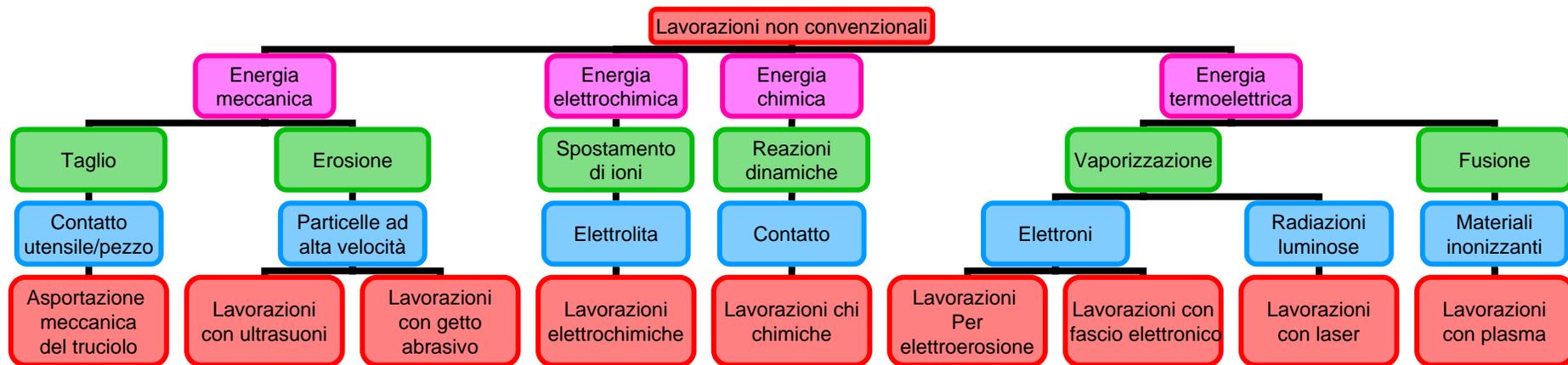


Corso di Tecnologia Meccanica

Modulo 5.2

Lavorazioni non convenzionali

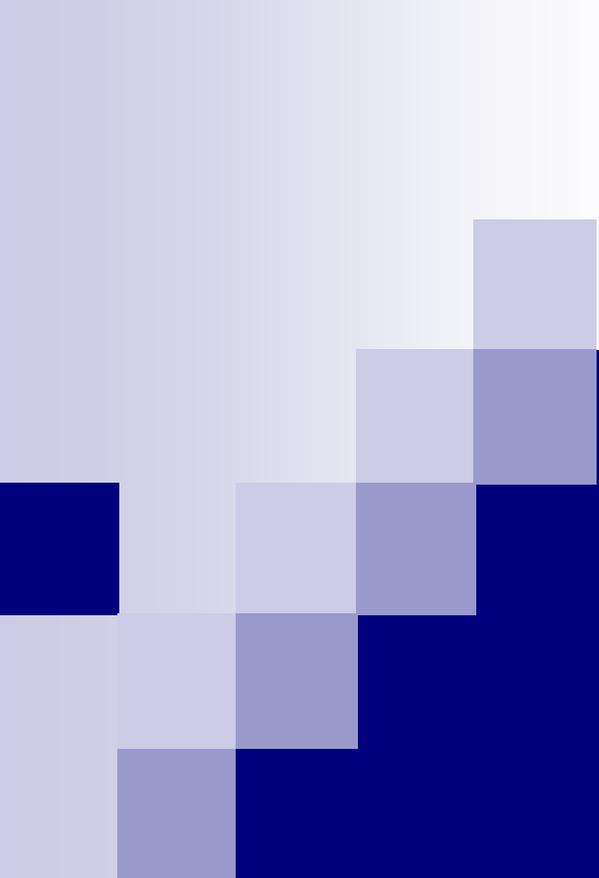
Classificazione



Dati di lavorazione comparativi

Tab. 7.11 - Dati di lavorazione comparativi

Tipo di lavorazione	Velocità di asportazione (mm³/min)	Tolleranze realizzabili (μm)	Finitura superficiale, R_a (μm)	Potenza (W)
Lavorazioni convenzionali	50.000	50	0,5 + 5,0	3.000
Lavorazioni con ultrasuoni	300	7,5	0,2 + 0,5	1.000
Lavorazioni con getto abrasivo	0,8	50	0,5 + 1,2	250
Lavorazioni elettrochimiche	20.000	50	0,1 + 2,5	100.000
Lavorazioni chimiche	15	50	1,0 + 2,5	-
Lavorazioni per elettroerosione	800	15	0,2 + 1,2	10 kVA
Lavorazioni con fascio elettronico	1,6	25	0,5 + 2,5	150 + 2.000
Lavorazioni al laser	0,1	25	0,5 + 1,2	15.000 (max)
Lavorazioni al plasma	75.000	125	scadente	50.000



Fascio elettronico

Schema di EBM Electronic Beam Machining

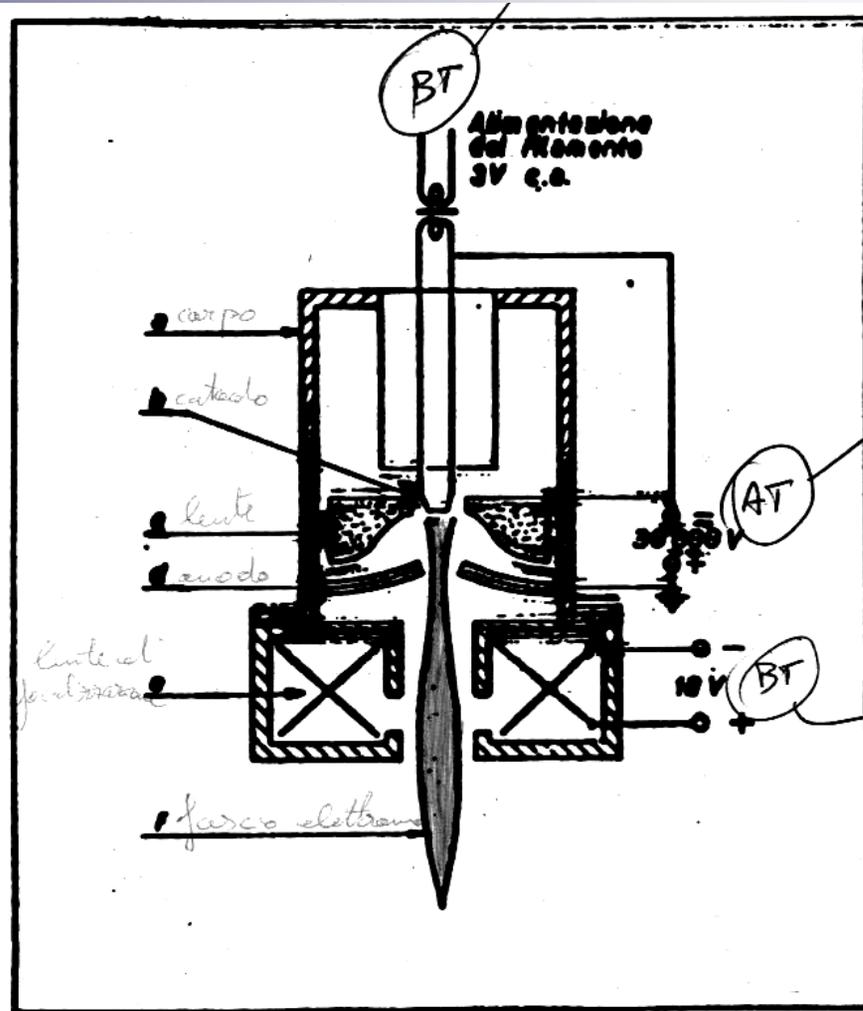


Fig. 7.43 - Schema di cannone elettrico impiegato per le lavorazioni con fascio elettronico:

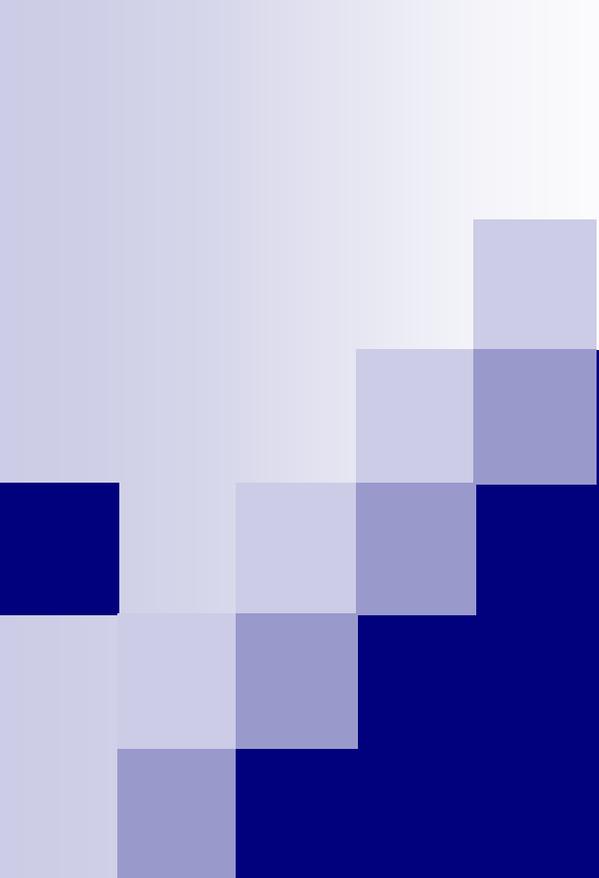
- a** - corpo del cannone
- b** - catodo (filamento)
- c** - lente Wehnelt
- d** - anodo
- e** - avvolgimento di focalizzazione
- f** - fascio elettronico .

EBM Electronic Beam Machining

- Le operazioni eseguibili sono:
 - Microsaldatura
 - Microforatura
- Gli elettroni sono emessi dal catodo per effetto Joule e si dirigono verso l'anodo accelerati a causa della differenza di potenziale
- Superato l'anodo il fascio è focalizzato sul pezzo dalle due bobine magnetiche che impediscono la sua dispersione grazie alla forza di Lorentz
- Ciò che importa non è la potenza assoluta bensì la potenza specifica intesa come potenza del fascio di elettroni sulla superficie di impatto

Caratteristiche

- L'area di lavoro alterata è molto ridotta
- Occorre lavorare nel vuoto dato che gli elettroni sarebbero frenati da un gas. Ciò evita qualunque problema di ossidazione
- Le potenze specifiche in gioco sono quelle di un laser ad elevata potenza, molto maggiori rispetto alle saldature tradizionali
- L'elettrone che impatta sull'atomo lo eccita ed al momento del decadimento vengono emessi raggi X: questa la ragione per la quale tale operazione deve essere schermata



Plasma

Schema di PAC - Plasma Arc Machining

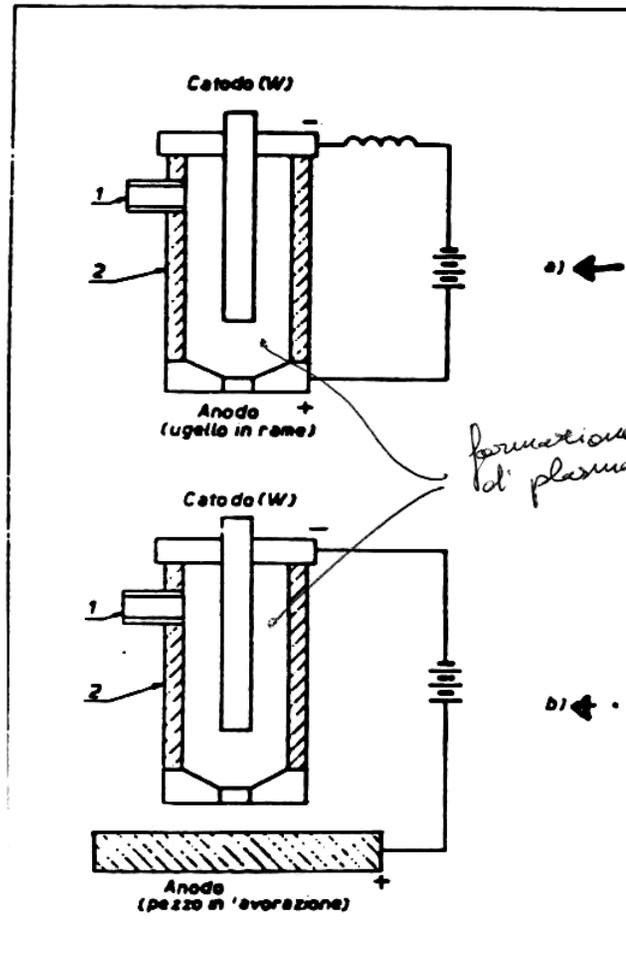


Fig. 7.44 - Schema di funzionamento dell'apparecchiatura a plasma:
 → (a) configurazione ad arco non trasferito (l'ugello è anodo)
 → (b) configurazione ad arco trasferito (il pezzo è anodo).
 1 - ingresso gas (H, N,)
 2 - pareti isolanti.

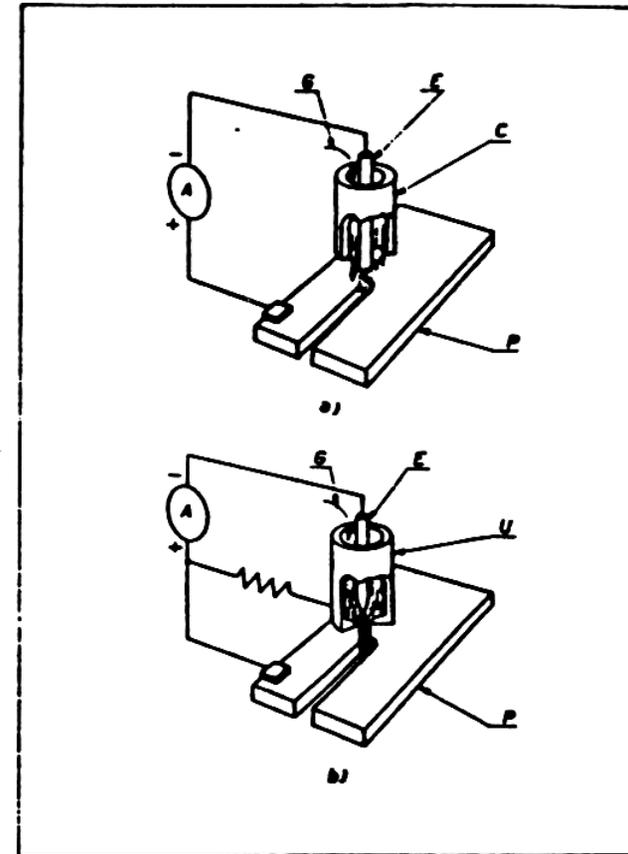


Fig. 7.45 - Rappresentazione schematica dei due principali sistemi di taglio al plasma:
 (a) ad arco trasferito e getto non accelerato
 (b) ad arco trasferito e getto accelerato
 A - alimentatore in corrente continua
 G - gas
 E - elettrodo di tungsteno
 P - pezzo in lavorazione
 C - elemento cilindrico
 U - ugello acceleratore.

PAM Plasma Arc Machining

- Una differenza di potenziale molto elevata ionizza il gas (elio o azoto) che viene iniettato ad elevatissima pressione nella macchina
- Gli ioni creati hanno una tal temperatura da dare luogo ad uno stato di plasma
- A causa della pressione, tale plasma è convogliato attraverso un ugello contro il pezzo per eseguire operazioni di taglio

Caratteristiche

- La potenza specifica è minore rispetto a plasma e fascio elettronico in quanto la superficie di impatto è molto più grande
- Due versioni di base:
 - Ad arco non trasferito se l'anodo è l'ugello in rame
 - Ad arco trasferito se l'anodo è il pezzo stesso in lavorazione (generalmente più potente)
- Si parla di ossitaglio quando l'azoto è utilizzato per creare il plasma ma poi viene accompagnato da ossigeno

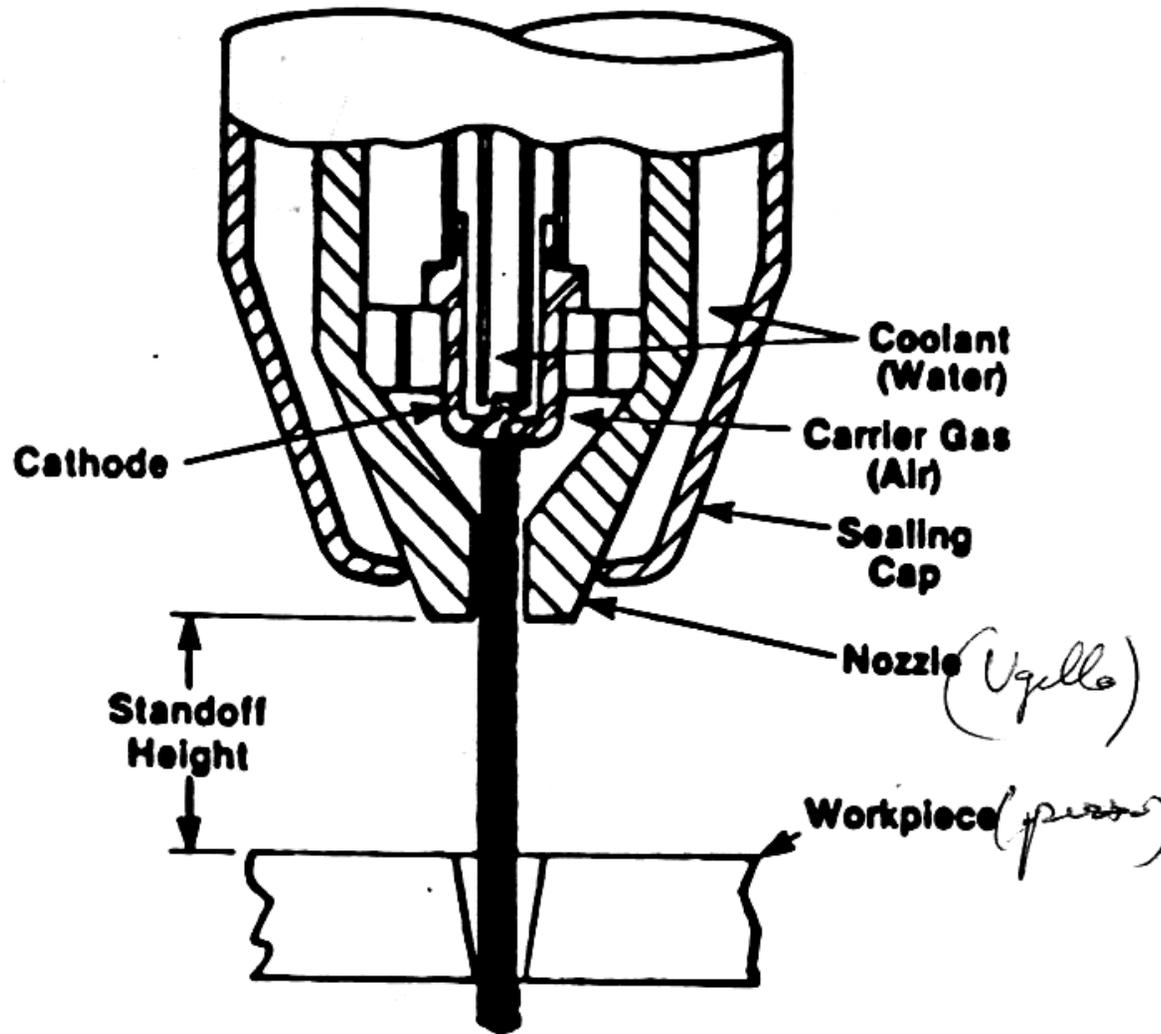


Figure 21.4 Air plasma torch construction (*Source: courtesy, W. A. Whitney Corp., Rockford, Ill.*).

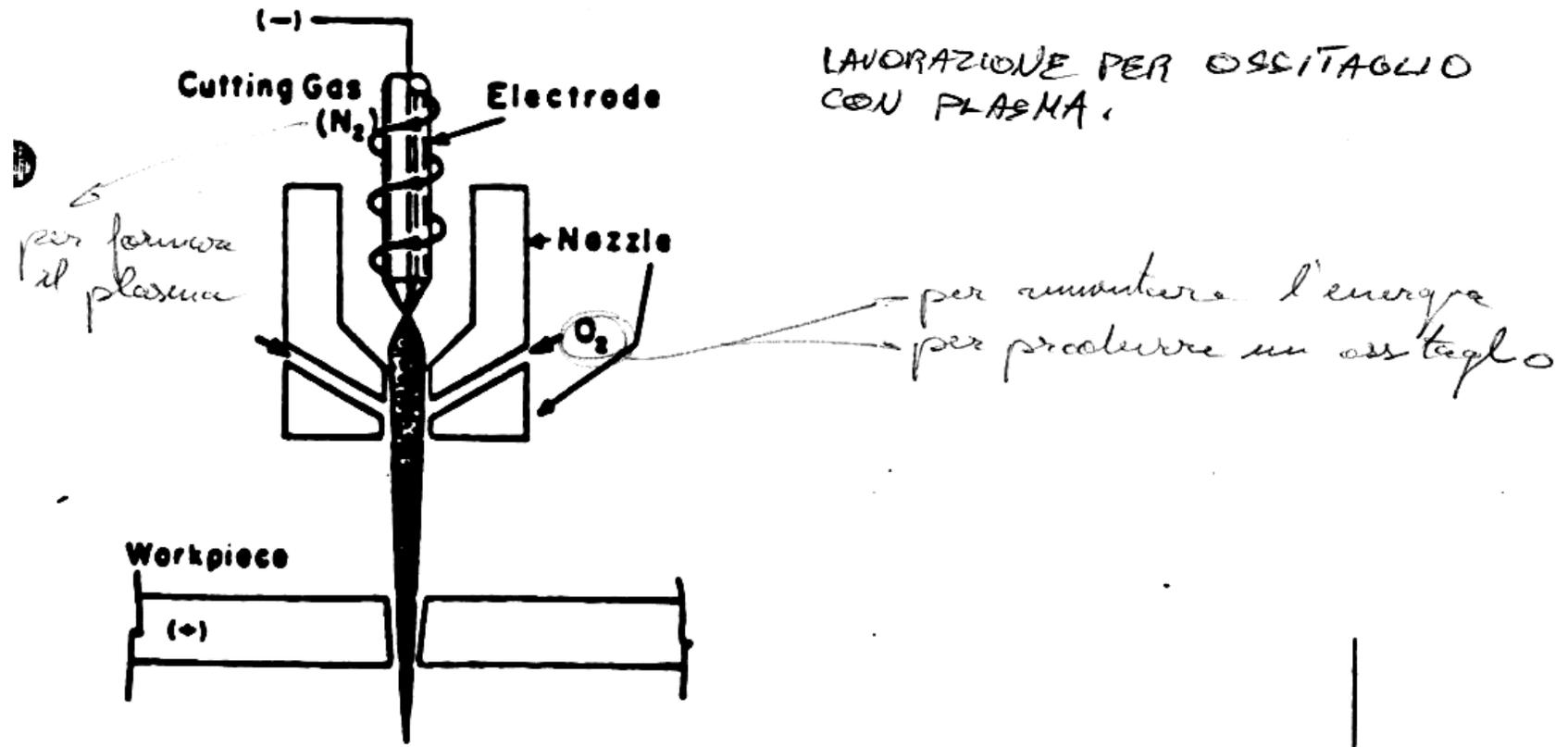
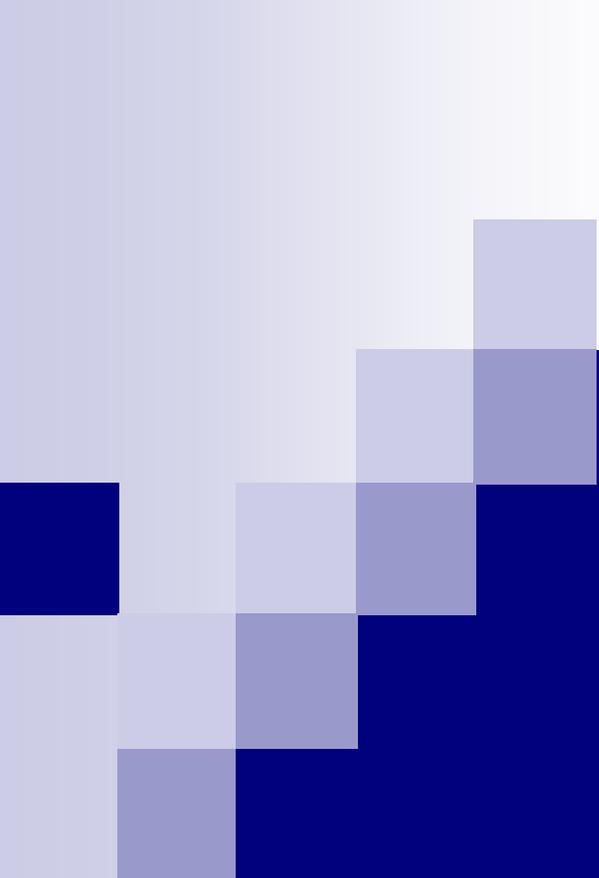


Figure 21.5 Oxygen-injected torch construction (Source: courtesy, Hypertherm, Inc., Hanover, N. H.).



Lavorazioni con getto abrasivo

AJM - Abrasive Jet Machining

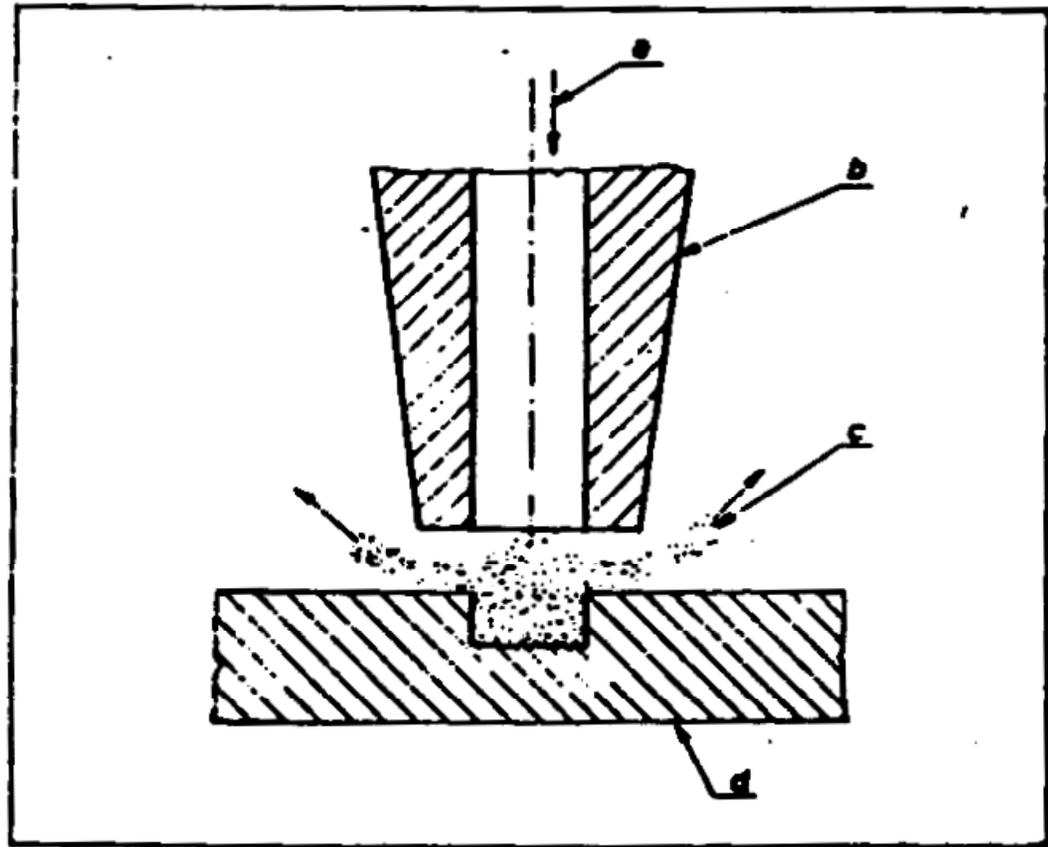


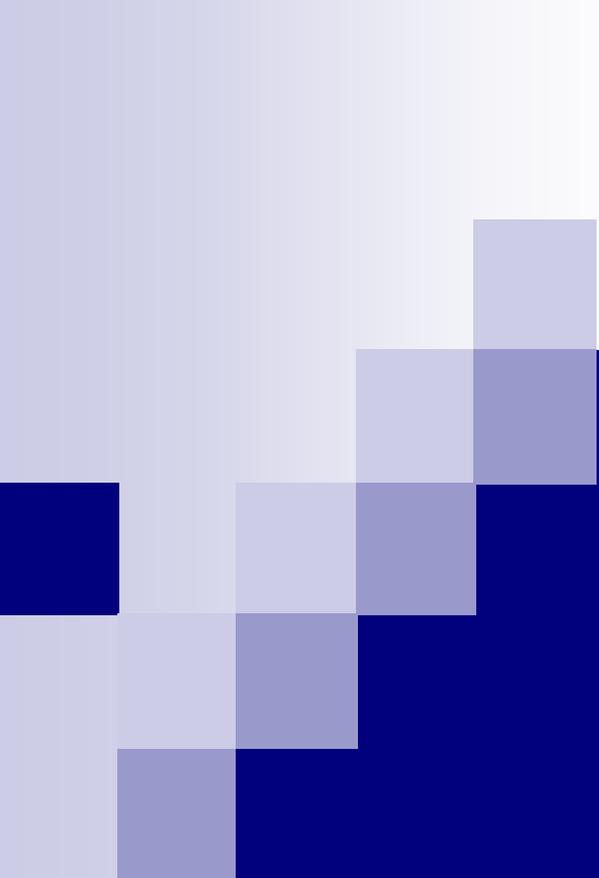
Fig. 7.24 - Taglio con getto abrasivo impiegando particelle di ossido di alluminio da $15 + 40 \mu\text{m}$
a - aria e particelle di abrasivo in entrata
b - ugello in carburo di tungsteno (diametro interno circa $0,45 \text{ mm}$)
c - aria e particelle di abrasivo in uscita
d - pezzo in lavorazione.

AJM - Abrasive Jet Machining

- L'asportazione di materiale avviene per l'impatto di un getto di particelle abrasive sul materiale in lavorazione
- Si fa uso di abrasivi diversi in funzione delle lavorazioni da effettuare e dei materiali trattati:
 - Ossido di alluminio per pulitura e taglio
 - Carburo di silicio per pulitura e taglio di materiali molto duri
 - Grani di vetro per lucidatura e pulitura
 - Bicarbonato di sodio per pulitura e taglio di materiali teneri

Caratteristiche

- La macchina è soggetta ad una usura elevatissima a causa dell'uso dei materiali abrasivi
- È possibile utilizzare un getto di acqua ad altissima pressione in luogo di un getto di materiali abrasivi nel caso di materiali teneri
- Tipico è l'uso di getti di abrasivi per le lavorazioni sui microchip



Water jet

Table 2.1 The AJM Abrasives and Their Application

Abrasives	Applications
Aluminum oxide	Cleaning, cutting, deburring
Silicon carbide	As above but for harder materials
Glass beads	Matt polishing, cleaning
Crushed glass	Peening, cleaning
Sodium bicarbonate	Cleaning, cutting, soft materials

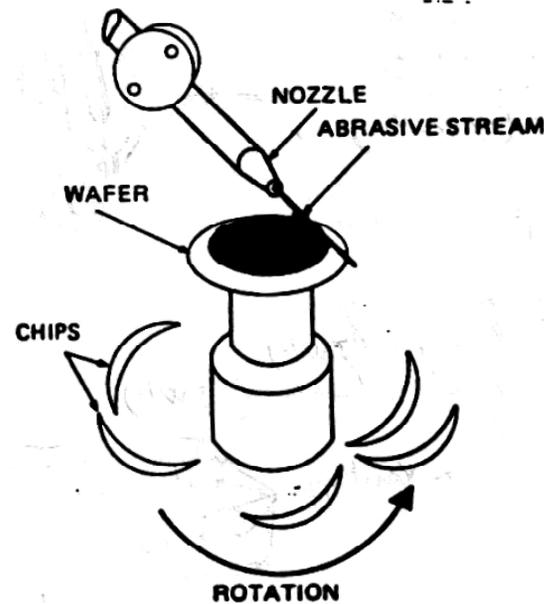


Figure 2.11 Technique used for AJM-trimming of silicon/tungsten disks.

Tab. 7.X - Velocità di taglio mediante getto liquido per vari materiali

Materiale	Spessore (mm)	Pressione (MPa)	Velocità di taglio (m/sec)
Nido d'ape in alluminio	25	420	0,85
Tappetino automobilistico	1 strato	420	3,00
Vinile automobilistico	13 strati	420	4,25
Ferodo	13	420	0,42
Velluto a coste	14 strati	420	1,90
Tessuto crespo	100 strati	420	4,25
Cloruro di etil-polivinile	3,2	350	0,20
Tessuto di nylon per pneumatici	0,8	420	4,25
Compensato	6,4	420	1,70
Materiale per guarnizioni al polipropilene	40	420	2,50
Polipropilene (40%) rinforzato con fibre di vetro	6,4	420	0,12
Carta velina	2 strati	100	180
Impiallacciatura di legno	2,5	420	4,25

WJM - Water Jet Machining

- L'acqua funge da vettore per le particelle di abrasivo
- È possibile ottenere quasi una lappatura superficiale
- Si possono lavorare fino a 100 mm di spessore di alluminio
- Consente di ottenere un grado di finitura che non necessita alcuna altra operazione aggiuntiva

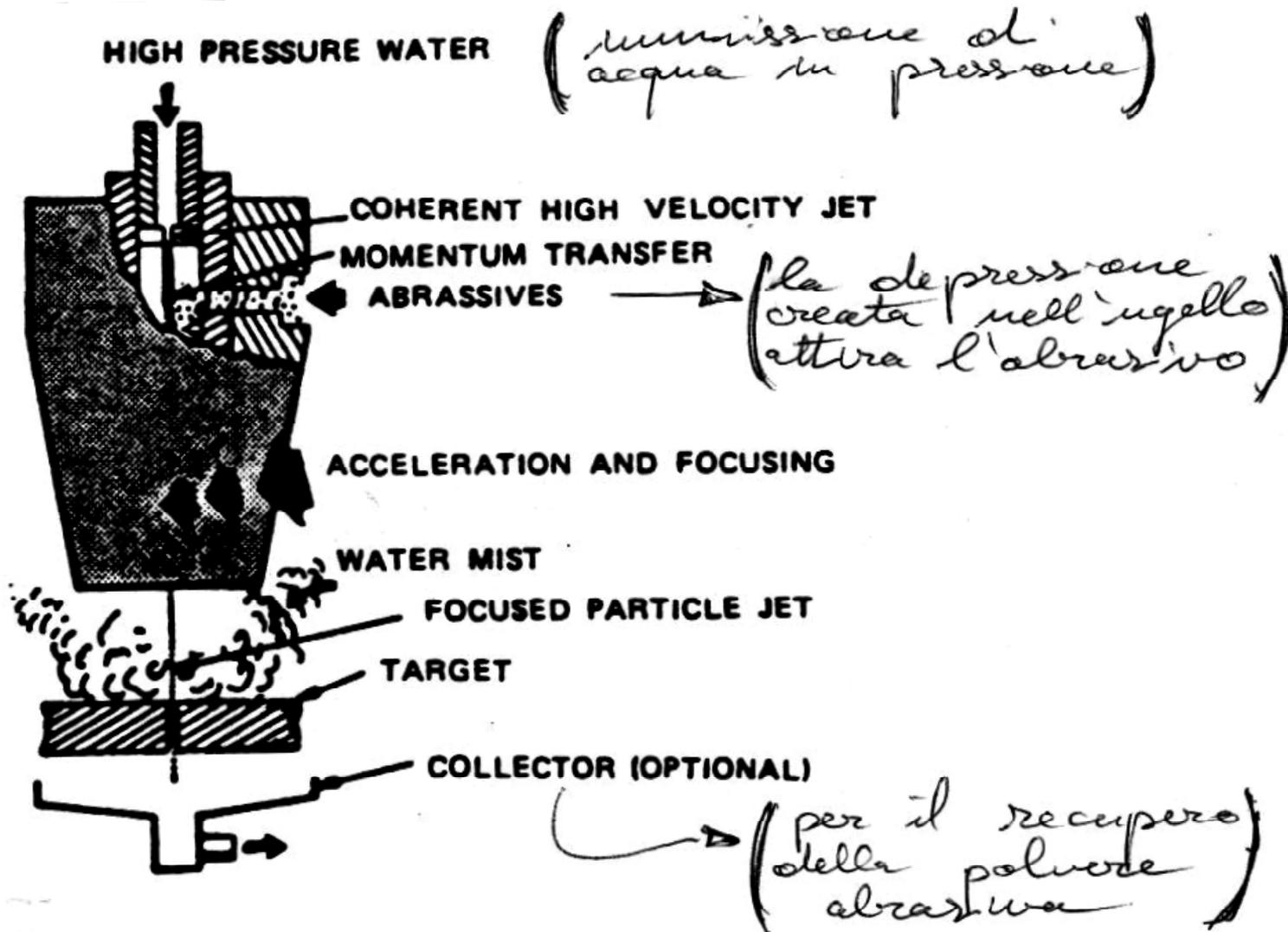


Figure 4.1 Diagram of the AWJM process. (Source: courtesy, Flow Industries, Inc., Kent, Wash).

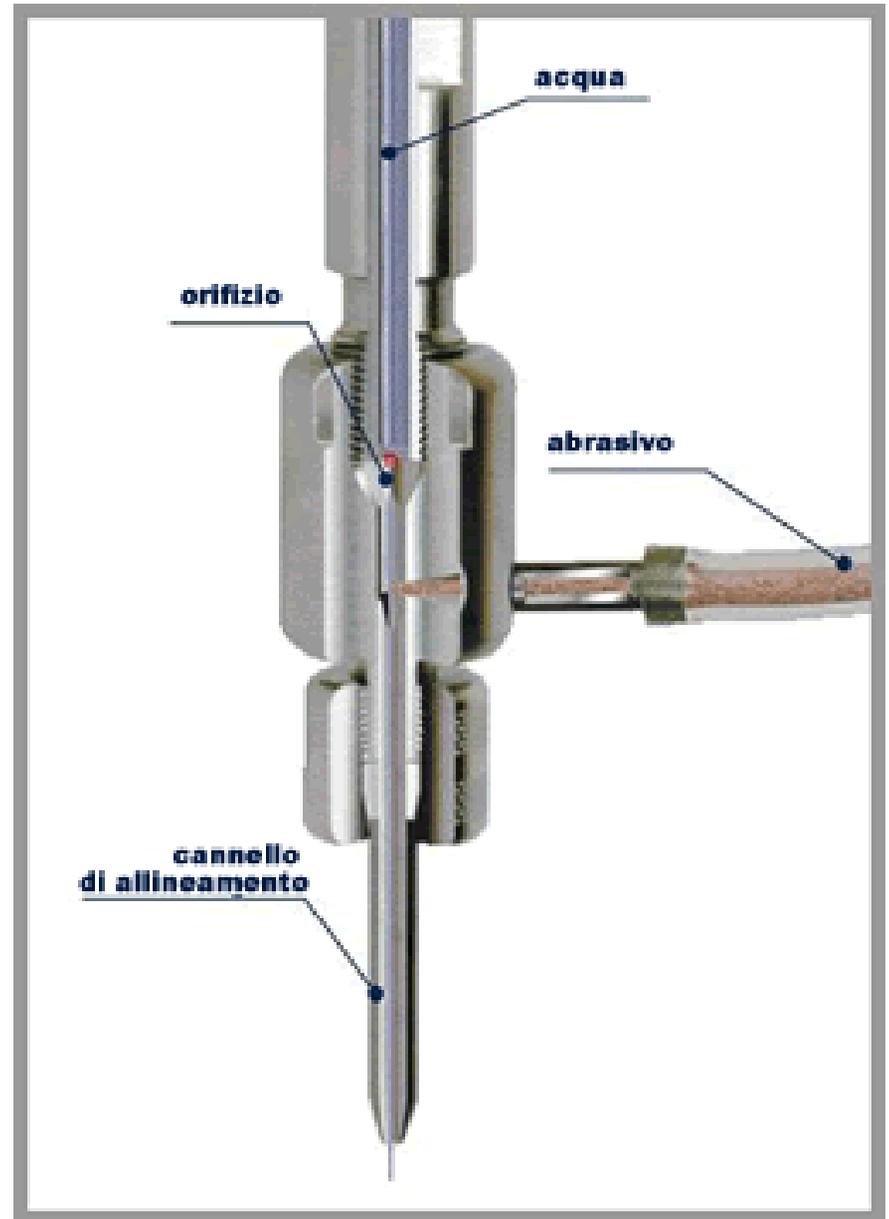
Caratteristiche

- Esiste il problema del dosaggio della polvere nell'acqua;
 - Se è troppa l'usura dell'ugello avviene in tempi rapidissimi
 - Se è poca non riesce ad erodere il materiale in lavorazione
- Esiste anche il problema del posizionamento e del dimensionamento dell'ugello di apporto dell'abrasivo in quanto quest'ultimo viene aspirato dalla depressione causata dal passaggio dell'acqua
- La polvere abrasiva utilizzata viene generalmente filtrata e riciclata
- Componenti essenziali della macchina sono l'accumulatore ove l'acqua viene prelevata e stoccata prima di essere inviata all'intensificatore ad olio che si comporta come una pompa a doppio effetto

Tecnologia water jet

- Il taglio a getto d'acqua ad altissima pressione rappresenta certamente la tecnologia più innovativa e avveniristica introdotta sul mercato negli ultimi anni in grado di ottimizzare i processi di taglio su una gamma infinita di materiali
- Consiste nel creare un getto d'acqua alla pressione di oltre 4000 atm mediante una pompa intensificatrice
- L'acqua viene spinta a tale pressione nella testa di taglio comandata da un dispositivo a controllo numerico.
- L'acqua viene quindi espulsa attraverso un orifizio calibrato a oltre 3 volte la velocità del suono ed è nel mentre mescolata ad un abrasivo
- Tale tecnologia permette il taglio di qualsiasi sagoma e di tutti i materiali fino ad uno spessore massimo di 150mm

Schema di funzionamento



Macchine water jet

- Le macchine a tecnologia water jet, con l'impiego flessibile del getto d'acqua misto a sostanza abrasiva, permettono la lavorazione di materiali e spessori non lavorabili con procedimenti tecnici tradizionali, come metalli particolari, leghe, materiali sintetici, vetro acrilico, materiali rivestiti e stratificati, legno, gomma, pietra e ceramica
- Le lavorazioni di tipo water jet consentono altri notevoli vantaggi:
 - non implicano emissioni di polveri o gas
 - producono spigoli di taglio che non necessitano di alcuna rifinitura



ABRASIVE WATER JET MACHINING (AWJM)

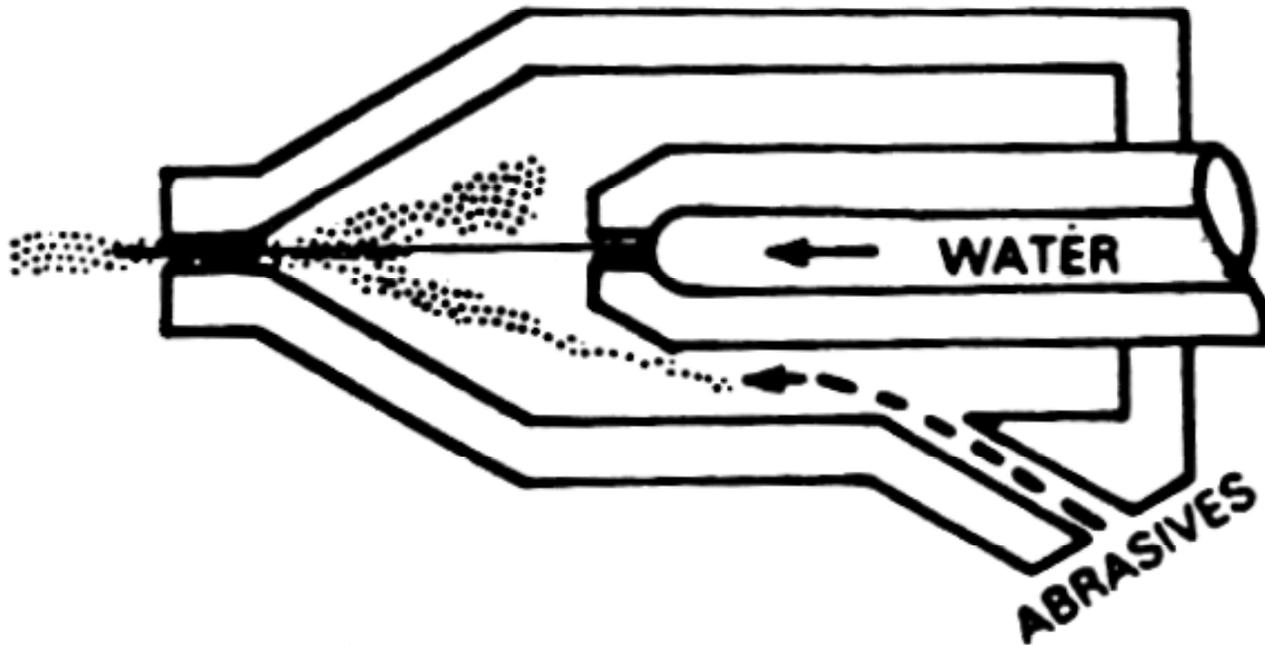


Figure 4.3 Single-jet, side-feed nozzle (*Source: Hashish, 1982*).

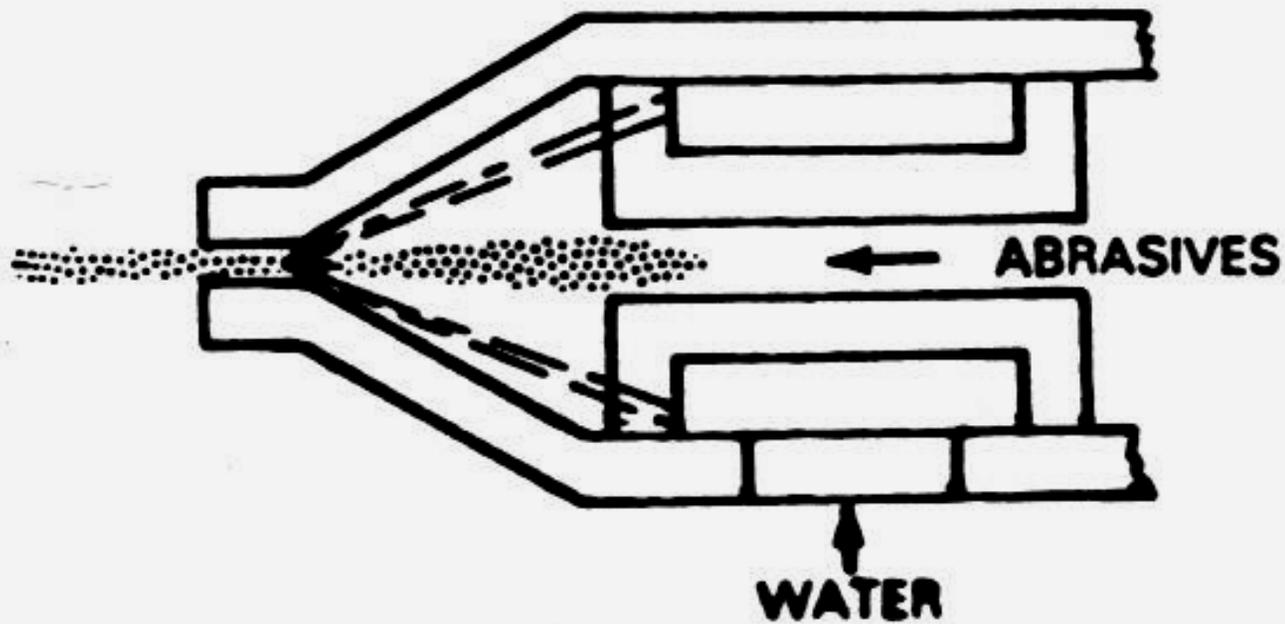


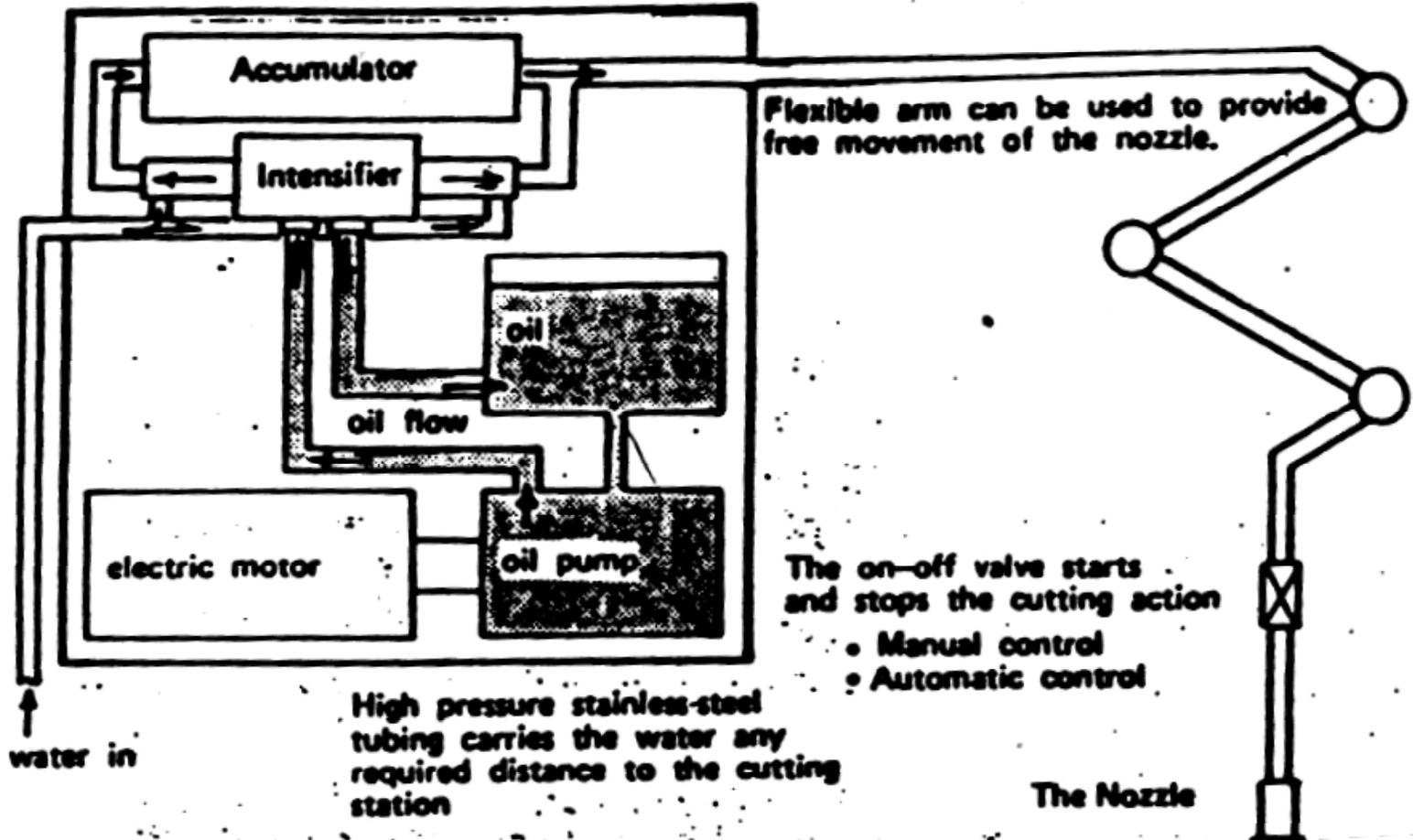
Figure 4.4 Multiple-jet, central-feed nozzle (Source: Hashish, 1982).

Vantaggi

- Il getto d'acqua deve essere indirizzato esattamente nel punto in cui si vuole tagliare
- L'ugello di taglio è realizzato solitamente in zaffiro o diamante artificiale
- Grazie alla velocità superiore a quella del suono, il getto perfora istantaneamente il materiale.
- I vantaggi principali del taglio a getto d'acqua sono:
 - taglio puntuale e non tangenziale
 - sezione del taglio molto piccola dato che il diametro del getto è compreso tra 0.11 e 0.5 mm
 - minima forza di trascinamento del materiale
 - energia di taglio "modulabile" attraverso la scelta delle pressione di lavoro e della sezione dell'ugello di taglio.

- Il getto può essere addizionato di abrasivo di vario genere in ragione del materiale da tagliare e, opportunamente indirizzato contro la superficie del pezzo in lavorazione, determina la separazione delle parti tramite una duplice azione:
 - Di erosione
 - Di abrasione
- La pressurizzazione dell'acqua è realizzata da una speciale pompa volumetrica azionata idraulicamente detta "intensificatore di pressione", che costituisce di fatto il cuore del sistema di taglio
- La pompa è alimentata da motori elettrici di potenze comprese tra i 20 ed i 100 CV

THE ACCUMULATOR smooths the flow
to maintain pressure within $\pm 5\%$.



- Il taglio a getto d'acqua è il sistema che consente di raggiungere le velocità di lavoro più alte in assoluto. Pertanto è quella potenzialmente più adeguata ad un utilizzo del taglio in continuo per elevata produzione
- Le macchine sono spesso dotate di un software di piazzamento molto sofisticato che consente di ottimizzare automaticamente o in maniera interattiva i layout
- Gli impianti possono essere configurati in modi diversi per massimizzare l'efficacia della soluzione, ad esempio è possibile dotarli di proiettore per una rapida identificazione delle parti tagliate

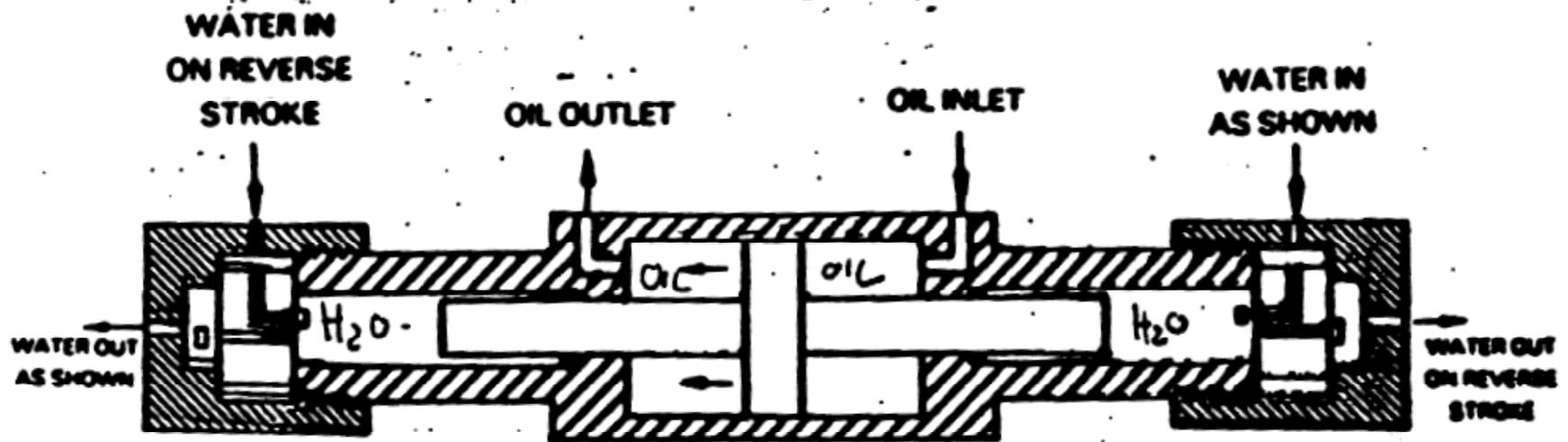
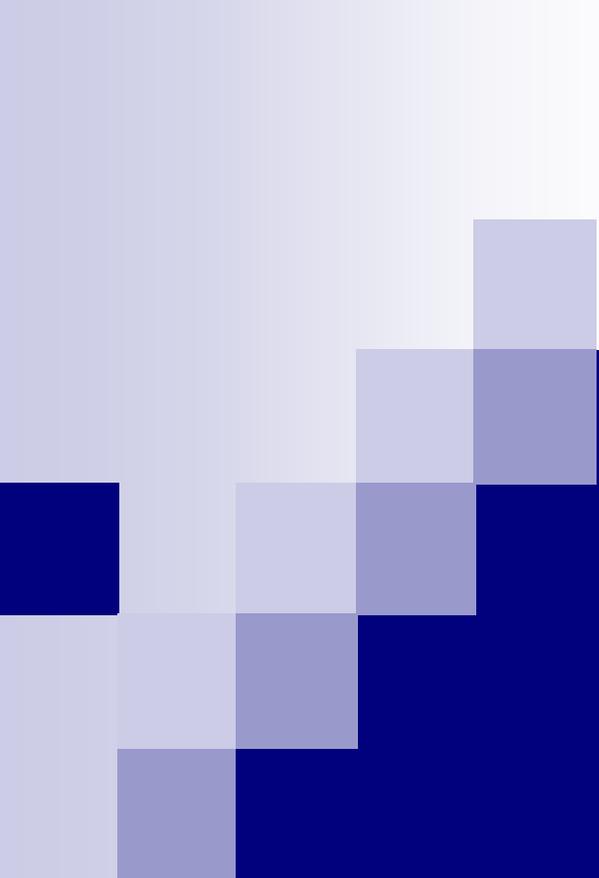


Figure 3.3 The WJM high-pressure oil intensifier construction (Source: courtesy, Flow Systems, Inc., Kent, Wash.).

- È importante sottolineare il fatto che questa tecnologia di taglio non è inquinante, sempre che l'abrasivo utilizzato sia un minerale inerte assolutamente naturale
- L'assenza di fumi e polveri assicura maggiore benessere negli ambienti di lavoro ed esclude i rischi tipici dei sistemi tradizionali.
- Per la marcatura dei difetti e la digitalizzazione del contorno dei materiali esistono dispositivi accessori che permettono di trasmettere in modo estremamente semplice e veloce i dati necessari al sistema di piazzamento.



Lavorazione elettrochimica

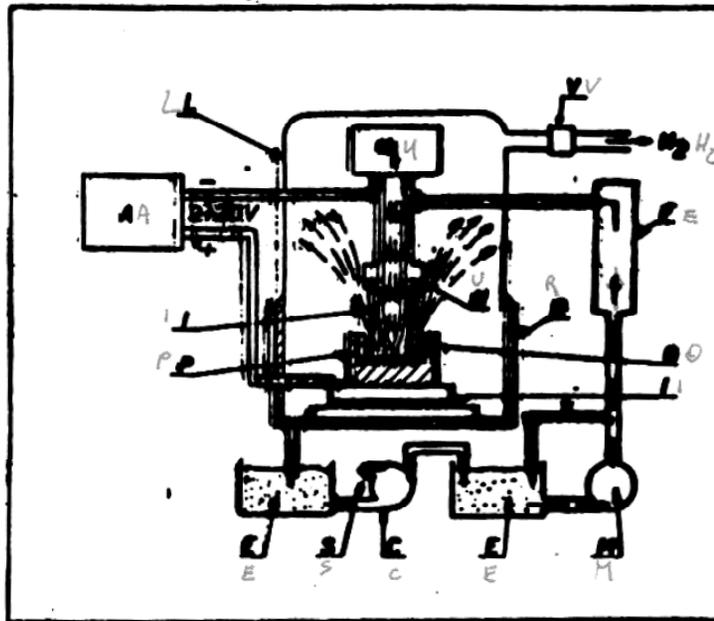


Fig. 7.9 - Schema di una macchina per lavorazioni elettrochimiche:

- A** = alimentatore in corrente continua
- U** = utensile
- I₁** = isolante
- O** = overcut
- P** = pezzo
- R** = recipiente contenitore
- L** = cappa
- F** = filtro
- V** = ventola di scarico
- M** = pompa
- E** = elettrolita
- C** = centrifuga
- S** = scarico della morchia
- K** = sistema per l'avanzamento costante dell'utensile

ECM – ElectroChemical Machining

- Serve per diverse lavorazioni:
 - Tornitura
 - Punzonatura
 - Fresatura
 - Foratura
 - Rettificazione
 - Sbavatura
- Un passaggio di corrente consente il trasferimento di materiale sotto forma di ioni dall'elettrodo (+), ovvero il pezzo in lavorazione al liquido e dunque all'elettrodo (-)

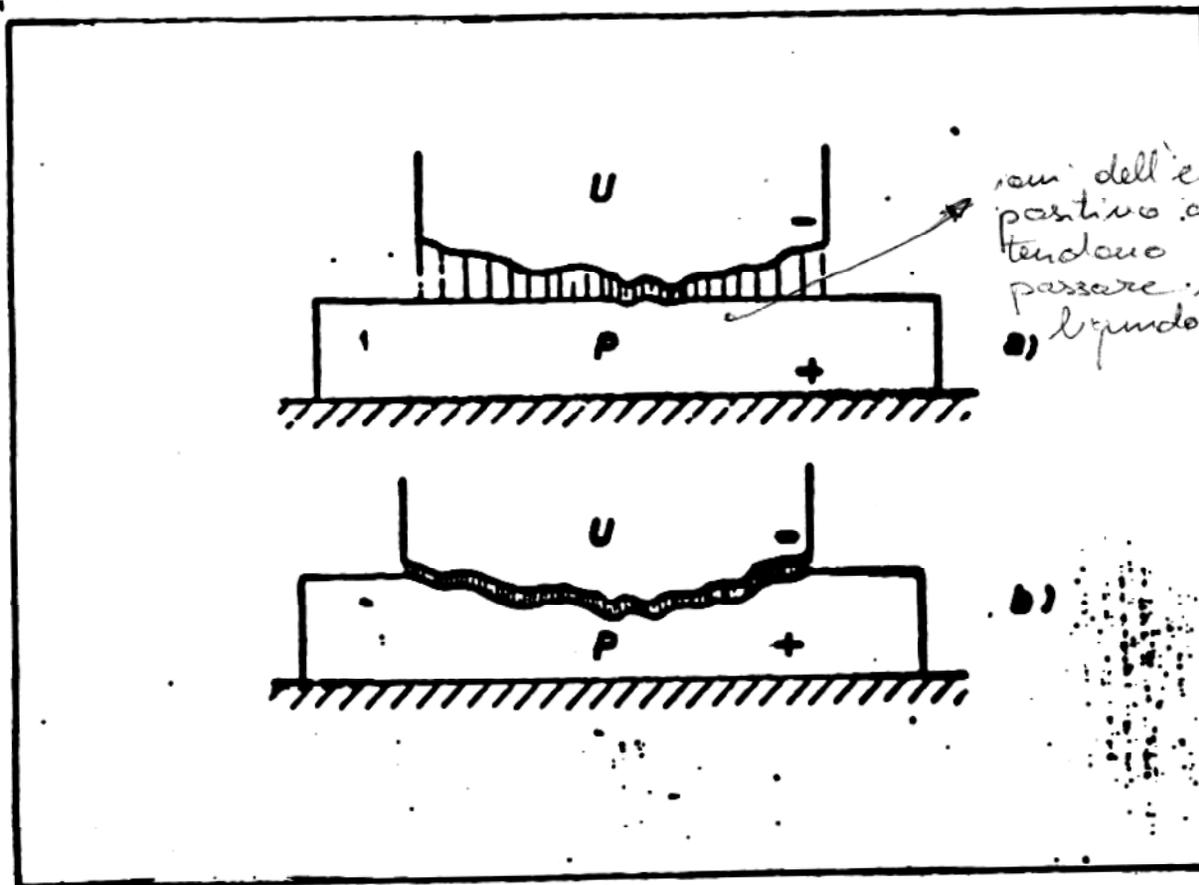


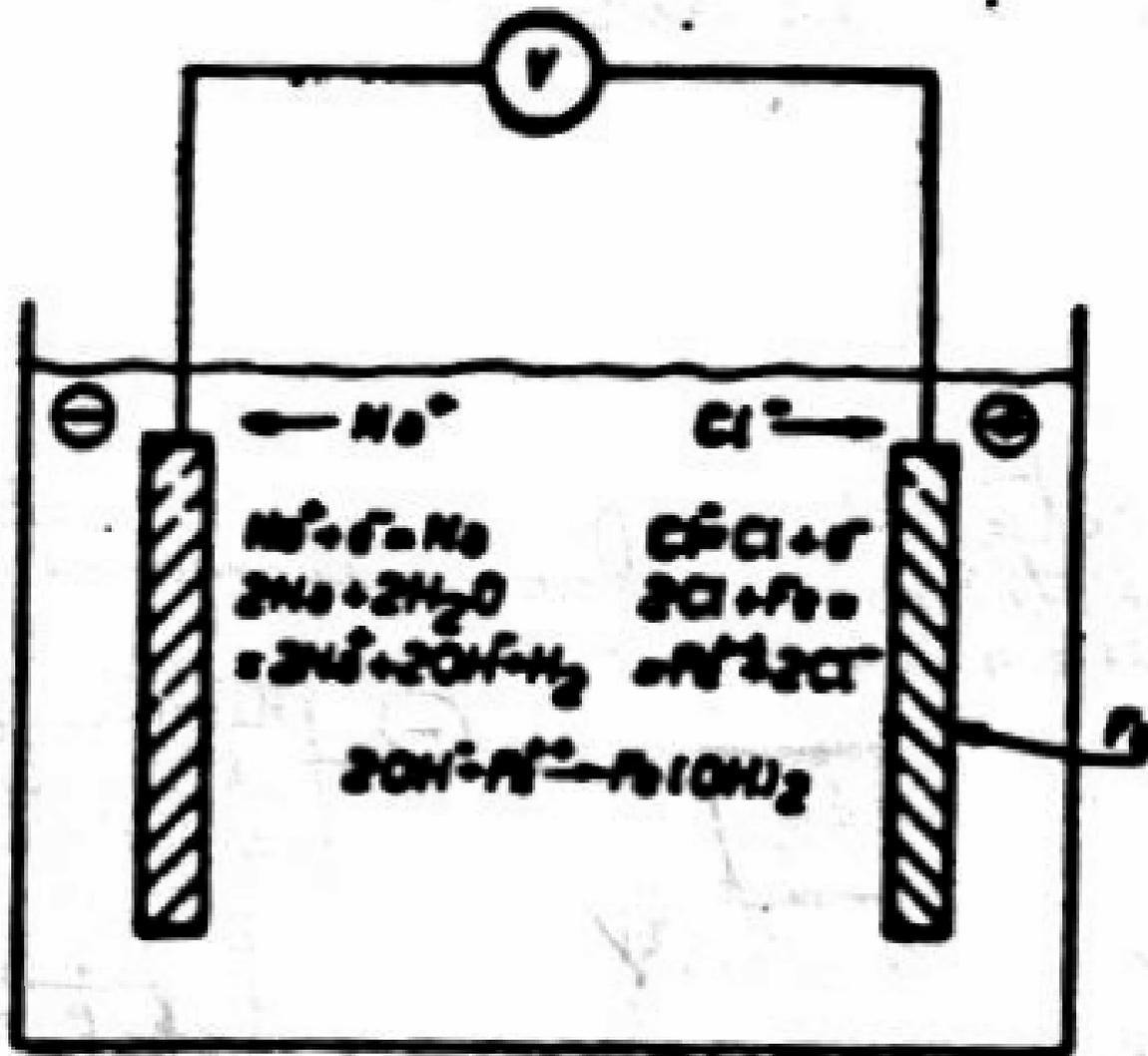
Fig. 7.8 - Lavorazione elettrochimica:
a) condizioni iniziali
b) condizioni finali
U = utensile
P = pezzo

Caratteristiche

- Il modello utensile in realtà subisce anche lui durante le operazioni un'usura intorno all'8% e di ciò occorre tener conto
- È una lavorazione adatta a forme di grande complessità ma non consente di ottenere una grande precisione dimensionale
- Il fluido presente nella zona di lavoro ha una molteplice funzione e viene filtrato e riciclato:
 - Funzione di raffreddamento
 - Evitare che scocchi una scarica tra pezzo ed utensile
 - Evacuare gli ioni che si separano dal pezzo

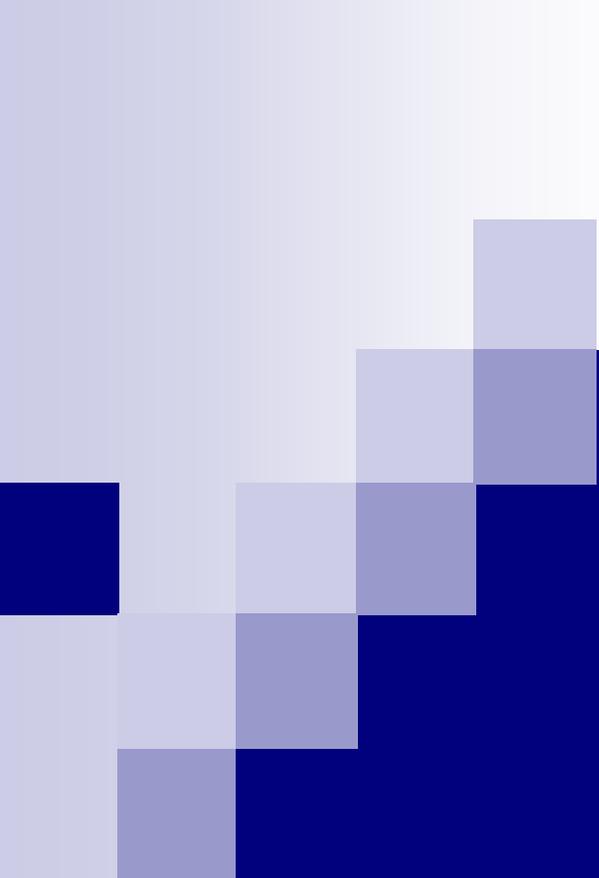
Processo di elettrolisi

- La soluzione presenta NaCl che sottoposto alla ddp si separa in $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
 - Vengono forniti elettroni all'utensile e si liberano atomi di Na
 - Vengono sottratti elettroni al pezzo a liberare atomi di Cl
 - Tali atomi reintegrano la soluzione mentre le molecole di ferro Fe^+ che si liberano reagiscono con molecole OH^- a dare idrossido di ferro che precipita



Applicazioni

- Forgiati di leghe resistenti ad alte temperature
- Materiali di elevata durezza
- Palette di turbine
- Fori e cavità di forma complessa



Elettroerosione

EDM – Electrical Discharge Machining

- Pezzo ed utensile sono immersi in un fluido dielettrico quale cherosene, olio, acqua, ...
- Le funzioni del fluido sono:
 - Evitare scariche elettriche
 - Allontanare le particelle erose
 - Mantenere costante la resistenza elettrica
 - Raffreddare l'utensile
- Si crea un arco elettrico tra utensile e pezzo che, bucatò il dielettrico scarica gli elettroni sul pezzo aumentandone la temperatura e fondendolo mentre asporta materiale

Caratteristiche

- Componenti della macchina:
 - Generatore di corrente
 - Elettrodo-utensile a movimento assiale
 - Sistema di circolazione e filtraggio del fluido
- Abbinamenti utensile-pezzo
 - Ottone ⇒ ottone/acciaio
 - Rame ⇒ acciaio/grafite
 - Grafite ⇒ grafite/rame/acciaio/alluminio
 - Acciaio ⇒ acciaio
 - Rame-tungsteno ⇒ rame/grafite/acciaio

Proprietà

- La velocità di asportazione è proporzionale sia all'energia di ogni impulso che alla frequenza di impulsi
- La finitura dipende dall'energia fornita, dalla frequenza degli impulsi, dalla forma del pezzo
- Sul pezzo finito rimane un sottile strato di materiale fuso e risolidificato, non lascia comunque bave

Lavorazioni

■ Tranciatura chimica:

□ Vantaggi

- Nessuna distorsione anche su prodotti difficili quali lamierini sottili
- Nessuna bava
- Lavorazioni di materiali duri e fragili
- Bassi costi di impianto e di modifica

□ Svantaggi

- Necessità di operatori qualificati
- Vapori corrosivi delle soluzioni
- Piccoli spessori asportabili

■ Fresatura chimica:

□ Vantaggi

- Asportazione uniforme
- Operatori anche non qualificati
- Buone finiture e tolleranze
- Bassi costi

□ Svantaggi

- Solo alluminio e sue leghe
- Profondità di asportazione limitata
- Evacuazione gas
- Maschere costose