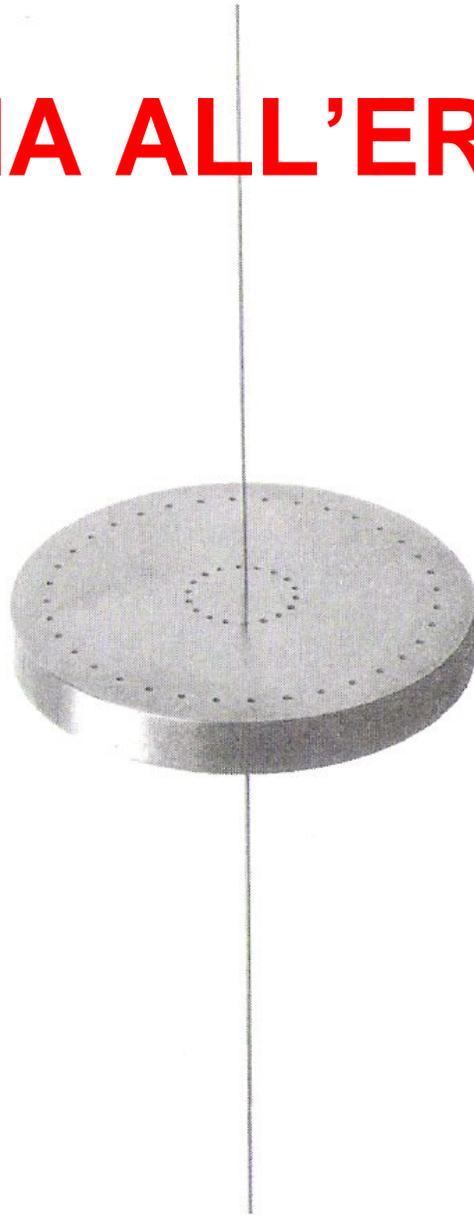
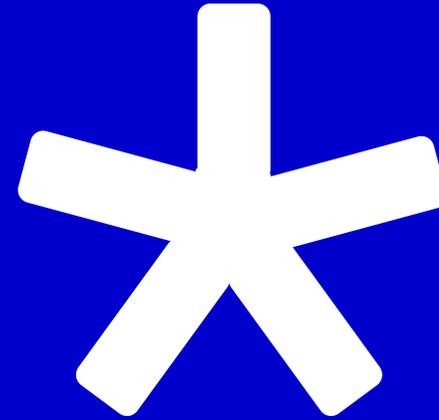
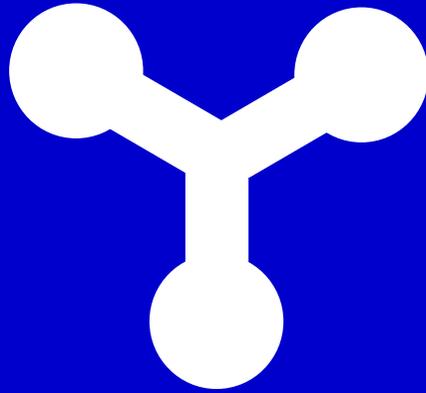
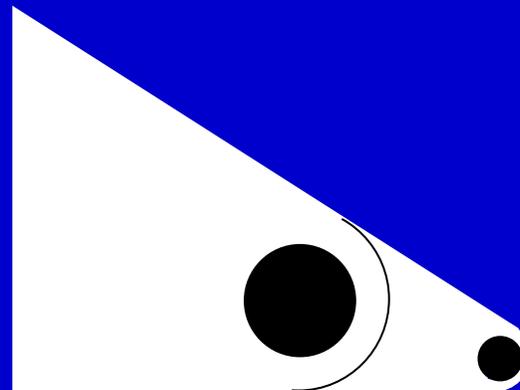


Figura 8.12 - Foratura con elettrodi tubolari. Esecuzione di 54 fori di diametro 0,93 mm su un disco di rame di altezza 16 mm. Tempo di lavorazione totale 20 secondi. (Charmilles Technologies, Ginevra, Svizzera).



Microfori e sagome per filiera per l'estrusione di fibre sintetiche ($\phi=0,1\text{mm}$), l'introduzione del filo si esegue dal centro.

**fili in
W o Mo**



**Tagli a spigolo e incavi eseguibili con l'elettroerosione a filo ($\phi=0,20\text{mm}$) e con elettroerosione a filo sottile ($\phi=0,03\text{mm}$).
Fili ad alta precisione (tolleranza su $\phi \pm 1,5$ micron).**