



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO : 367

DATA : 27/09/2012

# A P P U N T I

STUDENTE : Brigante

MATERIA : Tecnologia Meccanica

Prof. De Filippi

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

# TECNOLOGIA MECCANICA

Professore: De Filippi Augusto

Anno Accademico: 2010/2011

Contatti: [augusto.defilippi@polito.it](mailto:augusto.defilippi@polito.it)

ORARIO:

→ LUNEDÌ: 10,00 - 13,00 AULA 15 A

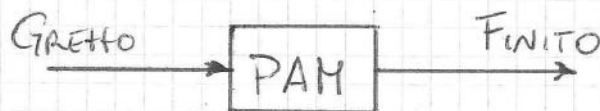
→ MERCOLEDÌ: 11,30 - 13,00 AULA 15 A

→ VENERDÌ: 10,00 - 13,00 AULA 15 A

Docente Esentatore: Mimetola

Per ciclo di lavorazione si intende l'insieme delle operazioni per mezzo delle quali si parte dal disegno del pezzo fino alla realizzazione dello stesso.

Per produrre un pezzo partiamo dal gretto, poi facciamo dei processi per asportazione di materiale (PAM) per poi arrivare al prodotto finito.



Il prodotto gretto viene ottenuto tramite i seguenti processi:



LIBRO DI TESTO: Kalpakjian S., Schmid S.R.:

"Manufacturing Processes for Engineering Materials" Addison-Wesley

monumento, così che gli operai dovevano ruotare l'auto nelle  
fabbricazioni. Nella seconda versione della catena di montaggio  
prevedeva che ogni operaio contribuiva all'assemblaggio delle  
macchine fermando le catene e poi ponendo al petto  
succamivo.

Questo ha portato ai cosiddetti problemi di asenteismo, in cui circa  
il 20% degli operai erano in malattia, perché erano obbligati  
a fare un lavoro troppo ripetitivo e monotono. Ciò comportava anche  
delle perdite di produttività che provocarono degli ingenti danni alle  
industrie.

Negli anni settanta i Giapponesi studiarono come produrre un  
prodotto economico e con una buona produttività.

Il concetto di produttività era qualitativo rispetto a questo modo di lavorare  
stressante e dispendioso. I giapponesi della Toyota hanno  
prodotto e venduto milioni di macchine di buona produttività  
e a prezzi moderati. La Toyota è diventata oggi la più  
grande azienda produttrice di automobili.

La Volvo lanciò l'idea della produzione di automobili per piccoli  
gruppi di lavoro, in cui gruppi di 4 o 5 persone contribuivano  
alla produzione delle automobili.

La terza rivoluzione industriale è relativa ai progressi mostrati ed  
avanza lo sviluppo dell'informatica e del computer.

La terza rivoluzione industriale ha aumentato la produzione  
però ha ridotto i posti di lavoro, però le difficoltà maggiori  
sono attribuite a coloro che non hanno conosciuto la cosiddetta  
"Knowledge" fondata da Rifkin. Ci sarà quindi sempre  
più bisogno di persone esperte e specializzate.

Quindi per aumentare la produttività e i ritorni si ritorna ai  
semplici lavoratori abolendo i gruppi di lavoro, e molto si  
ritorna alla catena di montaggio.

Per i lavoratori c'è quindi la tentazione di ridurre i tempi  
totali di lavorazione, eliminando le pause degli operai.

La vera innovazione è l'innovazione di prodotto e non di  
processo, in quanto è il prodotto in modo tale da  
avere un prodotto di alta produttività e costi contenuti. In Italia  
però si fa innovazione di processo, togliendo i tempi di pause,



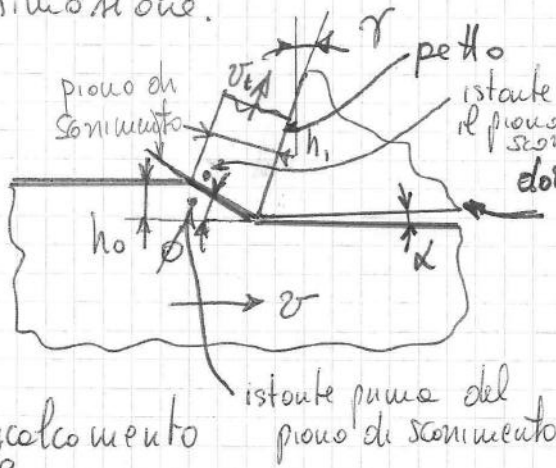
Ammettiamo che la deformazione plastica avviene ovunque quindi lungo il piano di scorrimento, in pratica questa è una <sup>omogenea</sup> deformazione.

$$h_1 > h_0$$

$$R = \frac{h_1}{h_0} > 1$$

$\gamma$ : angolo di spoglia frontale

$R$ : fattore di ricalcoamento del truciolo



$h_0$ : spessore truciolo indeformato

$h_1$ : spessore truciolo

$\alpha$ : angolo di spoglia dorsale

$\gamma$ : angolo generato dalla perpendicolare sul lavorata e il petto dell'utensile

Prendiamo in considerazione un attimo prima del piano di scorrimento e un attimo dopo.

Mel caso dei nostri utensili il petto e il dorso sono dei piani, che si intersecano generando una retta chiamata tangente.

Consideriamo una particella di materiale che si trovi immediatamente prima del piano di scorrimento.

Facciamo muovere il petto verso destra con velocità  $v$  che truciolo chiamiamo velocità di taglio. Il truciolo si muoverà con una certa  $v_t$ . Vogliamo ricavare una relazione fra le due velocità. Per far ciò ragioniamo in termini di portate volumiche

$$Q_{v0} = v \cdot h_0 \cdot b_0$$

$$Q_{v1} = v_t \cdot h_1 \cdot b_1$$

$v$  = velocità di taglio

$v_t$  = velocità del truciolo

$b_0$  e  $b_1$  sono le dimensioni trasversali.

$Q_{v0}$  è la portata volumica prima del piano di scorrimento

$Q_{v1}$  è la portata volumica dopo il piano di scorrimento.

$$Q_{v0} = Q_{v1} \quad \text{Le due portate sono uguali}$$

$$v \cdot h_0 \cdot b_0 = v_t \cdot h_1 \cdot b_1 \quad b_0 \approx b_1 \Rightarrow v_t = v \frac{h_0}{h_1}$$

$$v_t = v \frac{h_0}{h_1} = \frac{v}{R} < v$$

$R = \frac{h_1}{h_0} > 1$  fattore di ricalcoamento del truciolo

La velocità del truciolo è minore della velocità di taglio.

Abbiamo quindi detto che la velocità di avanzamento del petto, è maggiore di quella del truciolo, e abbiamo inoltre chiamato con:

$h_0$ : spessore del truciolo indeformato

$h_1$ : spessore del truciolo dopo la deformazione primaria

$$R = \frac{h_1}{h_0} > 1 \quad \text{con } h_1 \text{ sempre maggiore di } h_0$$

Inoltre abbiamo detto che il piano di scorrimento non è fisicamente possibile che esista in pronto, essendo esso un piano geometrico lo spessore nullo, dunque una particella che lo attraversa passando dal petto al truciolo lo attraverserebbe in un tempo nullo, dunque si avrebbe un rapporto di  $v$  e  $v_t$  immediato e dunque con accelerazione infinita, che non è fisicamente possibile.

### Teoria di Ernst & Merchant

Secondo tale teoria il piano di scorrimento si positiona in modo tale da minimizzare l'energia di deformazione plastica primaria:

$$v \phi + \epsilon - \gamma = \frac{\pi}{2}$$

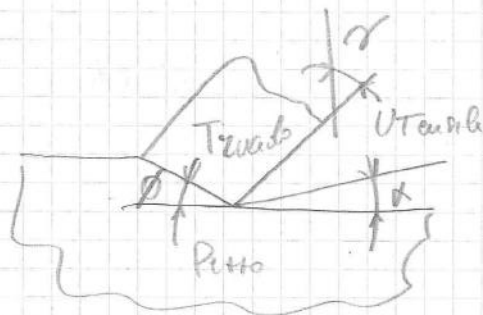
$\epsilon$ : angolo di attito opposto tra truciolo e petto dell'utensile.

Le temperature raggiunte in queste lavorazioni sono altissime, l'utensile può raggiungere i  $1000^\circ\text{C}$  e il truciolo  $800^\circ\text{C}$ , dunque la teoria di Coulomb sull'attito non è applicabile, in quanto valida per le temperature ambiente.

Merchant arrivò alle conclusioni che:

$$v \phi + \epsilon - \gamma = c$$

$c$ : variabile, angolo comunque  $< 90^\circ$



Introduciamo ora le torniture di sgranatura e di finitura.  
 Avremo per la produzione del pezzo un numero moleficato  
 di "i" di passate di sgranatura e una e una sola di finitura.

Essenzialmente nelle sgranature devo portare via tanto materiale  
 in corrispondenza della tolleranza e della finitura superficiale,  
 tanto e ciò penserà la passata di finitura.

Quindi la passata di finitura ha la funzione di dare tolleranza  
 e finitura superficiale. Vediamo cose cambia a livello  
 delle variabili  $v$ ;  $q$ ;  $p$ .

Costruiamo una tabella del genere:

VAR	SGR	FIN
$v$	$10 \frac{-}{\text{m/min}}$	$100 \frac{+}{\text{m/min}}$
$q$	$0,3 \frac{+}{\text{mm/pezzo}}$	$0,1 \frac{-}{\text{mm/pezzo}}$
prof. di passata $p$	$3 \frac{+}{4} \text{ mm.}$	$0,5 \frac{-}{\text{mm.}}$

Possiamo da velocità  
 di qualche decina di  
 metri al minuto a  
 qualche centinaio di  
 metri al minuto.

Gran parte delle lavorazioni al tornio avvengono per asportazione  
 di materiale, tranne la tipatura, che è una operazione di  
 deformazione plastica a volume costante.

Per il tornio abbiamo per le maggior parte dei casi, movimenti  
 onici e movimento radiale.

Uno dei torni che studiamo a vedere è il tornio parallelo.

I due movimenti che dobbiamo avere e avere sono il  
 moto di avanzamento e di taglio.

Abbiamo in questo tornio tre elementi mobili disposti a  $120^\circ$   
 che si muovono radialmente, tale pezzo è detto mandrino autoce-  
 ntrante e tre griffe, disposte appunto a  $120^\circ$  l'una dall'altra.

Se ho una sezione circolare del pezzo o esagonale, possiamo  
 utilizzare il mandrino autocentrate.

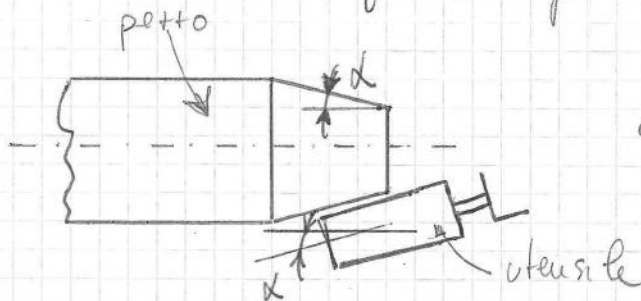
Il frenetismo del tornio è contenuto in una parte delle  
 teste.



per le lavorazioni utlizzate la benna di torsione. (Tornitura al. est.)  
 Non utlizzato sempre le vite per chi ne uo perde di preci-  
 sione, usurandosi, e quindi lo tempo di riparo.  
 Per lavorazioni in cui non serve tale precisione si utlizza  
 sempre la benna di torsione.

Il verso normale di lavorazione è quello verso il mandrino, però  
 mediante una leva si può invertire tale verso.

Attenzione che non posso combinare i moti assiali e radiale con  
 tale tipo di tornio, perché vanno fatti separatamente. (Tornitura conca)  
 Per ovviare a questo inconveniente abbiamo lo slitta micrometrica  
 che viene ruotata dall'angolo di semiapertura del cono sul disco  
 prodotto. Vediamo tale cono nel disegno di seguito:

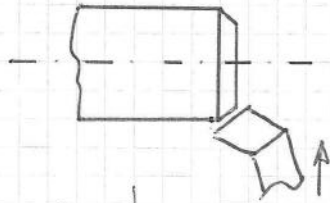


In questo caso il movimento  
 della slitta micrometrica è  
 solo manuale.

È introdotto un'incesto (fusione) tra mandrino e motore, questo  
 prando uoglio fermare o esporre il movimento del pezzo.  
 L'altra funzione dell'incesto è quella di invertire il senso di  
 rotazione.

Come abbiamo detto quindi il tornio più semplice è il tornio parallelo  
 con vero automazione e che uocante assolutamente delle presenze  
 dell'operatore; il petto in tale tipo di tornio viene offerto dal  
 mandrino autocentrante, che si serve di tre griffe disposte a  
 120°, il mandrino ruotando trasuere in rotazione il petto; e  
 per motore il mandrino autocentrante a senso il mandrino che  
 è un altro petto del tornio (il mandrino è un albero cavo in  
 modo da far passare eventuali petti sporgenti). Il tornio è  
 messo in moto da un motore elettrico asincrono trifase; tale  
 motore agisce sul mandrino come indicato nella figura di  
 pagina precedente. Visto che i diametri che vengono lavorati  
 sono molto vari e quindi sono necessarie molte velocità  
 differenti (di rotazione) e visto che il motore elettrico può dare  
 solo 2 o 3 velocità di rotazione diverse, si usa un cambio

Se si tratta di eseguire uno smusso a  $45^\circ$  relativamente corto del tipo:



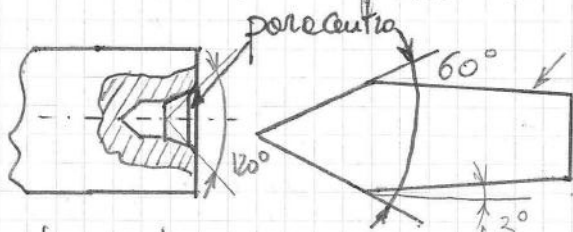
In tal caso si può quindi utilizzare benissimo un utensile che abbia il taglio a  $45^\circ$

Utilizziamo in questo caso un utensile a  $45^\circ$

La controtesta serve essenzialmente a sostenere il petto se questo è montato a sbalzo. In questo caso se il petto è snello e non a fame la contropunta, oscillasse.

La contropunta è montata sulla controtesta. La contropunta non è un'altro che un solido a forma di cono.

Vediamo come è fatta la contropunta che sostiene il petto.



paracentro; smusso da  $120^\circ$  che serve a non far rompere il foro da centro, può anche non esserci

La contropunta va a sostenere il petto snello se vi è un foro fatto dalla cosiddetta punta da centro.

Vi sono due soluzioni per il foro da centro; una di queste è quella con il paracentro che serve a sopraproverbi il centro. Quindi il petto è da una parte sostenuto dall'autocentrante e dall'altra è sostenuto dalla contropunta che si impegna nel foro da centro.

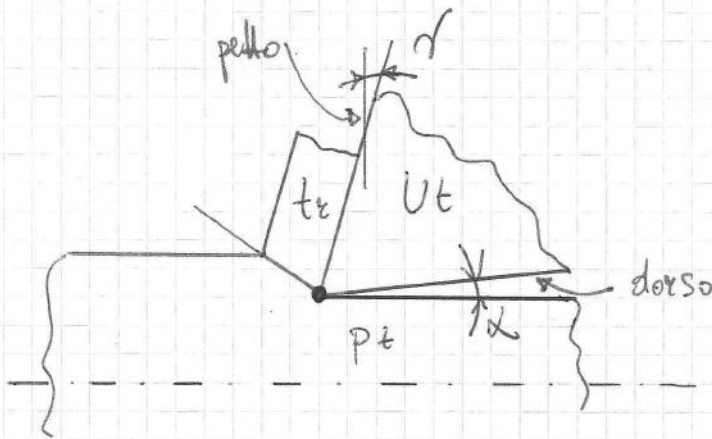
La procedura normale è quella di fare il foro da centro al petto, prima di montare il petto sul tornio.

La seconda funzione della controtesta è quella di effettuare un foro montando una punta, <sup>elicoidale</sup> in cui il moto di avanzamento della punta elicoidale è dato da una manopola.

Nel tornio parallelo vi è anche una terza bene longitudinale che è la bene di innesto, disposta sotto la bene scanalata che è orientata da una opposte leve.

Il vernoio sottostante la bene è un vernoio raccogli-trocida che raccoglie anche il fluido da taglio, liquido lubrificante, questo perché sull'utensile si possono raggiungere temperature elevatissime e per questo lubrificante e lubrificato 13

# GEOMETRIA DELL'UTENSILE DA TORNO



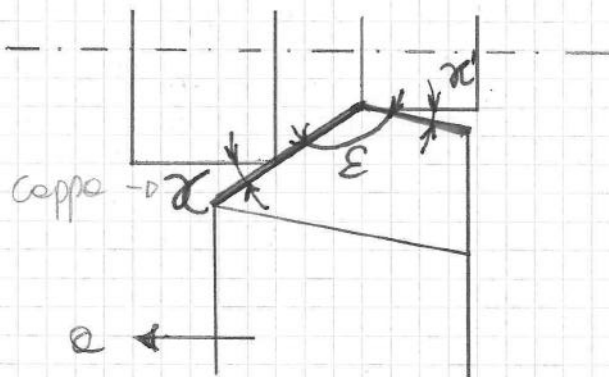
$\alpha$ : angolo di spoglia dorsale

$\alpha'$ : angolo di spoglia frontale

Attenzione: questo schema degli angoli di lavorazione è valido in generale per tutti i processi.

Partendo da questo schema dobbiamo approntare delle modifiche e secondo delle lavorazioni da effettuare.

## SCHEMA OPERAZIONE DI TORNITURA



$\alpha$ : angolo compreso tra il tagliante principale e la direzione di avanzata

$\alpha'$ : angolo compreso tra tagliante secondario e direzione di avanzata.

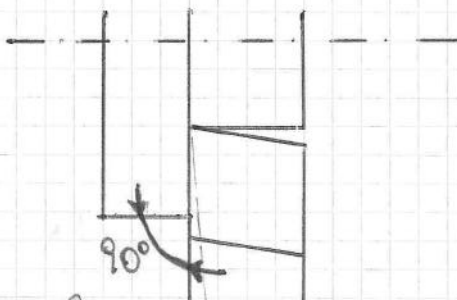
$\alpha$ : angolo di attacco principale

$\alpha'$ : angolo di attacco secondario

$\epsilon$ : angolo di taglianti ( $\epsilon$  è l'angolo che unisce il tagliante principale con il secondario)

$\alpha'$ : è un disimpegno, e serve ad evitare che l'utensile scivoli con il pezzo, arco  $10 = 15^\circ$

$\alpha$ : varia tra  $70 = 100^\circ$  passando per un valore importante di  $90^\circ$  che ha un aspetto del tipo:

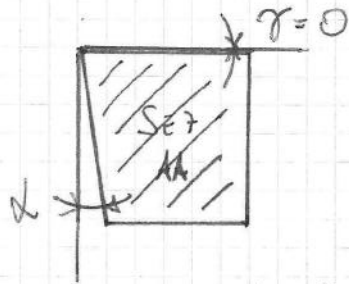


Utensile a coltello  $\alpha = 90^\circ$

Se l'angolo  $\alpha$  è uguale a  $\pi/2$  l'utensile si chiama coltello

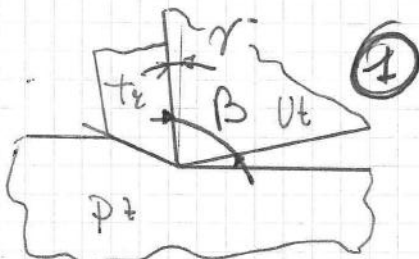


Vi è anche un caso limite che è quello di  $\gamma = 0$

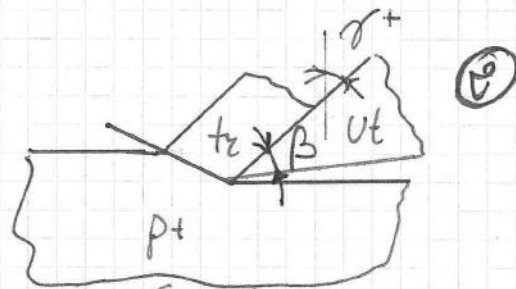


Non è un angolo importante perché è in disimpegno, invece molto importante è l'angolo  $\gamma$

Vediamo i casi di  $\gamma^+$  e  $\gamma^-$ .



$\gamma$  negativo



$\gamma$  positivo

Per quanto riguarda la formazione di truciolo è migliore il caso 2 in quanto il truciolo non si ripiega, però l'altra esigenza costante riguarda la resistenza dell'utensile dato da  $\beta$ . Più  $\beta$  è grande più l'utensile è resistente. Devo mettere insieme queste due esigenze e valutare lo scarto di  $\gamma$  e  $\beta$ .

Esempi:

1. Sepe di alluminio: richiede un  $\gamma$  positivo e grande perché è un materiale relativamente plastico e tenero, e non mette in gioco forze elevate sull'utensile, in tal caso posso utilizzare un  $\beta$  più piccolo (abbastanza piccolo)

$$\gamma = 20^{\circ+} \quad 20^{\circ} \text{ positivi}$$

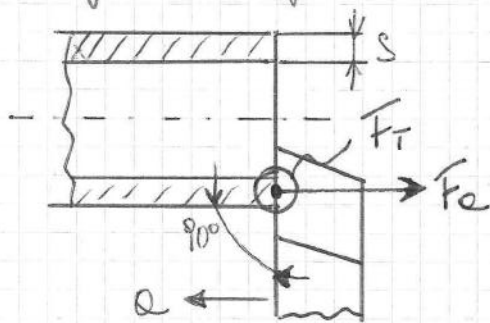
Il compromesso tra resistenza e lavorabilità dell'alluminio mi porta a  $\gamma = 20^{\circ+}$

2. Acciaio: è un materiale plastico ma duro e quindi sollecita maggiormente l'utensile rispetto all'alluminio. In tal caso devo aumentare  $\beta$  che comporta una riduzione di  $\gamma$ , però non posso utilizzare  $\gamma$  troppo piccoli per v.e. della  $v_t$

Forze scomposte tra utensile e petto

Prendiamo in esame tre casi:

### 1. Taglio ortogonale



Il tubo viene in tal caso distrutto: è una lavorazione che viene effettuata in laboratorio, in quanto permette di riprodurre una produzione bidimensionale del truciolo.

Attenzione: In tal caso lavora solo il tagliante principale.

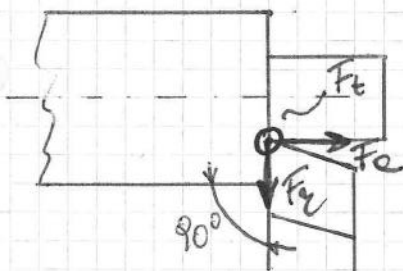
La risultante delle forze le immaginiamo applicate sul centro dello spessore del tubo e formata da due componenti:

$F_c$ : diretta lungo il moto di avanzamento

$F_T$ : diretta perpendicolarmente al tagliante principale

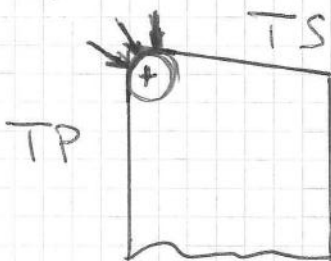
Nel taglio ortogonale l'utensile utilizzato è il coltello e in tal caso distruggiamo il petto.

### 2. Taglio quasi ortogonale



In tal caso la punta dell'utensile non è disimpegnata, dunque anche minimamente ma comunque c'è una piccola azione sul tagliante secondario.

In tal caso l'utensile è sempre un coltello e sostanzialmente sempre che non viene cambiato nulla. Qui lavora anche la punta dell'utensile oltre che al tagliante principale, mediante il raccordo tra i due tagli.



In natura lo spigolo vivo non esiste

Nascono delle forze radiali.

Il raccordo è solitamente alcuni decimi di mm di raggio, microscopicamente le forze si ipotizzano come 21

Come calcoliamo ora le tre componenti? Cerchiamo di dare un valore a queste forze. Ci sono diversi metodi, noi utilizziamo il

Metodo di Kientle & Victor

$$F_t = k_s A$$

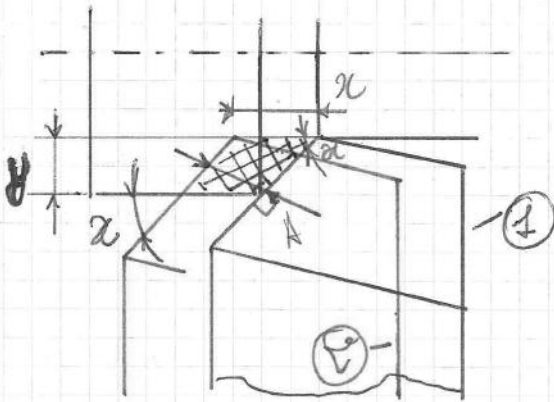
$$F_v = k_v A$$

$$F_z = k_z A$$

Sono ottenute tutte e tre allo stesso modo.

Vediamo come valutare  $A$  (Area della sezione del truciolo)

$A$ : area della sezione del truciolo



Si considerino le posizioni 1 (posit. iniziale dell'utensile) e posizione 2 (posizione dell'utensile dopo che il petto ha compiuto un intero giro).

L'area della sezione del truciolo è proprio la sezione  $A$ .

$$A = x \cdot y \Rightarrow A = e \cdot p \quad \left[ \frac{\text{mm}}{\text{giro}} \right] \cdot [\text{mm}] = \text{mm}^2$$

$y = p$  profondità di punta

$x = e$  avanzamento

$$F_v \Rightarrow k_v = k_{v0} h^{-x}$$

$$F_z \Rightarrow k_z = k_{z0} h^{-y}$$

Dimensionalmente  $(k_s)$  è una pressione che chiamiamo pressione di taglio che dipende dallo spessore del truciolo normalizzato

$$k_s = k_{s0} h^{-z}$$

$k_{s0}$  e  $z$  sono due costanti tabellate in funzione del materiale del petto e dell'utensile

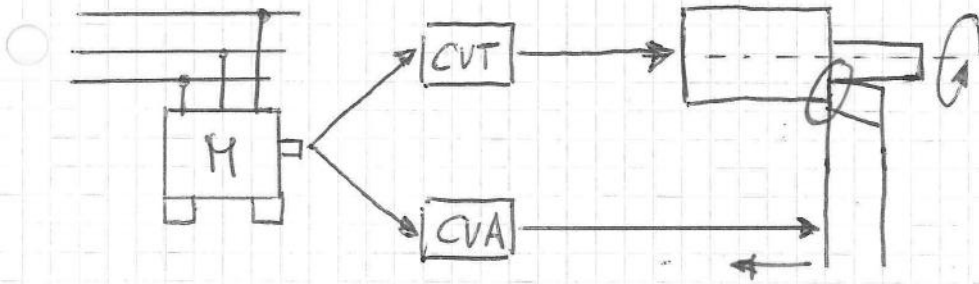
$$h = e \sin \alpha$$

Per calcolare le altre componenti procediamo analogamente con delle costanti.

Abbiamo bisogno in tutto di 6 costanti

La potenza fornita dal motore elettrico però sarà diversa da quella fornita sul punto di taglio, e a sua volta sarà diversa dalla potenza fornita dall'ENEL.

## Potenza fornita dal motore elettrico



Poiché nei vari organi delle macchine vi sono delle perdite queste vengono considerate mediante un rendimento.

$$P_m = \frac{P_e}{\eta_m}$$

$$\eta_m = 0,7 \div 0,8$$

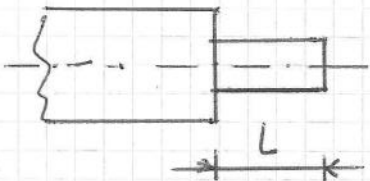
Introduciamo quindi propriamente il coefficiente  $\eta_m$ .

Abbiamo bisogno di sapere anche quanto assorbe il motore elettrico trifase, che ~~consiste~~ <sup>consiste</sup> della rete, e poiché vi sono delle perdite di calore, cioè parte dell'energia elettrica si trasforma in calore, ovvero anche qui una riduzione dovuta a queste perdite che consideriamo con il coefficiente  $\eta_e$ .

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_e}$$

$$\eta_e \approx 0,9$$

L'ENEL ci fornisce Potenza elettrica che effettivamente volete secondo energia espressa in kWh. Abbiamo bisogno per calcolare tale energia del tempo di taglio.



$$v = \frac{S}{t}$$

$$t = \frac{S}{v}$$

$$t_t = \frac{L}{v_a}$$

Tempo di taglio

$v_a$ : velocità di avanzamento

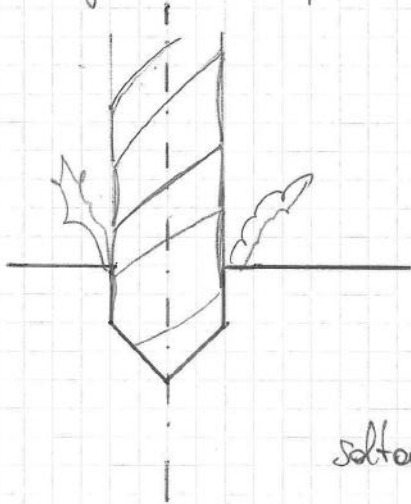
Il tempo di taglio è quindi valutato grazie allo spostamento compiuto  $L$  fatto la velocità di avanzamento dell' utensile



# FORATURA

È l'operazione che viene effettuata per fare un foro. L'utensile si chiama ~~trapano~~ punta elicoidale; effettuato dal trapano

Entrambi i momenti di avanzamento e taglio sono dati all'utensile. Le resistenze precedono sempre la lavorazione.



La punta ha due taglianti principali, che in certi casi possono diventare 3.

Il truciolo formato quindi poco.

In questo caso il  $p_z$  è fessura e può essere soggetto soltanto a moti di posizionamento.

La punta elicoidale è formata dalle due eliche, dai due tagli <sup>cutti</sup> principali e dal cano morse che consente il collegamento con il trapano mediante il mandrino.

Il cano morse ha le caratteristiche di avere una apertura dell'ordine di  $3^\circ$  che è un valore inferiore all'angolo di attrito  $5,7^\circ$

$$f = 0,1 \Rightarrow \tan f = f \quad f = 5,7^\circ$$

È necessaria tale inclinazione perché deve permettere la trasmissione delle coppie che avviene per attrito, quindi il cano morse deve permettere la trasmissione delle coppie.

Vi sono punte anche molto piccole che hanno codoli cilindrici.

→ diametro  $< 12$  mm codolo cilindrico

→ diametro  $> 12$  mm codolo conico

Questo perché le tre griffe del mandrino non riuscirebbero ad opprimerle la punta.

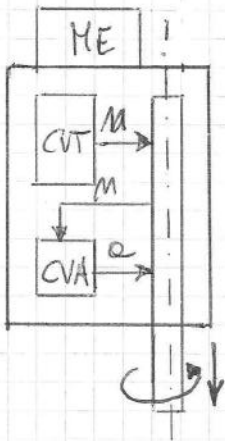
## MACCHINE UTENSILI

Piccole dimensioni → trapano manuale viene utilizzato per

Grandi dimensioni → trapano radiale (Petti di grosse dimensioni)

Moto di taglio e di avanzamento sono dati dal trapano, il petto è fisso, e viene solo registrato prima della lavorazione.

Schema di trasmissione del moto:



$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} \quad \text{Velocità angolare}$$

dove  $D$ : diametro nominale esterno delle punte

→ CVA: cambio velocità avanzamento

→ CVT: cambio velocità di taglio

Entrambi i moti sono dati al mandrino

Il trapano radiale viene utilizzato per petti di grosse dimensioni, poiché è scomodo il movimento del petto stesso sul basamento del trapano. Il petto può essere posizionato o direttamente sul basamento o dal primo porta petto. Poi vi è il mandrino che affrena la punta, e su tale mandrino vi è anche il foro o i fori in cui si impegna il carapunte. Poi vi è la testa del mandrino che viaggia su opposte guide manovre alle registrazioni. Queste guide fanno parte del condotto braccio o bandiera.

Il motore elettrico trifase avrà al massimo due o tre velocità elettriche di per sé, per venire appunto ulteriormente le velocità ottenute appunto i diversi cambi CVT; CVA.



Quindi i moti di ripristino sono essenzialmente 3:

1. Traslazione lungo le guide poste sul braccio (in senso radiale)
2. Il braccio sale o scende ~~sulle~~ colonne
3. Il braccio ruota attorno all'asse delle colonne.

Normalmente nel posizionamento verticale il mandrino è fisso, però può a volte oscillare di arco  $30^\circ$  rispetto alla verticale da una parte e  $30^\circ$  dall'altra.

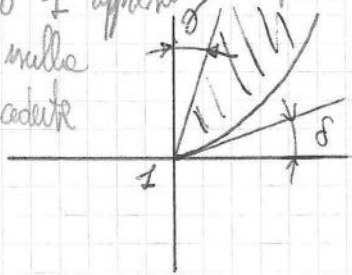
Vi è un secondo motore in capo alle colonne che serve per azionare il cinemotismo verticale del braccio, azionando una vite che si impegna con una madrevite e lo fa traslare verticalmente. Nel caso di tempi non molto grandi gli altri due moti sono manuali, ma in grandi macchinari sono anche questi motorizzati.

Vi è un terzo motore adibito all'alimentazione di una pompa per il liquido lubrificante (90%  $H_2O$  e 10% olio), che percorre un circuito chiuso appiungendo liquido refrigerante dovuto alle perdite, e quindi vi è anche un livello di riserbo. In realtà il liquido da taglio costa di più dell'utensile e ha una funzione molto importante che viene molte volte sottovalutata in officina. Questo liquido da taglio deve essere opportunamente smaltito, o riciclato. Provoca anche dermatiti.

Per quanto riguarda la lubrificazione dei cinematismi esistono dei condotti di lubrificazione ed insumatori, atti ad evitare il mal funzionamento delle macchine utensili, e ad evitare dei fenomeni di corrosione delle parti a contatto.

Abbiamo detto che l'angolo  $\delta$  influenza sull'angolo di spoglia frontale; per individuare il piano di taglio si sezione la punta elicoidale con un cilindro ed una conica ottenendo la

seguente sezione:  
 Il punto 1 rappresenta il punto  $\delta$  in  
 figura nella  
 pag precedente



Sezione del tagliante principale

Poiché la geometria delle punte è elicoidale, gli angoli  $\delta$  e  $\gamma$  variano e secondo di dove mi posiziono nella sezione, dunque dell'angolo  $\gamma$  viene

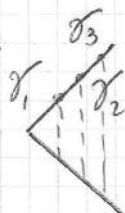
calcolato un valore medio come:

$$\tan \gamma_m = 0,575 \frac{\tan \delta}{\sin \frac{\epsilon}{2}}$$

se  $\epsilon = \text{costante}$  all'aumentare di  $\delta$  aumenta  $\gamma_m$  e dunque

- $\delta$  cresce per teghe di alluminio
- $\delta$  decresce per le phase che si schiacciano (phase)
- $\delta$  decresce per acciaio perché deve essere più robusto l'utensile e quindi bisogna lavorare  $\beta$ .

Come viene  $\gamma$ :



$$\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3$$

Ricordo dei taglianti la cui geometria rispetto ai taglianti principali (che sono disallineati) è di un angolo  $\psi = 55^\circ$

In figura abbiamo rappresentato una sezione del tagliante con intersezione nel punto ① trovando un certo angolo  $\gamma$  se sezione il tagliante in una posizione diversa da ①, tipo ② ovvero un nuovo angolo  $\gamma_2$  che sarà quindi diverso da  $\gamma_1$  e per questo prendiamo un angolo  $\gamma_{medio}$  tale per cui:

$$\tan \gamma_m = 0,575 \cdot \frac{\tan \delta}{\sin \left( \frac{\epsilon}{2} \right)}$$

Nel caso di ghise  $\gamma$  diventa poco interessante per la produzione del truciolo e quindi omettiamo  $\beta$ .

- Nel caso di acciai  $\gamma$  deve essere particolarmente importante per la produzione del truciolo.

L'angolo  $\delta$  è un angolo costruttivo e quindi non posso combaciarlo invece  $\epsilon$  che è un angolo di efficienza posso modificarlo a seconda di quello che voglio fare.

Il ricordo dei taglianti ha la funzione di entrare nel metallo come un cuneo e non taglia per due motivi essenziali:

1. Velocità tangenziale bassa
2. Angolo di spoglia frontale negativo ( $\gamma$  negativo)

### RIPARTIZIONE DELLE FORTE

Le forze che provano sulle punta sono:

$F_e$ : forza di avanzamento assiale, si oppone all'avanzamento dell'utensile.

$F_t$ : due forze tangenziali che determinano una coppia:

$$C = F_t \cdot b \quad \left| b = \frac{D}{2} \right| \text{ braccio}$$

$F_r$ : sono delle forze radiali che agiscono sui due taglianti principali che determinano una coppia anche distanti un piccolo braccio che ci porta a pensare che le due forze giocano sulla stessa retta d'azione.

Per la determinazione delle forze utilizziamo le seguenti formule in funzione dell'avanzamento e del diametro della punta.

$$F_e = k_1 e^x D^y$$

$$C = k_2 e^w D^z$$

- $k_1, k_2, x$  e  $w$  sono costanti tabellari omogenee e  $y$  e  $z$ . Quindi abbiamo anche determinazione di tali forze bisogna di 6 costanti

Vediamo il contributo della potenza:

$$P_t = \frac{C \cdot \omega}{9549} \quad P = C \cdot \omega \quad \text{multiplica} \times$$

[kW]      [Nm] [rpm/min]

↓      ↓      ↓

dando solo  $\times 1000$        $\omega = \frac{v \pi m}{60} \cdot \left[ \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{1000} \right] \rightarrow \text{kW}$

Il numero 9549 deriva dal rapporto tra  $\frac{60}{2\pi}$

Poi vi è il contributo di  $P_e$ :

$$P_e = \frac{F_e \cdot v_e}{60 \cdot 1000 \cdot 1000}$$

[kW]      [N] [mm/min]

Ricorda:  $v_e = \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$

Confrontando le due potenze otteniamo un risultato omologo e quello della tornitura.

$$P_t \gg P_e$$

A livello dei calcoli quindi la  $P_e$  è trascurabile però questo non significa che  $F_e$  è piccola, ma è la velocità di avanzamento che è trascurabile.

La potenza totale sarà allora data da:

$$P_{tot} = P_t + P_e \approx P_t$$

La potenza del motore elettrico è considerata tramite il rendimento meccanico e quindi:

$$P_m = P_t / \eta_m \quad \eta_m \approx 0,7 = 0,8$$

Introducendo il rendimento elettrico del motore otteniamo la potenza elettrica assorbita dalla rete.

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_e} \quad \boxed{\eta_e = 0,9}$$

$$F_e = k_1 \cdot e^{\omega} \cdot D^2$$

$$C = k_2 \cdot e^{\omega} \cdot D^3$$



## FRESATURA

È una lavorazione molto importante che ha come macchina utensile la fresa che <sup>utensile fresatura</sup> ha come toplicenti i denti.

Nelle fresature il moto di taglio è dell'utensile e il moto di avanzamento è dato al pezzo.

La fresa può essere regolata e secondo delle soluzioni che vogliamo ottenere.

L'asse di rotazione della fresa rispetto al pezzo può essere parallelo alla superficie lavorata, in tal caso parlo di fresatura periferica o tangenziale, e inoltre può essere perpendicolare alla superficie lavorata, in tal caso si parla di fresatura frontale.

I denti della fresa possono essere dritti o elicoidali, le diverse tipologie hanno la stessa funzione dei denti elicoidali delle ruote dentate, cioè ~~causano~~ ~~riscono~~ il taglio.

Altrimenti quindi rispetto alle lavorazioni la fresatura è verticale e orizzontale (che usa la fresatura periferica o tangenziale).

L'utensile è caratterizzato da  $N$  toplicenti, è dunque un utensile multitaglio; il moto di taglio è dato all'utensile mentre il moto di avanzamento è dato al pezzo; questo operando genera una superficie piana, i toplicenti vengono anche chiamati denti.

La fresa può essere caratterizzata da denti dritti o elicoidali, in quest'ultimo caso si ha un taglio più regolare in quanto durante tale operazione si ha una fluttuazione di  $F_t$  con frequenza minore, però vi è l'inconveniente del maggior costo dell'utensile.

- Fresatura a disco: serve a creare scanalati su piani con un disco a denti dritti.

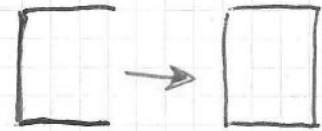
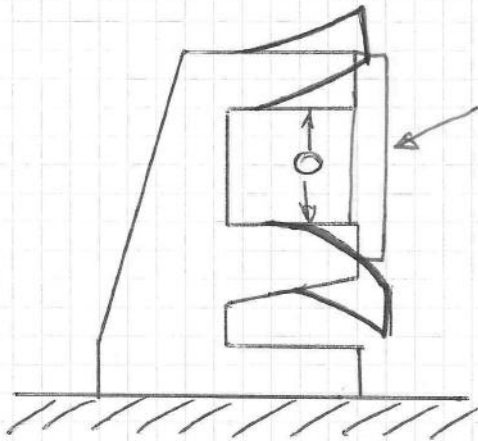
- Fresate di forma biconca: sempre tangente al pezzo.

Ogni qualvolta viene realizzata una geometria diversa da quella piana viene realizzata una fresatura di FORMA.

La fresatura orizzontale avendo una struttura a C ha due problemi strutturali di deformazione e che inoltre sono necessari

Ci sono degli elementi chiamati bratelle che hanno lo scopo di aumentare la resistenza delle macchine. (Resistenza strutturale)

○ Vediamo come è strutturata la fusetina oscillante:

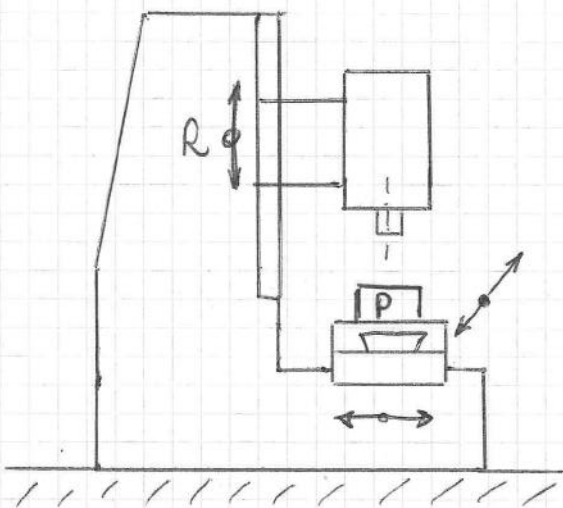


Grande alle bratelle si è trasformati una struttura a C in una struttura ad O.

Le forze che agiscono sulle macchine tendono a flettere il telaio della macchina, e ad avviare e presto incurvamento causano le bratelle, che provocano una difficoltà di lavorazione per l'operatore, che non le monterebbe mai. Per questo e cause di queste deformazioni strutturali, si è passati alle fusetture a banco fisso

Fusettura a banco fisso

○ Schematicamente può essere rappresentata nel seguente modo:

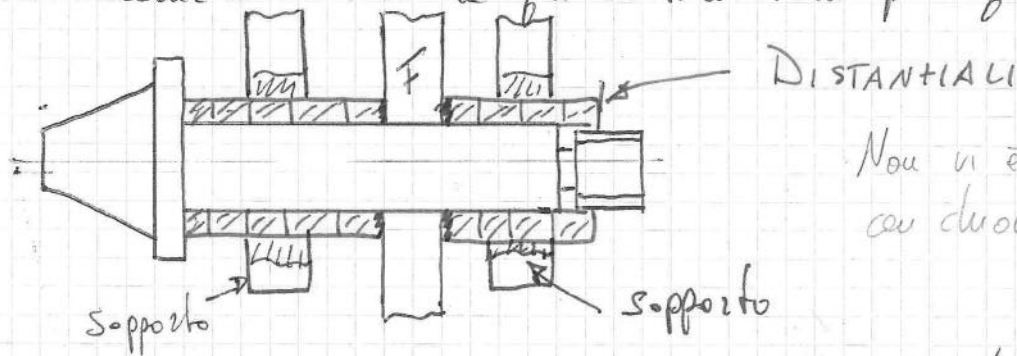


Con questa tipologia di fusettura è stato risolto l'incurvamento delle deformazioni strutturali, in quanto poiché l'elemento debole era la mensola, ora non è più presente e è evidente che è stata eliminata.

○ È scomparso il momento verticale del petto, e la struttura non è più deformabile e lavora a compressione.



Vediamo ora come è collettata le fuse sull'albero portafrese.



Non vi è un collettato con chiovetta

Chiodiamo a pecco il tutto con un dado <sup>e una rondella</sup> che va a filettarsi sulle parte terminale filettata.

La trasmissione della coppia <sup>non</sup> avviene con chiovette, che è un accoppiamento rapido, che potrebbe spaccare le fuse o un dente delle fuse, per questo di solito o normalmente si ricorre alla trasmissione di coppia per attrito, determinato appunto dalla chiusura e pecco del dado filettato. In tal modo se ci sono delle forze eccentriche le fuse scivola rispetto ai distributori e in tal caso causano o rovinano le fuse stesse.

L'albero ruota sostenuto da supporti che sono vincolati alle traverse, i supporti sono mobili, possono traslare, il che serve per registrare la posizione dell'albero, anche le traverse può traslare per modificare la posizione.

Slitta longitudinale → si muove ⊥ all'albero portafrese e sotto ho una slitta trasversale → con queste due tavole realizzato un movimento a croce sul piano ortogonale e posiziono il petto.

Il movimento verticale è dato dalla traslazione della mensola; dunque nello spazio il moto verticale è della mensola e ortogonale delle due slitte.

Moto di orientamento → è attribuito al petto in quanto il moto nello spazio è dato dalle slitte mentre la mensola dà solo il moto di posizionamento (Registrazione).

Può essere effettuato solo un movimento alla volta, ossia:



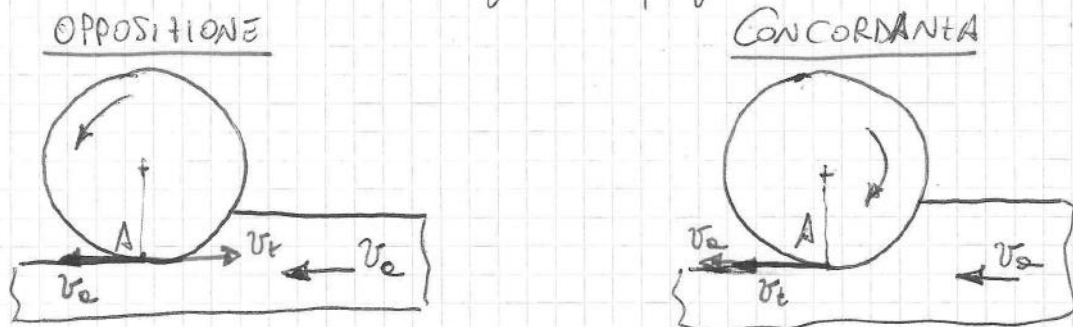
Per  $\alpha$  devo inclinare dello stesso angolo le morse di posizionamento in avanti posso muovermi solo  
 ↑ e →

Se il punto  $A$  è ortogonalmente al piano  $\perp$  passante per il punto  
 ottenuto il punto  $A$ ; se il punto  $A$  è alla fresa  $v_{fr}$  o vice  
 velocità di taglio  $v$  se il punto  $A$  è al petto  $v_{pe}$  o  
 vice velocità  $v_a$ .

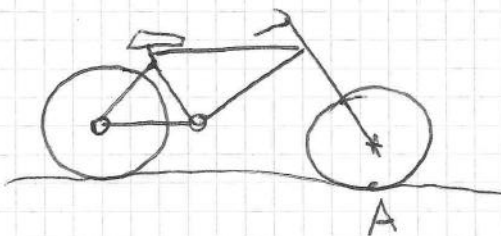
Se  $v$  e  $v_a$  sono opposte la fresa lavora in opposizione, se  
 hanno lo stesso verso la fresa lavora in concordante.

Il tagliante descrive rispetto al petto un **CICLOIDE**

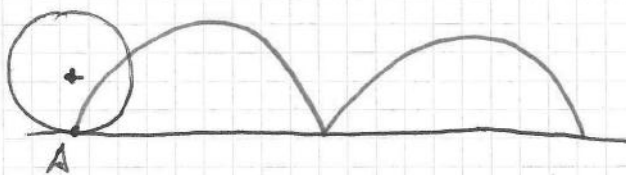
Riprendiamo il discorso della funzione periferica



Non è la stessa cosa lavorare in opposizione e in concordante  
 Vediamo cosa si intende per cicloide.



Immaginiamo di mettere  
 in A un led e vediamo  
 cosa succede al punto A  
 nel disegno delle bici.



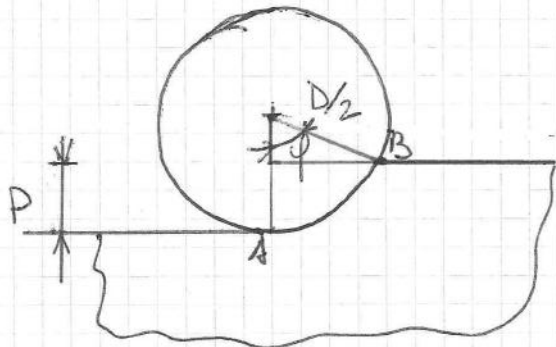
Le linee in rosso  
 indica una cicloide  
 che rappresenta le posizioni  
 progressive di A nel tempo.

Se pensiamo di dare entrambi i moti di taglio e di avanzamento  
 otteniamo <sup>l'utensile</sup>costituito lo stesso tracciato rispetto al petto.

Il tagliante quindi descrive rispetto al petto una **CICLOIDE**, che  
 ha una velocità di avanzamento molto piccola rispetto a quella  
 di taglio. Possiamo approssimare la cicloide come una  
 semicirconferenza.

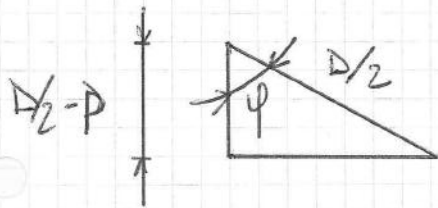
Vediamo come calcoliamo  $\varphi$ : Calcolo di  $\varphi$

$p$  = profondità di penetrazione



Abbiamo detto che l'angolo  $\varphi$  rappresenta l'angolo di contatto tra fresa e petto, cioè l'angolo che forma l'arco di circonferenza che va da A a B.

Facciamo un ingrandimento del triangolo in rosso e vediamo come calcoleremo  $\varphi$ .



$$\frac{D}{2} - p = \frac{D}{2} \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{\frac{D}{2} - p}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2p}{D}$$

Possiamo calcolarci anche un  $h_{med}$  che è pari a:

$$h_{med} \approx \frac{1}{2} h_{max}$$

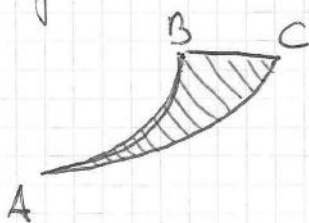
$$h_m \approx \frac{1}{2} h_{max}$$

Dal punto di vista fisico e non tecnologico non cambia nulla dare i moti di avanzamento e di taglio alla fresa. Cioè il moto è sempre lo stesso.

Quindi abbiamo detto che il disegno è fortemente deformato in punto e non è pari al diametro, e quindi è fortemente deformato in outtake.

Nella realtà ovvero che le due traiettorie escano da A.

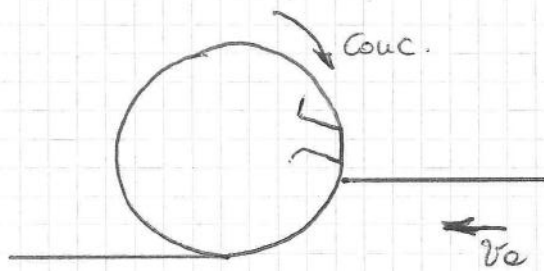
Vediamo che l'area racchiusa tra i e i+1 ha forma di una virgola:



Abbiamo detto che la varia tra zero in A e valore max  $h_{max}$ .

Le due traiettorie indicate in rosso nel disegno di pag precedente sulla due circonferenze dobbiamo immaginarle applicate entrambe nel punto A.

Vediamo ora il caso delle concordate.



Il dento mobile puna il petto e quindi i problemi puna citati non si presentano, ma lo si presentano non appena ci si avvicina ad A, ma sono comunque minimi grazie all'effetto del tagliante, il quale continua a tagliare

Il punto contatto tra  $p_t$  e utensile è in  $h_{max}$  e non c'è problema nella produzione del truciolo.

Lavorando in concordate l'utensile continua a tagliare in modo accettabile con il valore (minimizzare) di  $h$ .

Del punto di vista tecnologico è migliore la lavorazione in concordate, e quindi la fase lavora meglio.

Non è possibile lavorare sempre in concordate, infatti in alcuni casi quando si lavora in concordate in cui vi sono giochi tra cinematico e fase, ~~che~~ tendeva a trascinare il petto modificando le  $e_t$  e quindi facendo un puzzone l'utensile.

In opposizione i giochi non avevano questo effetto, o quindi in questo si preferiva lavorare in opposizione.

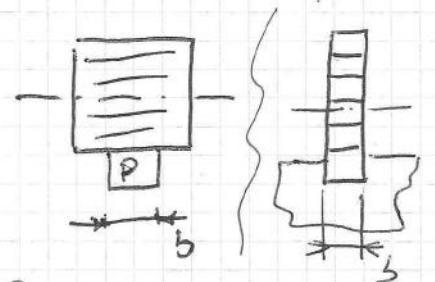
Oggi esistono macchine più precise e senza giochi e quindi lavorano in concordate.

In fase normale per il calcolo delle forze si fa uso del metodo di Kienzle & Victor

$$F_t = K_s A$$

$$K_s = k_s h^{-2}$$

$$A = S \cdot h$$



$b$  è la lunghezza di contatto tra fase e petto

Se facciamo riferimento alle forze conviene usare  $h_{max}$  e se mi interessa la potenza meglio  $h_{med}$ .

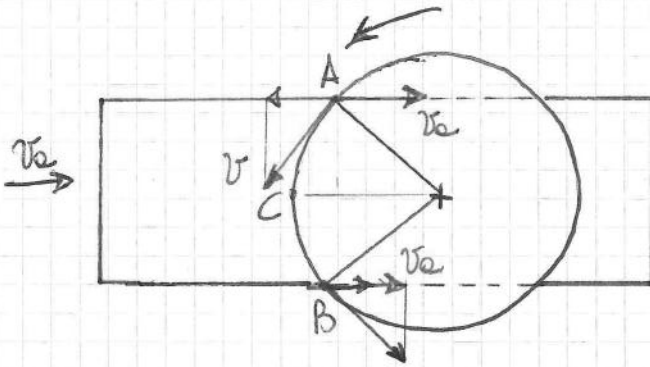
Valori tipici di velocità di taglio e di avanzamento, sono:

$$v \approx 200 \text{ m/min}$$

$$v_e \approx 200 \text{ mm/min}$$



# FRESATURA FRONTALE



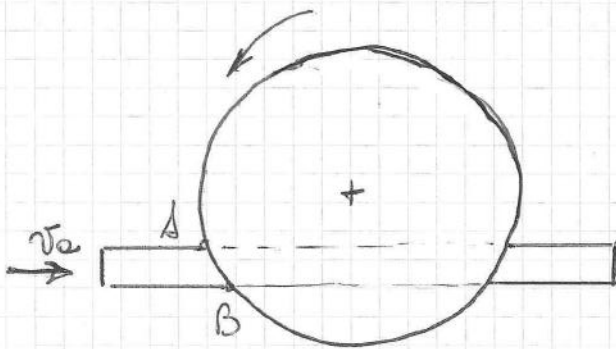
Se i punti A e B vengono considerati come parti del petto si muovono con velocità  $v_0$ , se come punti della fresa si muovono con velocità tangenziale di taglio  $v$ .

Se il punto A lo pensiamo appartenente alla fresa avrà  $v_A$  e invece se lo pensiamo appartenente al petto avrà  $v_0$ .  
Le stesse cose le facciamo con B.

Lungo AC il utensile lavora in opposizione, lungo BC invece lavora in concordanza.

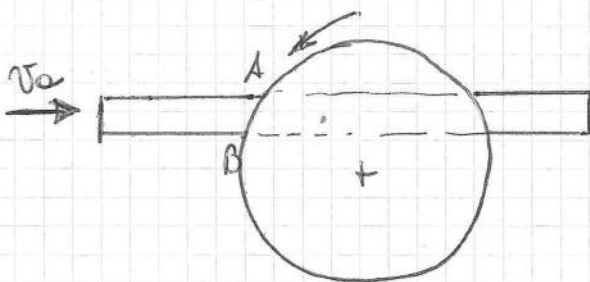
A differenza della fresatura vista prima otteniamo queste due tipologie di movimento.

## SEMPRE IN CONCORDANZA



Se il petto si trova al di sotto dell'asse dell'utensile questa lavorazione sempre in concordanza, perché rispetto alle figure sopra a troviamo nell'arco che va da C a B.

## SEMPRE IN OPPOSIZIONE



Se il petto si trova al di sopra dell'asse della fresa, questa lavorazione sempre in opposizione, in quanto a troviamo nell'arco da A C delle figure sopra.

# RETTIFICATURA

In rettificatura abbiamo e che fare con un utensile chiamato mola

MACCHINA UTENSILE: Rettificatrice

LAVORAZIONE: Rettificazione

La mola è un utensile caratterizzato da geometrie indefinite, costituito da grani di abrasivo, che sono presenti in quantità innumerevoli sulla mola. Non posso pensare di modificare le geometrie dei grani; e la rettificatura richiede più potenza e più volume di materiale asportato dal pezzo.

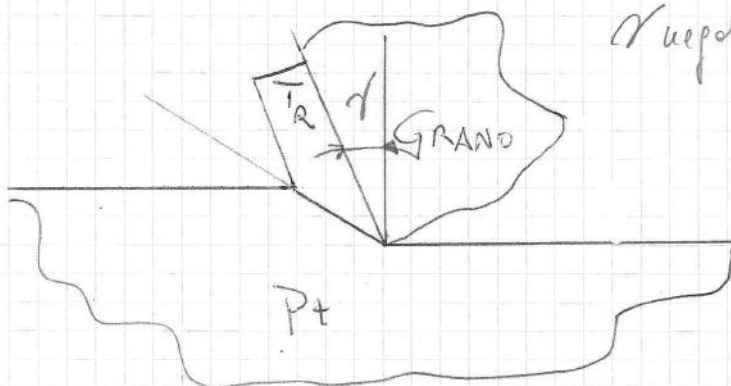
La conseguenza è quindi una macchina potente e pesante per asportare un volume rispetto alle altre lavorazioni.

La rettificatura è quindi una lavorazione che produce molto calore ed è una lavorazione molto più precisa delle altre.

Un pezzo rettificato è un pezzo forato da tornitura e poi rettificato.

Il pezzo se si scorda, dilata e quindi le sue tolleranze vanno o formi peggiorare. In rettificatura si parla di fiume di fluido da taglio proprio perché tale operazione produce molto calore.

La geometria del tagliente è quindi caratterizzata da angoli che non possiamo scegliere noi. La mola è caratterizzata da un numero di taglienti "i grani".



Neppure Non possiamo pensare di modificare le geometrie di ogni grano di abrasivo

La conseguenza della particolare geometria del piano è che lavorare con un angolo di spigole frontali neppure che va bene per materiali fragili, ma non bene per materiali plastici. Non hanno favorevole produzione di truciolo e producono 53



I grani di abrasivo sono più grossi in operazioni di spionatura e più piccoli per operazioni di finitura.

Per quanto riguarda il legante abbiamo anche più diverse soluzioni:

Può essere costituito da argilla, caolino, (altre plastiche) che viene impastato con i grani di abrasivo e colto in forno, facendo così degli stampi pressati. Può essere di diversi tipi: generalmente lo si distingue in retuficato e plastico.

Il legante retuficato è un legante fragile, che produce una mole fragile, che viene montata su macchine utensili particolari.

Se la sua caduta una mole di questo tipo va in pezzi, o può formare cacche che inducono un malfunzionamento dell'utensile stesso.

Quindi bisogna avere molto riguardo nel maneggiare lo mole.

Usiamo retuficato su macchine utensili delicate, e plastico su utensili mormali ad esempio non mettiamo retuficato su utensili mormali.

Vi è anche un legante flessibile che può essere utilizzato su macchine utensili mormali, che possono sopportare urti.

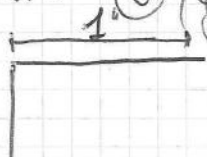
Può essere tale legante formato da fibre, che si adattano ad utensili mormali.

A seconda degli usi possiamo scegliere anche il lubrificante che soddisfa di più il regime di lavorazione effettuato.

Per legge ogni mole porta una etichetta che riporta le caratteristiche solienti delle stesse in più le velocità mormali di lavorazione. (caratteristico parte fondamentale)

Per quanto riguarda le caratteristiche solienti (costitutive) si fa riferimento alle normative ISO. (CODICE ISO)

	① <u>Materiale abrasivo</u>	② <u>Granulometria</u>	③ <u>Durezza</u>
Alundum A (biancastro)		Numero di maglie per pollice lineare	A... 2
Carborundum C (vudastro)		altrove indicato per ultimo	

Il numero ② (granulometria) indica...  
 pollici  ② (granulometria) indica...  
 vedi pag. seguente.

④ Struttura  
 ⑤ Legante

Se sbagliamo durante l'abrasione i seguenti problemi:

Mole troppo morbida => Si consuma prima del dovuto

Mole troppo dura => Si inscolano troppo il petto che può avvenire generando problemi.

Le stesse mole può comportarsi in modo più duro o più tenero in base ai parametri di processo, profondità di lavorazione, velocità.

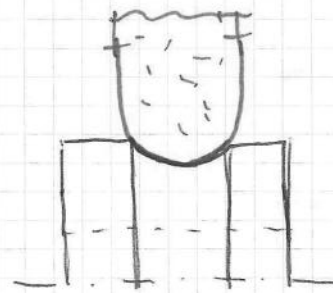
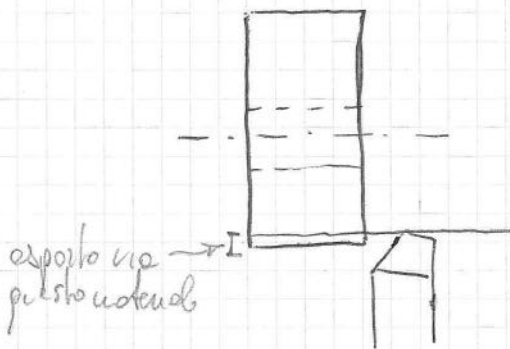
Normalmente le durezze <sup>utilizzate</sup> sono nella parte centrale dell'alfabeto "L"

Se mole troppo dura possiamo procedere alle convetture:

esportato mediante foratura (simile a forature) togliendo una parte di abrasivo dell'utensile

↳ mediante rettificatura <sup>stesse</sup>

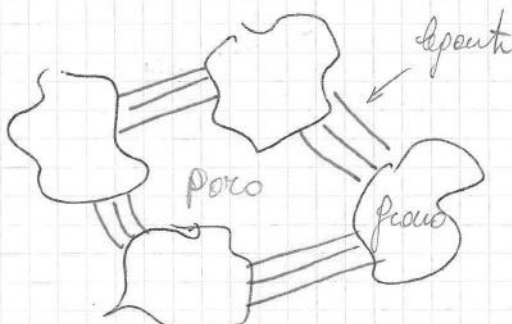
La convettura è indispensabile nel caso di utensili di forma. Pensiamo alle rettifiche sulle piste interne dei cuscinetti.



Anche se la autocconvettura funziona, uso la convettura per stare sicuri che i grani tolgono bene senza inscolare il petto in lavorazione.

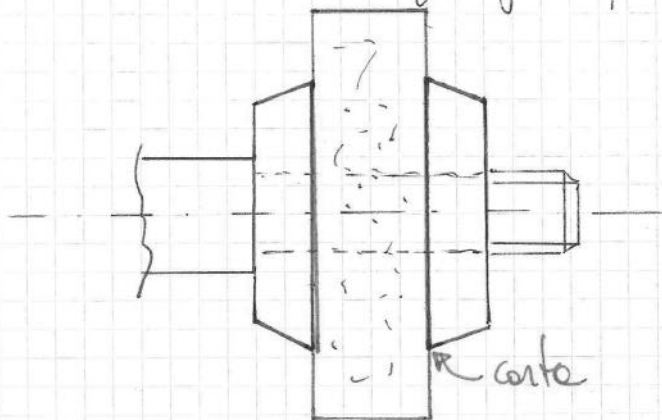
Ripreso quindi la geometria dell'utensile per avere sempre la geometria corretta per la lavorazione.

④ Il punto parametrico ISO è la struttura.



La struttura mi indica il livello di porosità che vi è tra un punto e l'altro.

Per quanto riguarda il montaggio della mole, che deve essere colata su un mandrino con poco, perché non ci devono essere tensioni. La mole deve entrare libera sul mandrino e deve essere smonta con delle flange per il bloccaggio con attrito.



Il serraggio avviene con dolo

Dato che la mole non è un disco perfetto, interpongono le flange e la mole una carta sufficientemente spesse in modo da uniformare le pressioni che provano sulle mole stesse per evitare quindi gli spaccare la mole (perché c'è poco).

La mole monta sicuramente fuori centro, e le sue facce non saranno perfettamente sintonate.

Per verificare l'integrità ho due metodi che sono:  
Prima di montarla devo verificare l'integrità della mole:

- deve dare a battute con utensile su sasso pulito (metodo empirico)
- Con ultrasuoni (metodo scientifico).

Mettiamo la mole in rotazione per qualche minuto, poi fermiamo e sentiamo il dolo, poi rotazione, stop, sentiamo un paio di volte ripetiamo questo procedimento e a questo punto siamo sicuri che per <sup>gli smonta, no poco.</sup> si parte al avviamento della mole, mettendo o spostando il toplice dello stesso.



Il primo materiale utilizzato è l'ACCIAIO AL CARBONIO che possiede un quantitativo di carbonio superiore 1%. A Tambiente è molto duro; però a 200°C, come si vede in figura, crolla. Quindi si può lavorare solo basse velocità di taglio e piccole profondità di taglio.

$$V_a = \text{volume di asportazione} = v \cdot a \cdot p \quad [\text{cm}^3/\text{min}]$$

↳ se  $v$  e  $p$  piccoli il volume asportato poco e ci vorrà molto tempo di lavoro.

Quindi questo materiale viene usato solo ~~spesso~~ nella hoblistica, in industria non si usa più.

Con Taylor e un suo aiutante si è fatto un passo avanti ~~però~~ con la nascita dell'ACCIAIO RAPIDO, che hanno un crollo della durezza intorno ai 400°C.

La composizione di questi è: 18-4-1 acciaio:

~0,8% di carbonio  
18% W (tungsteno)  
4% Cr (cromo)  
1% V (vanadio)

Acciaio C40 è il clamo acciaio da banco, contiene lo 0,4% di carbonio, valore a cui si ha la massima tenacità. Insieme al 3% Ni, Cr, Mo, esaurisce l'80% degli acciai.

Il tungsteno è un acciaio strategico (per uso militare) quindi se ne riduce la quantità per aggiungere il molibdeno.

Il passaggio successivo fu l'aggiunta del cobalto creando gli ACCIAI SUPERRAPIDI, il crollo della durezza si alza fino ai 500°C.

5-6% di Cobalto



Gli acciai rapidi e super rapidi sono molto usati. Naturalmente i super rapidi costano di più, la scelta tra rapidi e super rapidi dipende dalla situazione di lavoro.

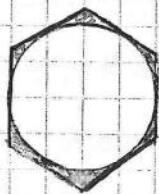
Attorno agli anni 1930 nascono i CARBURIMETALLICI (non sono più metalli). Il primo a nascere è il carburo di tungsteno (WC), c'è anche del cobalto, ma ha delle funzioni accessorie.

Adesso si usa una miscela di carburi:

carburo di tungsteno WC	} miscelando in modo da raggiungere un compromesso tra durezza e resilienza (che uno esclude l'altro).
carburo di titanio TiC	
carburo di tantalio TaC	

Resiliente: capace di un materiale di resistere a forze di tipo impulsivo.

Vogliamo la resilienza quando siamo in sgrossatura perché inzialmente la sezione del pezzo non è precisa e la profondità di passata varia di lunghezza e con essa le forze variano di intensità sollecitando a fatica il pezzo.



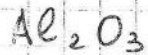
questo esempio mostra come il tornio compie 6 colpi a giro per dare al pezzo una sezione circolare.

In finitura lavoriamo su sezioni regolari allora anche il taglio è regolare, quindi voglio un utensile ingrado di lavorare sotto forti carichi non variabili  $\Rightarrow$  lavoro sulla durezza.

## CERAMICHE

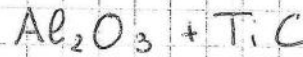
### - OSSIDATE ( $Al_2O_3$ )

+ ceramiche ossidate pure



$Al_2O_3 + ZrO_2$  (ossido di zirconio che riduce la fragilità).

+ ceramiche ossidate miste



carburo metallico non ossidato, per esempio il carburo di titanio

+ ceramiche ossidate <sup>Reinforzate</sup> whisker (baffi di gatto, whisker)

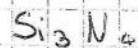


→ aghette aggiunte alle ceramiche (fa parti degli abrasivi tradizionali)

→ sempre più in disuso perché tornano agli operai addetti alla creazione

### - NON OSSIDATE (nitruro di silicio $Si_3N_4$ )

+ ceramiche non ossidate pure



+ ceramica più sialon

$Si_3N_4 + sialon$  → è un composto di ossido di silicio, alluminio e ossigeno ⇒ sialon materiale usato per lavorare la ghisa

+  $Si_3N_4$  più fibre di rinforzo

L'evoluzione successiva alle ceramiche furono il CBN e i diamanti che possono essere mono o poli cristallini.

Monocristallino → superabrasivi delle mole

Policristallino → usato per inserti con ulteriore differenza dagli inserti precedenti

## Legge classica di Taylor

$$v T^n = \text{cost} = C$$

↳  $n, C$  sono ricavate sperimentalmente  
 $n$  dipende essenzialmente, ma non solo, dal materiale dell' utensile.

$\sim 0,125$  per acciai rapidi e supersapidi

$\sim 0,25$  per carburi metallici

$\sim 0,6$  per ceramici.

$C$  dipende da troppe variabili per dare dei valori anche approssimativi.

$v$  = velocità di taglio

$T$  = durata in minuti

## Legge generalizzata di Taylor

$$v T^n a^m p^r = C^*$$

↳ profondità di passata  
 ↳ avanzamento  
 ↳ velocità di taglio

Se  $a$  e  $p$  sono costanti ritorniamo alla legge classica di Taylor

$v, a, p$  → pesano sul tempo in modo diverso

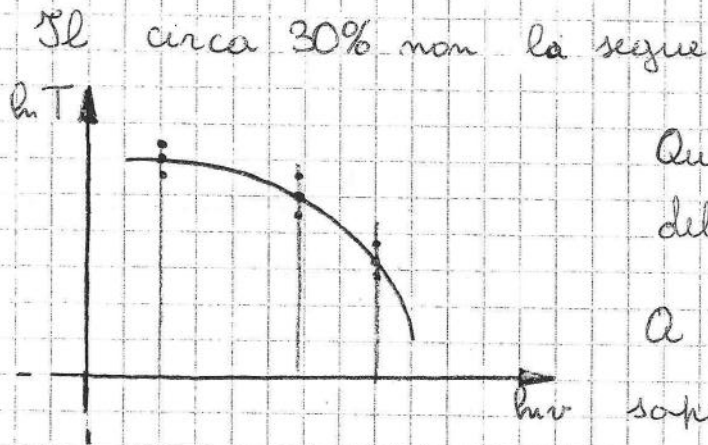
•  $v$  è quella che influenza di più la durata

•  $p$  è quella che influenza di meno

Se vuoi aumentare la velocità di asportazione è meglio aumentare  $p$  perché influenza di meno sulla durata dell' utensile.

$V_a$  = volume asportato =  $v \cdot a \cdot p$  [cm<sup>3</sup>/min]  
 ↳ meglio lavorare su esso.





Questo è il tipico andamento della coppia non tayloriana

A priori non possiamo sapere se segue o no Taylor

Non basta più fare una prova con 2 velocità per sapere se è o non è tayloriano, per questo bisogna studiare una 3<sup>a</sup> velocità e vedere se appartiene alla retta. Quindi servono 3 prove.

Nel 30% dei materiali (ossia i non tayloriani) si possono usare 2 formule

Kronenberg

$$(v + k) T^m = C$$

termine che da la curvatura, infatti se  $k=0$  riotteniamo Taylor

Köning De pieroux

$$T = e^{-\alpha v^x - \beta \theta^y - \gamma}$$

non è presente  $p$  ma tanto è il meno influente

$\alpha, \beta, \gamma, x, y$  sono variabili sperimentali

Per tracciare questo grafico serve una terna logaritmica

Köning - De pieroux

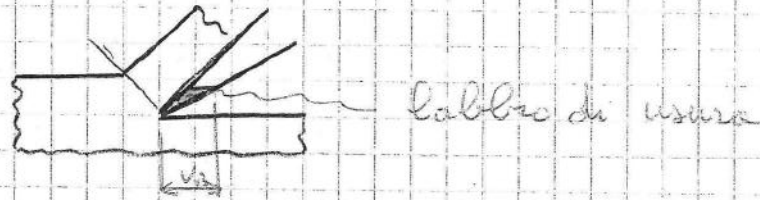
$$T = e^{-\alpha v^x - \beta \theta^y - \gamma}$$



## Forme di usura

Per i carburi;

- l'abrasione porta alla formazione del LABBRO DI USURA



- per l'adesione si forma una concavità che prende il nome di CRATERE



- la diffusione non è visibile perché favorisce i due aspetti descritti precedentemente

In genere sono fissati dei valori limite di  $V_B$  e  $K_T$  sotto i quali l'utensile viene buttato, non si affiletta perché sono insiti in carburi

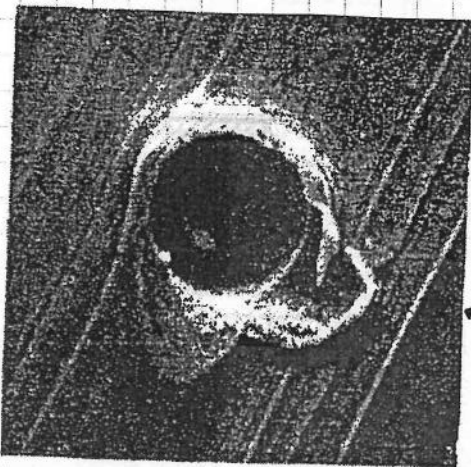
Non si sa se lavorerà più un fenomeno o più l'altro quindi bisogna osservare entrambi i fenomeni. Si è visto che:

- tornitura è un processo caldo  $\rightarrow$  favorisce entrambi i fenomeni
- fresatura è un processo freddo e favorisce il labbro di usura.

## ELETTROEROSIONE

Tutti i processi di asportazione di truciolo studiati fino ad adesso richiedevano sempre un contatto fisico tra pezzo e utensile e prendono il nome di PROCESSI TRADIZIONALE.

Vi sono anche dei metodi non tradizionali, uno di questi è l'elettroerosione o E.D.M. (electrical discharge machining) questa asportazione è dovuta a scariche elettriche che asportano truciolo, quindi non c'è contatto.



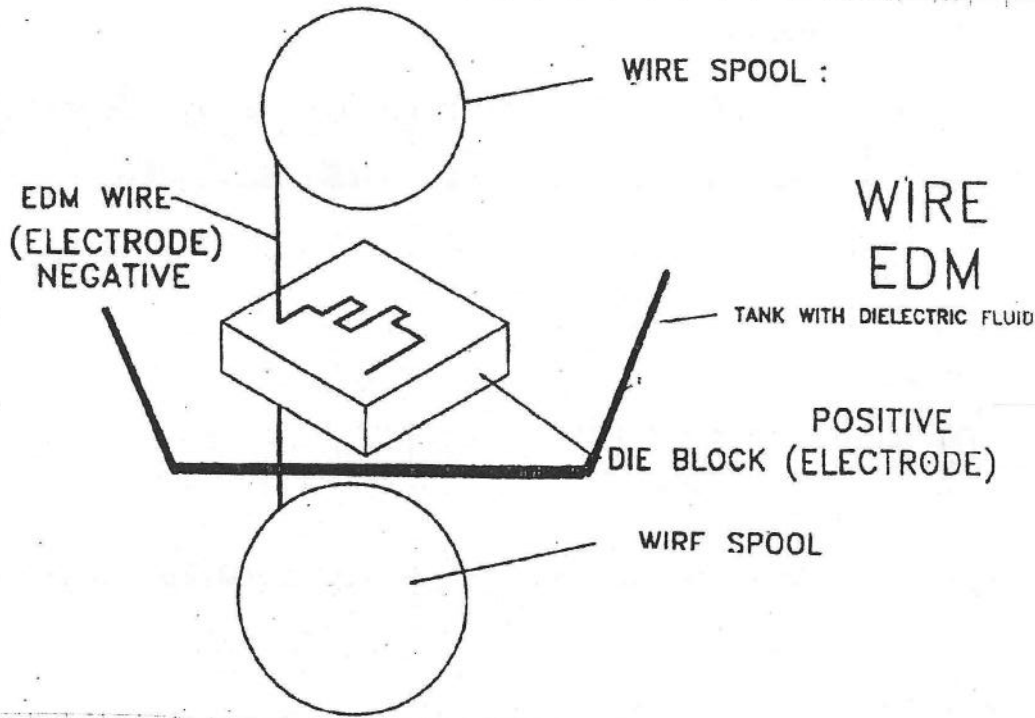
c)  $5 \mu\text{m}$

Si può vedere il cratere prodotto da una scarica elettrica, come si vede è molto piccola ma questo si usano migliaia di scariche elettriche.

Questo processo nasce negli anni '40 nell'URSS per il recupero di utensili rotti dentro il pezzo (tipico l'utensile si rompe durante la maschiatura); come è ben noto l'utensile è molto duro e non sarebbe togliabile con i metodi tradizionali; con l'elettroerosione si è reso possibile rompere l'utensile, perché le scariche elettriche non risentono della durezza del materiale.

Un secondo lato <sup>positivo</sup> possibile è che l'elettroerosione usa utensili di forma, ossia sono il negativo del foro che voglio ottenere, come si vede in figura





### Elettroerosione a tutto

La scarica elettrica deve avvenire in un ambiente dielettrico ossia conducibilità elettrica molto bassa che permetta la scarica solo in una zona molto piccola dell'oggetto e del pezzo. Si è visto che i più comodi sono i liquidi, il più usato è il cherosene.

Se l'ambiente è dielettrico l'aria si riduce molto e anche se l'energia della scarica è piccola l'energia aerea è molto elevata.

$$E_a = \text{energia aerea} = \frac{\text{Energia della scarica}}{\text{area dove avviene la scarica}} = \frac{E_s}{A}$$

Quindi l'energia aerea deve essere molto grande se il <sup>nel caso di dielettrico</sup> (corpo) è poco conduttore perché fa convergere la scarica in una piccola superficie.

La scarica avviene dentro il cherosene in modo che non ci sia ossigeno che generi uno scoppio.



e) La seconda scarica non avviene più nello stesso punto perché il volume delle <sup>particelle</sup> sospese più vicine sono state esportate, di conseguenza i punti più vicini sono altri nuovi punti. Se ne deduce che l'esportazione è molto uniforme.

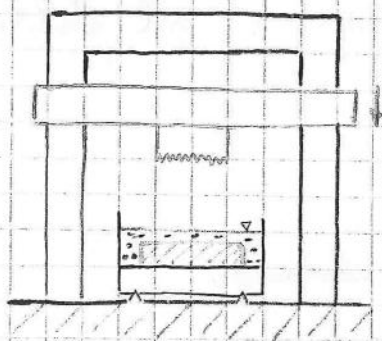
Anche l'utensile si consuma, ma scegliendo con cura il materiale dell'utensile e la polarità (+o-) portiamo <sup>ad</sup> ~~causa~~ una esportazione asimmetrica, si cerca di raggiungere il 99% esportato dal oggetto e 1% esportato dall'utensile. Il gap è qualche  $10^{-2}$  di mm in spessore. A questo di un  $10^{-4}$  di mm di spessore.

Caratteristica della macchina che lavora per elettroerosione

### MORFOLOGIA DELLA MACCHINA

Per piccoli oggetti la macchina ha una forma simile alla fresatrice verticale a banco fisso, ha una testa che si muove lungo x, y con un punto che è un elettrodo. Sul banco c'è una vasca con dentro il pezzo immerso nel dielettrico.

La macchina di grande taglio si ispira alla pressa meccanica a portale.



Trave

Pezzo

Siccome lavoriamo su grandi dimensioni e sopra c'è la traversa, non possiamo prendere

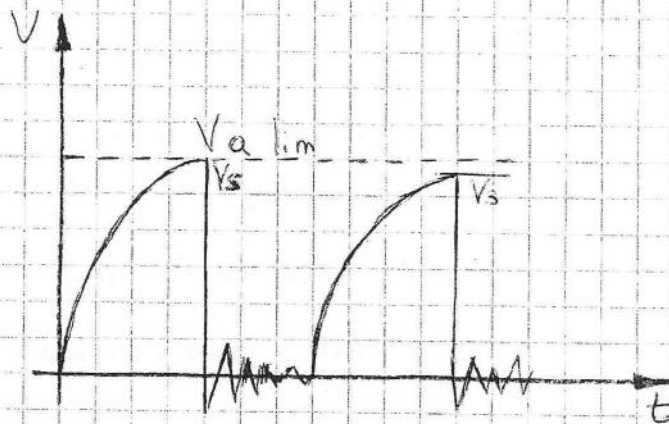
direttamente il pezzo con una gru, quindi il pezzo è posizionato su una tavola che si muove +



Con R. gestiamo energia e frequenza delle scariche, infatti la resistenza è regolabile.

6-6-11

Se tracciamo il grafico dell'andamento delle tensioni:



La formula dell'energia della scarica è:

$$E_s = \frac{1}{2} c V_s^2$$

$$V_s \approx 80 \text{ Volt}$$

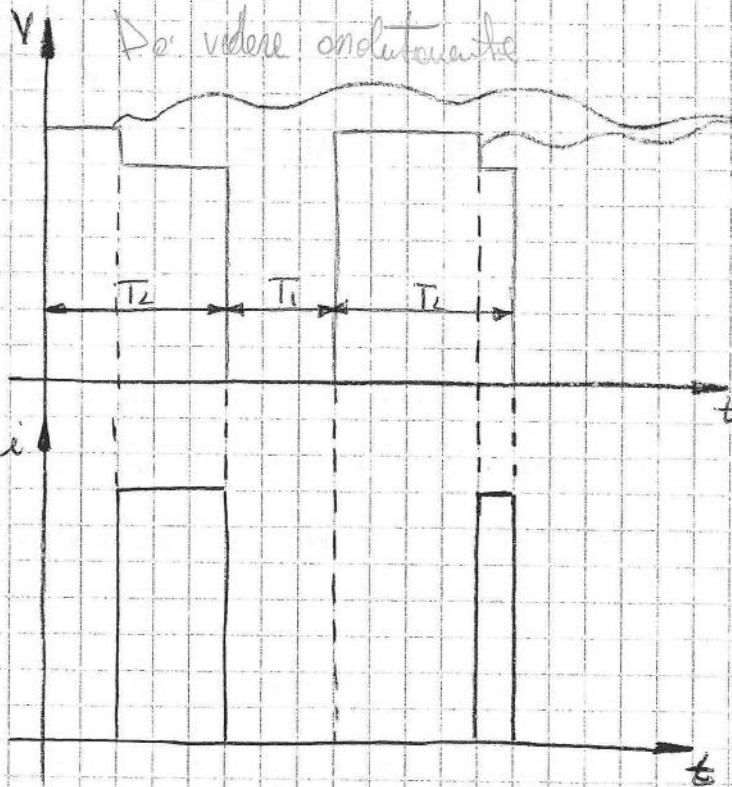
$V_s$  non è costante, è un fattore probabilistico, influenzando sul energia in modo quadratico anche le piccole oscillazioni hanno una grande influenza.

Oltre al problema probabilistico c'è un secondo problema dovuto alle emissioni di polarità nella fase oscillatoria, questo causa una velocizzazione della fase di usura dell'atomo nasce perché il circuito di scarica è munito di un induttore e di una capacità, che è il tipico circuito oscillante.

È non è un induttore specifica, è designata per comodità come un induttore concentrato, ma è l'induttanza data dalla imperfezione dei fili elettrici.

Se vogliamo aumentare la velocità di asportazione possiamo aumentare l'energia della scarica o la frequenza o entrambe. Tutto questo è fattibile sul circuito fino a un certo punto sopra il quale si forma un arco elettrico e quindi nasce l'ero gli errori già descritti.

Sul diagramma della tensione e corrente.



il ritardo dell'inizio della scarica è dovuto al fatto che prima deve formarsi un canale ionico  $\rightarrow$  la durata varia da troppe condizioni per prevederla.

Quando la corrente può circolare avviene lo scarico di energia e quindi anche  $V$ .

Per risolvere il problema della sconosciuta durata della scarica si è evoluto il circuito del generatore a scarica comandata con l'aggiunta di un trasduttore di tensione che sente la caduta di tensione mandando il segnale a  $T_2$  al posto di quello che avviene da  $T_1$ , in questo modo  $T_2$  incomincia a contare nel momento della scarica.

Il generatore a scarica di condensatore è particolarmente adatto a lavorazioni leggere di finitura.

Il generatore a scariche comandate va bene per lavorazioni a grosse emugie più spessatura anche lavora male in finitura.

La formula che regola lo storratore

$$p_0 - p_1 = \Delta p = RQ$$

Il  $\Delta p$  deve essere tale che la portata voluta  
 non nulla se  $F$  è costante  
 ↳ caratteristica dello storratore che  
 suppone una costante  
 Caso di storratore  
 fuso.

Se il gap tra utensile e pezzo è quello che vogliamo, quindi vogliamo che lo stantuffo sia fuso, allora per equilibrare le forze in gioco

$$p_0 S_0 = p_1 S_1 \quad \text{se } S_1 = 2S_0$$

$$p_1 = p_0 \frac{S_0}{S_1} = \frac{1}{2} p_0 \quad \text{condizione di stop}$$

per ottenerlo regolo  $S$  in modo che dia la  $Q$  voluta

Dopo un po' l'asportazione fa aumentare il gap che quindi si vuole far scendere l'utensile, allora

$p_1 > \frac{1}{2} p_0 \Rightarrow$  deve ridurre il  $\Delta p$  diminuendo la portata chiudendo un po' la valvola differenziale  
 Chiudo la VP e lavoro a regolatore meno portato

ELETTROVALVOLA NON È MAI CHIUSA ALTRIMENTI  $p_1 = p_0$

Se elettrodo è sceso troppo  $p_1 < \frac{1}{2} p_0$  aumentando la portata o sia aprendo la valvola.

Per misurare il gap, che va dal decimo di millimetro in finitura al centesimo di millimetro in sgrossatura, non si può usare un metodo diretto contando anche che l'utensile va a immergersi nel pezzo.

Per misurare la distanza si usa un metodo indiretto ossia volutare se la tensione si alza, se questo si alza significa che il gap è aumentato o in corsa.

Quindi si impone una tensione di riferimento che al di sopra di questa l'utensile si abbassa.



## DISPOSITIVI ACCESSORI

- Circuito del dielettrico: dentro il dielettrico si formano le sfere che sono conduttrici e sono un fattore di disturbo, il circuito del dielettrico filtra il dielettrico togliendo queste impurità. Ha anche il secondo scopo di raffreddare il dielettrico in quanto da caldo lavora male e si rischia che prenda fuoco
- Arresto in profondità semi per fori ciechi
- Cambio elettrodo automatico, essendo utensili di forma se ho più fori di dimensioni diversi è utile poterli cambiare senza doverli smontare manualmente
- Per fori profondi mentre l'utensile scende vibra anche dando un effetto come una pompa risucchiando dalla zona di taglio le sfere e le impurità della zona di lavoro.
- Sensori di livello che mantengono il dielettrico sempre alla stessa altezza in modo che non si lavora a contatto con l'ossigeno che causerebbe esplosioni



## DIELETTRICO

- Deve avere buona viscosità per circolare nel gap. (Distanza tra elettrodo e petto)
- Deve costare poco.
- Non deve essere aggressivo né all'uomo né all'ambiente
- Non deve essere aggressivo né al petto né all'utensile
- Soprattutto deve essere un materiale dielettrico.
- Normalmente come materiale dielettrico si utilizza il cherosene.

Il cherosene soddisfa tutte queste proprietà, e quindi normalmente si utilizza questo che è l'ideale, però non è una soluzione ideale in quanto vi sono problemi di impatto ambientale.

- L'operatore dovrebbe lavorare con i guanti, per evitare che tale utenze abbia problemi di corrosione, scioglimento del petto con scottate e usture.
- Necessità di aspirare i fumi di lavorazione, e quindi cappe di aspirazione.

Questo materiale con il passare del tempo si usura e deve essere opportunamente smaltito e sostituito da altro cherosene.

Per l'utensile di tale lavorazione si utilizza come elettrolitico e la profite, ma può essere utilizzato qualsiasi altro materiale.

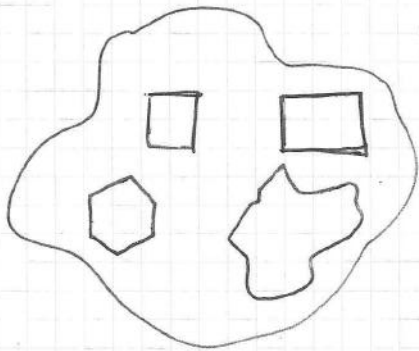
- Perché questi due materiali? Da vedere
- L'utensile è un utensile di forma, quindi deve poter essere lavorato deve essere abbastanza duttile e plastico.
- La profite però non è plastica, ma fragile e quindi non forma truciolo, con rischio di incendio durante la lavorazione, perché è costituita da carbonio.

Per quanto riguarda la tecnologia si utilizza un diodiogramma doppio logaritmico, tra energia della scossa e il volume e scavo nel crateri.

- Quando siamo in funzione abbiamo bisogno di una buona tenuta, e quindi utilizziamo piccole energie di scossa, invece in spossatura, utilizziamo grandi energie, per spostare il maggior materiale possibile

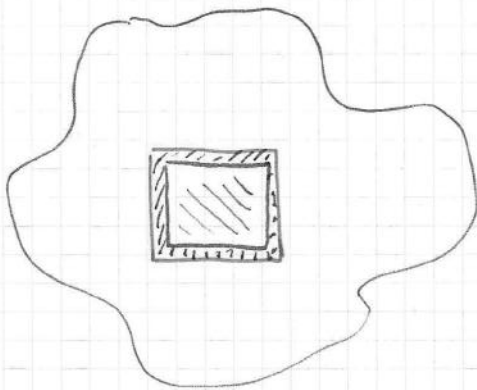
## ELETTROEROSIONE A FILO

L'utensile in questa lavorazione è il filo, che mi fa scovare fori di diverse geometrie.



Per realizzare queste forme ho bisogno di un solo utensile

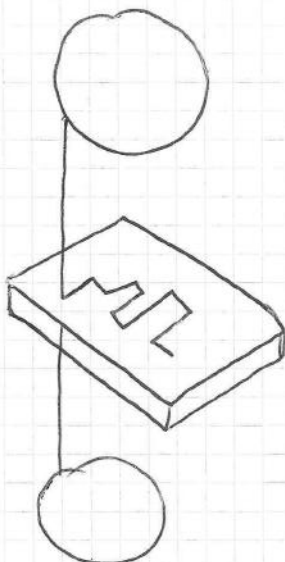
Per realizzare un foro vero e scovare nel seguente modo:



Taglio solo il bordo ed estraggo il nucleo senza distruggere tutto il materiale

Con tale elettroerosione non sono in grado di fare tagli ciechi, ma posso fare solo fori passanti.

Normalmente abbiamo il pezzo che si muove lungo il piano ortogonale al filo



Il filo lo facciamo scorrere con una velocità di scorrimento modesta in quanto presto si usura.

- La velocità di scorrimento è di 10 m/min (V.S. Velocità scorrimento)
- Se V.S. molto lenta => rottura del filo
  - Se V.S. molto elevata => consumo materiale filo.

# TAGLIO CON GETTO D'ACQUA (JET CUTTING)

È un processo con asportazione di materiale <sup>che utilizza</sup> un getto di acqua ad altissime pressioni (4000 bar)

## VANTAGGI

Nessuna alterazione termica (taglio freddo)

Nessuna deformazione meccanica

Nessuna formazione di bavature (il getto sprete il materiale)

Trasparenza di taglio anche complessa (pilottaggio il diverso taglio del getto con diversi p.d.l.)

Ridotte usure dell'« utensile » (acqua e proiettili di ossigeno)

Abbiamo solo dei problemi di durata e di tenuta di permeazione, e abbiamo anche problemi di rumore della lavorazione. È tutto sommato una lavorazione molto interessante, in quanto mette in gioco forze relativamente piccole.

## SVANTAGGI.

Nessuno (forse solo la creazione di rumore e produzione di cuffie durante tale lavorazione)

## APPLICAZIONI

AUTO (plastiche, compositi)

AEROSPAZIALE (compositi; Al, Ti)

ELETTRONICA (circuiti stampati)

ATTRETTI SPORTIVI (coschi)

PNEUMATICI (TV e V) (certificazioni)

ALIMENTARE (senza l'ultimo di ossigeno in questo caso)

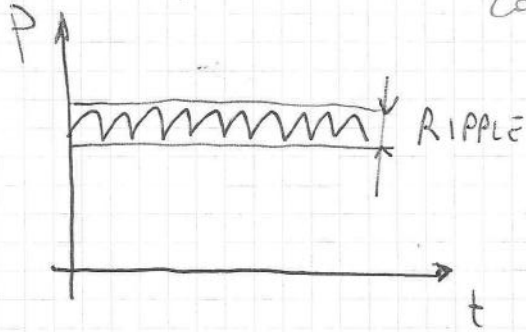
CARTA

LEGNO

PELLAME



L'ondamento delle pressioni dopo l'interfaccia non è costante ma è del tipo:



Con lo smorzatore riduciamo il ripple al 5%  
A rendere costante più o meno la pressione a parte lo shock otturatore.

Il getto d'acqua è circa 1000 m/s toglie il petto, in modo passante. Dopo aver attraversato il petto l'acqua è più di il getto possiede la metà dell'energia che va dissipata.

In caso di acqua basta una vasca, che mediante la presenza di acqua si ha dissipazione con formazione di molte turbolenze.

Quando è presente anche abrasivo, in tali vasche si mettono anche delle sfere che vengono lavorate per aspirazione di materiale.

L'acqua della vasca di solito si butta e si ricambia con acqua pulita de acqua dolce, oppure si può utilizzare acqua di riciclo opportunamente filtrata.

L'abrasivo non viene mai riutilizzato e lo buttano.

Le scorie del materiale tagliato non ci servono e lo buttano.

Distinguiamo grosso modo tre zone nel getto:

→  $\phi$  ugello è pari a circa  $1/10$  di mm.

1. la zona 1 è circa 160 volte il  $\phi$  dell'ugello

2. la zona 2 è una zona un po' più allargata e la ~~pressione sta via via scendendo~~ <sup>in questo il petto sta rallentando</sup>

3. la zona 3: il getto sta sfiorando e non è più utile al taglio.

La zona utile per il taglio è la zona 1 e quindi bisogna mantenere il petto al di sotto di 160 volte il  $\phi$  dell'ugello.

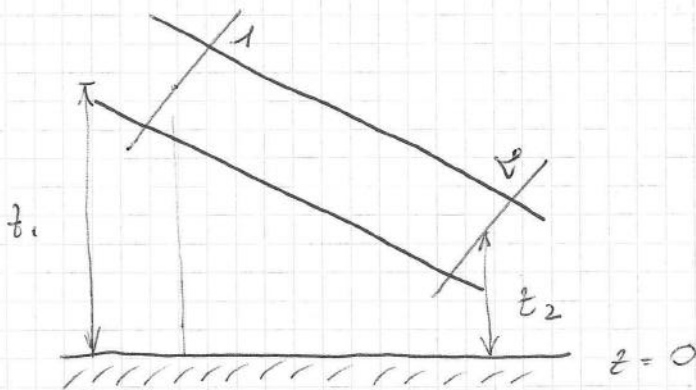
Analizziamo i costi:

- |                                |    |  |
|--------------------------------|----|--|
| 1. H <sub>2</sub> O            | 1  | } Valori simbolici di costo relativi alle diverse lavorazioni, è importante vedere le proporzioni. |
| 2. H <sub>2</sub> O + Polyox   | 2  |  |
| 3. H <sub>2</sub> O + Abrasivo | 10 |  |

Il polyox è efficace solo con acqua pura, senza abrasivo. Con H<sub>2</sub>O più abrasivo si può tagliare anche metalli.

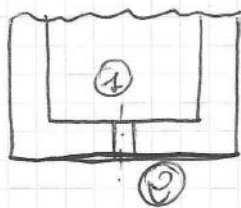
### CALCOLO DELLA VELOCITÀ

Si utilizza il teorema di Bernoulli.



$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{cost}$$

Applicando Bernoulli al nostro caso otteniamo il seguente risultato



$$\cancel{z_1} + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \cancel{z_2} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$z_1 = z_2$$

$$p_2 = \text{trascurabile}$$

$$v_1 = \text{trascurabile}$$

Quindi ricavandolo otteniamo:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{p_1 \frac{2g}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2g p_1}{\rho g}}$$

Velocità teorica

Calcoliamo ~~da~~ la potenza spesa in [kW]

$$P = \frac{p \cdot Q_v}{600} \quad [kW] \rightarrow \text{POTENZA IDRAULICA DEL GETTO}$$

Calcoliamo tale potenza sapendo che

$$P_m = ?$$

$$D = 2,9 \text{ mm}$$

$$v = 1000 \text{ m/s}$$

$$\eta \approx 0,5$$

$$P [kW] = \frac{p [bar] \cdot Q_v [l/min]}{600} = [kW]$$

$$\frac{N}{m^2} \cdot 10^5 \cdot \frac{m^3}{min} \cdot 10^{-3} = 10^2 \cdot \frac{N}{m^2} \cdot \frac{(m^3)}{60(s)} \cdot \frac{1}{1000} =$$

transform in [kW]