

## La foratura profonda

L'esecuzione dei fori profondi, cioè quelli con lunghezza superiore a 5 volte il diametro, presenta delle difficoltà che non permettono l'uso delle normali punte.

Le maggiori difficoltà che si incontrano possono essere riassunte in:

- *La refrigerazione*
- *Lo scarico dei trucioli*
- *L'assialità dei fori*

Negli ultimi decenni si sono compiuti enormi progressi nel campo della foratura profonda, soprattutto per quanto riguarda il materiale usato per la costruzione degli utensili e per la tecnica della loro progettazione e realizzazione.

In primo luogo c'è da dire che l'adozione dei carburi sinterizzati (carbide) ha permesso di aumentare in maniera esponenziale la velocità di foratura, ma anche lo studio sistematico della formazione del truciolo, la sua evacuazione e la razionale lubro-refrigerazione, ha consentito un enorme miglioramento dell'efficienza dell'operazione di foratura profonda.

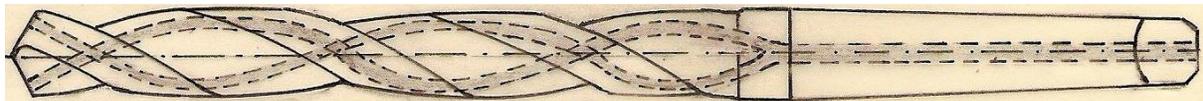
A questo si aggiunge la pratica estesa quasi al 100% delle applicazioni della ricopertura con TiN, TiAlN, TiCN o altri più sofisticati film.

La vecchia punta elicoidale in acciaio ritorto, con fori di lubrificazione, come appare nella figura N°1, esiste ancora, ma viene sempre più sostituita con punte in metallo duro, con punte che hanno la placchetta in metallo duro staffata meccanicamente, con punte aventi 4 taglienti ed affilature molto elaborate, con punte che hanno i fori di lubrificazione interni ma con getti indirizzati in direzione predefinite per facilitare al massimo l'evacuazione dei trucioli.

Esaminiamo ora brevemente i principali elementi che caratterizzano la foratura profonda.

### La refrigerazione

La refrigerazione è sempre forzata e viene ottenuta portando il refrigerante sui taglienti attraverso tutta la lunghezza della punta elicoidale.



**Figura N°1-** Schema di punta con fori di refrigerazione

Ciò è possibile eseguendo sulla punta in acciaio due fori che partono dal codolo e arrivano sui taglienti. Questi fori evidentemente sono eseguiti prima che la punta sia ritorta.

Naturalmente la struttura di tutta la punta viene indebolita e quindi il nucleo dovrà essere un po' maggiorato.

Il diametro dei fori dipende evidentemente dal diametro della punta. Come esempio si possono avere i seguenti valori:

Diametro punta (mm)	20	15	10	5
Diametro fori (mm)	2,2	1,7	1,5	1

Lo stesso risultato può essere ottenuto eseguendo sul dorso dei taglienti due gole supplementari sulle quali vengono applicati due tubetti, generalmente di rame.

Questa soluzione però non è del tutto sicura, in quanto durante la foratura, per effetto dei trucioli, i tubetti si deformano o si staccano dal corpo della punta causando forti attriti e, spesse volte, la rottura della punta.

Il liquido refrigerante viene immesso sotto pressione, per cui oltre ad un effetto refrigerante, si determina un flusso di ritorno che facilita l'evacuazione dei trucioli.

Ma quale liquido usare? Olio emulsionato oppure olio da taglio?

L'impiego di olio emulsionato permette di avere un maggiore volume di liquido nella zona di lavoro a parità di pressione, o in altre parole, per avere lo stesso volume di refrigerante, con l'olio bisogna avere una pressione maggiore di circa il 50%.

Non c'è dubbio che con l'olio intero il rendimento della punta è maggiore, anche del 100%, ma ci sono vantaggi e svantaggi. In breve:

- *Recentemente sono apparsi sul mercato oli interi biodegradabili il cui costo di smaltimento è minore rispetto a quelli degli oli solubili.*
- *Le parti meccaniche della macchina sono più protette con l'olio intero.*
- *L'uso dell'olio intero però richiede macchine che impediscano l'inquinamento da fumo, vapori, ecc. cioè, macchine più "chiuse".*
- *L'impiego di olio intero procura qualche rischio di incendio e quindi devono essere previsti adeguati sistemi di allarme e di spegnimento.*
- *L'olio intero ha un minore effetto refrigerante e, come si è detto, richiede una maggior pressione per avere lo stesso volume sul pezzo.*

La pressione del liquido refrigerante che viene spinto attraverso i condotti interni dipende dal diametro della punta ed il bilanciamento tra pressione e volume del liquido determina la bontà della refrigerazione. Come esempio si riportano alcuni dati nella tabella seguente:

<i>Diametro punta</i>	<i>Efficienza</i>	<i>Pressione (bar)</i>	<i>Volume (l/min)</i>
5 mm	<i>Ottima</i>	60	7
	<i>Buona</i>	38	5
	<i>Appena sufficiente</i>	22	3
10 mm	<i>Ottima</i>	52	12
	<i>Buona</i>	30	8
	<i>Appena sufficiente</i>	15	6
15 mm	<i>Ottima</i>	42	17
	<i>Buona</i>	21	14
	<i>Appena sufficiente</i>	8	8
20 mm	<i>Ottima</i>	38	20
	<i>Buona</i>	18	15
	<i>Appena sufficiente</i>	5	8

La refrigerazione viene facilitata anche con l'adozione delle cosiddette *punte a cannone*, che sono punte ad u solo tagliente, con una sola scanalatura dritta.

Le punte a cannone attualmente, oltre ad un certo diametro vengono costruite con piastrine in Metallo Duro fissate meccanicamente sullo stelo o per diametri sotto un certo limite, esempio 10 mm, con la punta in metallo duro saldata direttamente sullo stelo in acciaio..

Poiché per le grandi produzioni si usano esclusivamente punte elicoidali o punte a cannone in Metallo Duro, bisogna spendere qualche parola per parlare delle caratteristiche di questo materiale impiegato in foratura.

Tra i gradi di Metallo duro esistenti, quelli usati nella foratura normale e profonda sono solo quelli dei gruppi K e P.

Gruppo K: è principalmente costituito da carburi di tungsteno immersi in una matrice legante di cobalto. Hanno una durezza e tenacità superiore ai carburi sinterizzati del gruppo P, ma resistono meno al calore, la formazione del tagliente di riporto è più facile e sono più soggetti all'usura per craterizzazione.

Tuttavia tutti questi "difetti" son o al giorno d'oggi facilmente compensabili con un opportuno ricoprimento.

Gruppo P: E' stato sviluppato originariamente per lavorare acciaio. A differenza del gruppo K è formato da un mix di carburi che conferiscono al Metallo Duro una maggiore resistenza all'ossidazione alle alte temperature. I carburi usati normalmente, oltre al carburo di tungsteno (WC), sono il carburo di titanio (TiC), il carburo di tantalio (TaC) ed il carburo di niobio (NbC). Può essere usato senza ricoperture e questo è un grande vantaggio.

I carburi sinterizzati sono soggetti a frequenti scheggiature. La tendenza oggi è quella di usare carburi con micrograna, cioè con dimensioni dei grani di carburi molto piccole.

L'adozione della micrograna può elevare il rendimento delle punte anche del 50%.

Purtroppo ciò è possibile solo con i carburi del gruppo K.

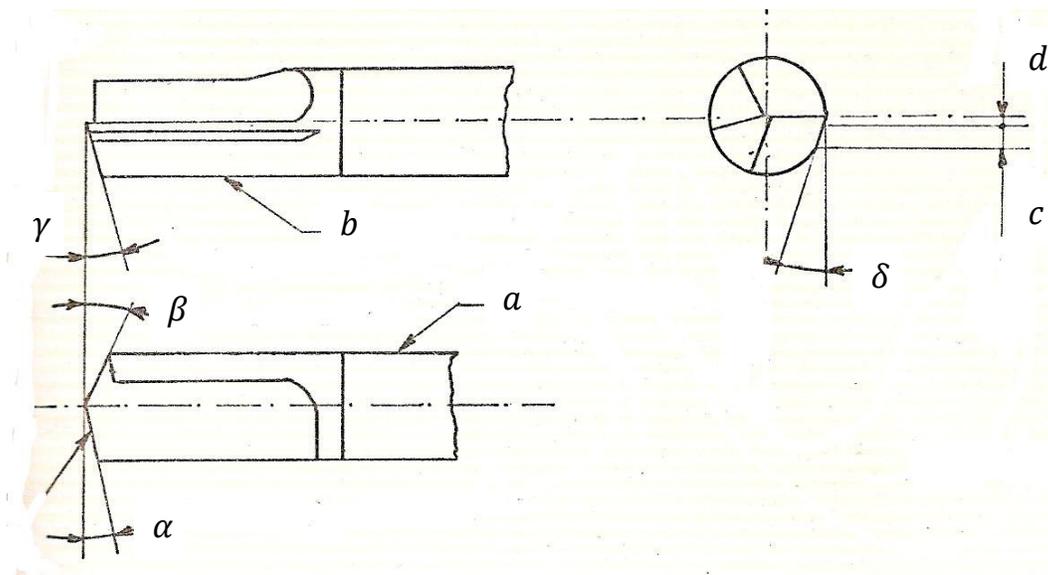
Le dimensioni dei grani sono le seguenti:

- Grani di dimensioni normali: < 2,5 micrometri
- Grani di dimensione piccola: < 1,5 micrometri
- Micro grani: < 0,7 micrometri
- Ultra micro grani: < 0,5 micrometri
- Nano grani < 0,1 micrometri

Nel gruppo P la minima dimensione del grano attualmente è di 1,5 micrometri.

Tuttavia oggi la maggior parte delle punte è costruita P40 a motivo della sua alta resistenza alle alte temperature, alla sua alta tenacità e quindi resistenza alle scheggiature. In alcune applicazioni, dove non è richiesta la ricopertura si usano i gradi del gruppo K.

Per maggiori informazioni sulle caratteristiche dei carburi sinterizzati si rimanda alla sezione "materiali e trattamenti" del presente sito.



**Fig. N°2-** Schema di punta a cannone

$\alpha$  = Angolo del tagliente

$\beta$  = Angolo di scarico

$\gamma$  = Angolo di spoglia di testa

$\delta$  = Spoglia sul fianco

$a$  = Gambo cilindrico in acciaio

$b$  = Corpo cilindrico in Metallo Duro

$c$  = Tratto spogliato

$d$  = Tratto cilindrico

Sul tagliente delle punte a cannone si possono praticare degli intagli che frammentano i trucioli.

L'avanzamento deve essere molto limitato (0,01 – 0,05 mm/giro) appunto per avere trucioli piccoli e facilmente asportabili. Estrarre trucioli lunghi e rigidi da un foro profondo può essere un grande problema..

D'altra parte la velocità di taglio nelle punte a cannone può essere del 50% più elevata che nella foratura normale.

In sintesi i vantaggi che offrono le punte a cannone sono:

- *Producono fori perfettamente rettilinei con bassi errori di assialità.*
- *Sono rigide e quindi non vibrano facilmente.*
- *L'affilatura non è simmetrica, quindi sono evitati gli errori relativi.*

Ma in complesso le punte a cannone sono utensili che non hanno un rendimento elevato ed il loro impiego è meglio sia limitato ai casi in cui ogni altro utensile abbia dato cattivi risultati.

### Lo scarico dei trucioli

Molti fattori influiscono sulla formazione del truciolo, ma i più importanti sono la duttilità del materiale da lavorare e lo spessore del truciolo, che a sua volta dipende dall'avanzamento.

Contrariamente alla convinzione comune, un truciolo lungo non è affatto conveniente perché tende ad attorcigliarsi ostruendo le scanalature elicoidali e strisciando sulle pareti del foro.

Forando un materiale poco duttile il truciolo si rompe facilmente se sono adottati gli angoli di taglio prescritti.

Il metodo più in uso per rompere il truciolo è quello di diminuire l'angolo di taglio, o attraverso la diminuzione dell'angolo di spoglia dorsale o attraverso la modifica di un piccolo tratto iniziale dell'elica, in prossimità del tagliente, diminuendone l'angolo.

Lo scarico del truciolo nella foratura profonda può essere facilitato in vari modi.

Prima di tutto l'angolo dell'elica è meglio che sia maggiore del solito, per avere una più energica azione di convogliamento verso l'esterno.

Per le produzioni di grandi vengono costruite delle macchine con cicli di foratura che prevedono l'estrazione a più riprese della punta dal foro.

La profondità che può essere raggiunta ad ogni ripresa dipende da vari elementi, come la lunghezza della parte scanalata in rapporto alla lunghezza del foro. L'attitudine del truciolo a spezzettarsi ed a convogliarsi nelle scanalature senza dar luogo ad ingolfamenti, la pressione del refrigerante, ecc.

In altri casi si possono usare delle trapanatrici verticali nelle quali l'avanzamento della punta avviene dal basso verso l'alto in modo che la forza di gravità facilita lo scarico dei trucioli. Ma in ogni caso è sempre meglio avere una refrigerazione forzata con punte forate.

### Assialità dei fori

L'assialità o rettilineità dei fori può essere ottenuta con vari sistemi, non sempre però completamente efficaci.

Naturalmente in primo luogo, è necessario forare sempre guidando la punta con una boccia che deve essere precisa, non deve avere giochi, deve essere il più vicino possibile al pezzo, deve essere supportata rigidamente.

La foratura di pezzi molto lunghi (mandrini, canne d'armi da fuoco, ecc) se esegue orizzontalmente, facendo ruotare il pezzo e mantenendo ferma la punta, oppure facendola girare in senso inverso.

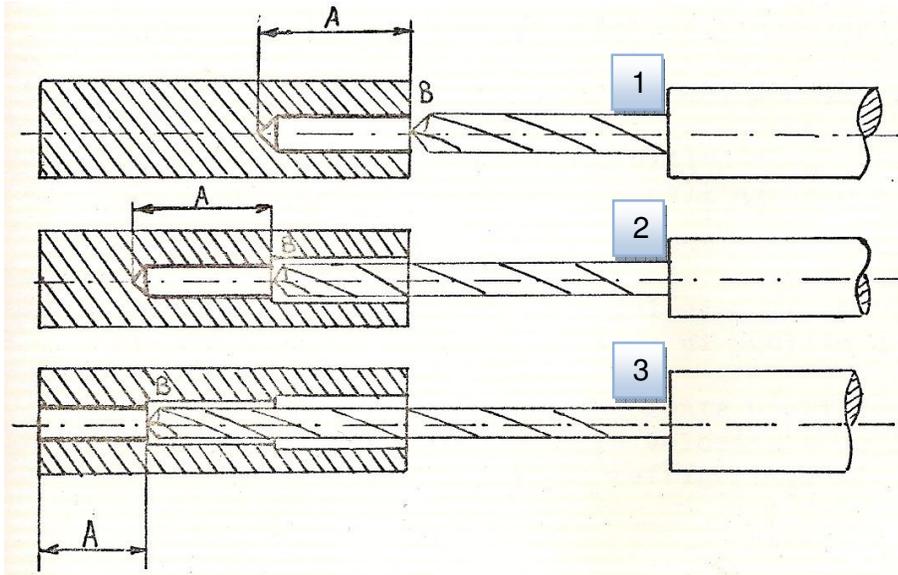
Si può inoltre adottare l'affilatura "Spiropoint" o, meglio, usare le punte a cannone.

In ogni caso si devono evitare sforzi eccessivi sui taglienti che devono essere quindi sempre perfettamente affilati ed efficienti.

L'avanzamento deve essere ridotto e così pure la velocità di taglio e, naturalmente, si devono evitare ingolfamenti di trucioli e surriscaldamenti.

Infine, quando il diametro di un foro lungo non ha una tolleranza stretta, per esempio fori di sgrossatura che devono essere successivamente allargati o alesati, si può ridurre il tempo di foratura eseguendo il foro in più passate.

Ciò naturalmente è conveniente dove siano disponibile più mandrini operanti contemporaneamente. Lo schema di lavoro potrebbe essere quello indicato in figura N°3.



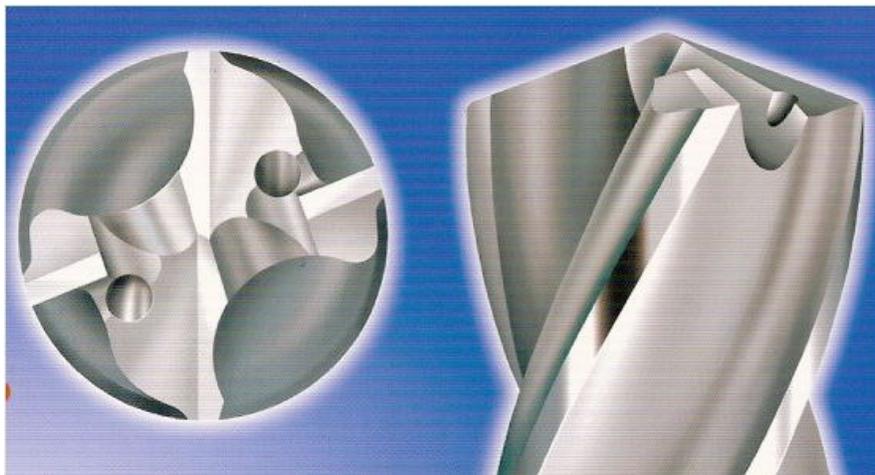
**Fig. N°3-** Schema di foratura in più passate

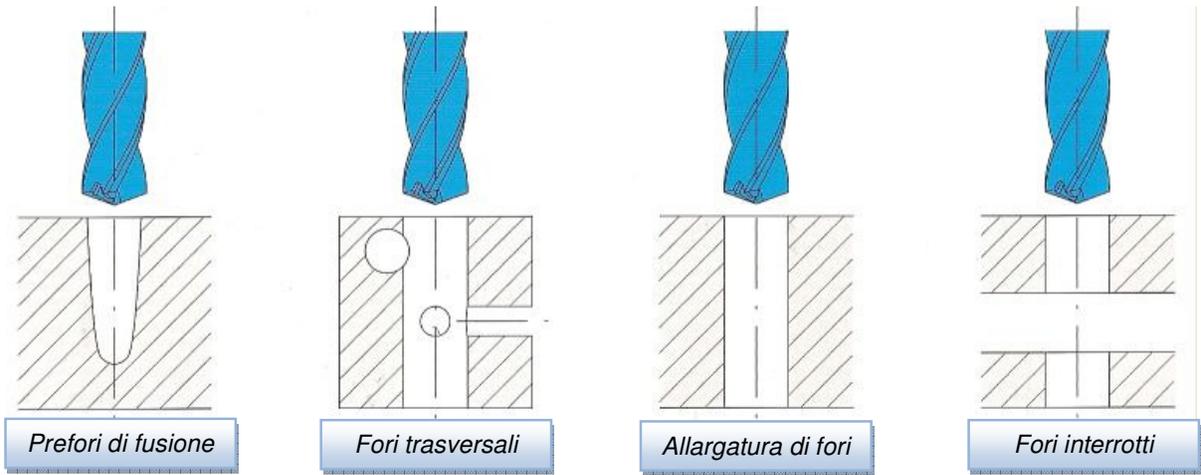
- a)- Accostamento rapido fino al punto B
- b)- Tratto A con avanzamento lento

In questo caso il tempo di foratura verrebbe ridotto a circa un terzo. Le punte devono essere di diametro decrescente di 0,1 mm tra una punta e la successiva. In tal modo si facilita lo scarico del truciolo, si migliora la refrigerazione e si riduce l'attrito.

A titolo di esempio si riporta in figura N°4 una punta con fori di refrigerazione e con doppia elica che permette di avere quattro taglienti in testa.

Questa punta in metallo duro è brevettata dalla *Miller GmbH Präzisionswerkzeuge* (Germania) ed è adatta a fori moderatamente profondi ed a speciali condizioni di foratura come indicato nella figura N°5.





**Fig. N°5-** Fori con varie caratteristiche