

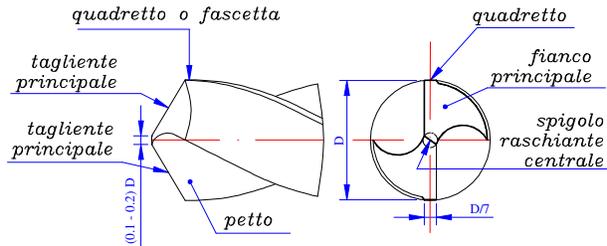
## LA PUNTA ELICOIDALE

È l'utensile più semplice per l'esecuzione di fori cilindrici, generalmente dal pieno. La punta elicoidale è costituita:

- da un **codolo cilindrico o conico** per il centraggio sul mandrino della macchina e per la trasmissione della coppia di taglio (per attrito o con dente di trascinamento);
- da una **parte cilindrica** nella quale sono realizzate due scanalature elicoidali opposte, la cui intersezione con la superficie di estremità forma i due taglienti principali.

Le due **scanalature elicoidali** permettono l'evacuazione del truciolo che si forma in corrispondenza dei taglienti e di portare in prossimità degli stessi il fluido lubro-refrigerante.

### ✓ Elementi caratteristici dell'estremità



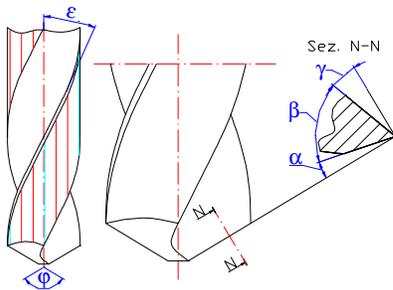
I **quadretti** o superfici di guida (con angolo di spoglia inferiore di circa  $2^\circ$ ) sono costituiti da due risalti diametralmente opposti ricavati al limite delle scanalature elicoidali ed hanno una duplice funzione:

- di guida della punta nel foro evitando anche l'inceppamento durante la foratura, poiché il contatto tra punta e pareti del foro è limitato;
- di finitura della parete cilindrica del foro stesso.

Il **nocciolo** centrale (spigolo raschiante centrale) compreso tra le due scanalature ha un diametro di  $(0,1 \div 0,2) \cdot D$  ed assicura la resistenza a torsione della punta durante la lavorazione.

Comunque per un foro realizzato con punta elicoidale si può ottenere al massimo la qualità di lavorazione IT 10 e una rugosità  $R_a > 1,8 \mu\text{m}$ , per cui spesso devono essere rifiniti con altre lavorazioni come alesatura o rettifica.

### ✓ Angoli caratteristici



**$\epsilon$**  → **angolo d'inclinazione dell'elica**; è formato dalla tangente all'elica media con l'asse della punta. Il suo valore è tanto più piccolo quanto più duro è il materiale da forare.

**$\phi$**  → **angolo dei taglienti**; è l'angolo formato dai due taglienti principali.

**$\gamma$**  → **angolo di spoglia superiore**

**$\beta$**  → **angolo di taglio**

**$\alpha$**  → **angolo di spoglia inferiore**

In base al materiale da lavorare e al diametro della punta, gli angoli caratteristici assumono valori diversi. Inoltre, in base al materiale da lavorare, sono previste per le punte elicoidali le **tre esecuzioni** N, D, T (UNI 3806). Il tutto è riportato nella seguente tabella:

## CONDIZIONI DI LAVORO NELLA FORATURA

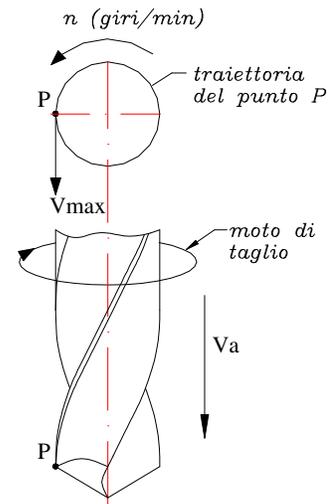
### ❖ MOTI RELATIVI E PARAMETRI DI TAGLIO

I principali moti relativi sono il **moto di taglio** e il **moto di avanzamento**.

Il MOTO DI TAGLIO è il moto principale della macchina, cioè quello che determina l'asportazione del truciolo. Sul trapano è di tipo rotatorio ed è posseduto dall'utensile. Il moto di taglio può essere espresso sia come velocità di taglio, sia come velocità di rotazione.

La **velocità di taglio**, indicata con  $V$  ( $m/min$ ), rappresenta la velocità relativa fra utensile e pezzo nel punto in cui avviene l'asportazione di truciolo, quindi la velocità con cui questo viene tagliato. Equivale alla velocità periferica dell'utensile, cioè alla velocità del punto  $P$  mostrato in figura, che risulta tangente alla traiettoria circolare del punto  $P$  con verso concorde alla rotazione. La velocità di taglio non è costante lungo tutti i punti del tagliente, ma varia da un massimo (velocità di taglio nominale) in corrispondenza del punto  $P$  fino ad un valore nullo in corrispondenza dell'asse dell'utensile. Il valore da impostare dipende da: *materiale in lavorazione, materiale dell'utensile e diametro della punta*.

Esistono delle tabelle che indicano il valore da adottare a seconda delle condizioni di lavoro; i valori che si scelgono non si devono discostare di molto da quelli consigliati, perché la lavorazione con punte elicoidali avviene in condizioni difficili.



La **velocità di rotazione**, indicata con  $n$  ( $giri/min$ ), esprime il numero di giri compiuti dall'utensile in un minuto. Il suo valore dipende dalla velocità di taglio impostata e dal diametro  $d$  della punta elicoidale. La velocità di taglio e la velocità di rotazione sono legate dalla relazione:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \left( \frac{m}{min} \right) \text{ e l'inversa: } n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \left( \frac{giri}{min} \right)$$

permette di calcolare il numero di giri da selezionare sul variatore di velocità del trapano, dopo avere stabilito la velocità di taglio più opportuna per la lavorazione.

Il MOTO DI AVANZAMENTO ha lo scopo di portare a contatto dell'utensile nuovo materiale da tagliare; è un moto molto più lento rispetto al moto di taglio. Sul trapano è di tipo traslatorio e viene impresso all'utensile, secondo il suo asse, in modo continuo e contemporaneo al moto di taglio. Il moto di avanzamento può essere espresso sia come avanzamento per giro, sia come velocità di avanzamento:

- **l'avanzamento per giro**, indicato con  $a$  ( $mm/giro$ ), rappresenta lo spostamento dell'utensile per ogni giro compiuto dallo stesso utensile. *Il suo valore dipende dal diametro e dal materiale dell'utensile, nonché dal materiale in lavorazione*. Per la scelta dell'avanzamento esistono delle tabelle che consigliano il valore da adottare a seconda delle condizioni di lavoro.
- **la velocità di avanzamento**, indicata con  $V_a$  ( $mm/min$ ), rappresenta la velocità con cui si muove l'utensile, quindi la velocità con cui procede la lavorazione.

Le due grandezze sono legate dalla seguente relazione:  $V_a = a \cdot n \left( \frac{mm}{min} \right)$

Infatti, se  $a$  indica lo spostamento dell'utensile per ogni giro del pezzo, moltiplicando il suo valore per il numero di giri  $n$  compiuti in un minuto, si ottiene lo spostamento dell'utensile per ogni minuto, cioè la sua velocità di avanzamento.

**VALORI ORIENTATIVI DELLA VELOCITÀ DI TAGLIO E DELL'AVANZAMENTO**  
(durata corrispondente a una lunghezza di foratura complessiva di 2 m, dal pieno, con adatta refrigerazione)

**PUNTE ELICOIDALI**

**In acciaio superrapido**

**Con inserti in metallo duro**

Per utensili in acciaio rapido: diminuire V del 25%  
Per utensili in acciaio non legato: diminuire V del 50%

*NOTA: scegliere i valori minimi della velocità di taglio e dell'avanzamento per le punte di piccolo diametro e i valori massimi per quelle di grande diametro. In caso di lavorazioni difficili è preferibile ridurre la velocità di taglio e non l'avanzamento, infatti il principale responsabile del calore generato è la velocità di taglio.*

Per quanto riguarda l'avanzamento già sappiamo che dipende *dal diametro della punta, dal materiale dell'utensile e dal materiale da forare*. Nel grafico sono riportati gli avanzamenti di una punta elicoidale in acciaio rapido in base al suo diametro e al materiale da forare.

✓ *Altre considerazioni sulla foratura*

Prima dell'esecuzione del foro, la **centratura** è sempre consigliabile, ma è obbligatoria nel caso in cui l'asse del foro non risulti perpendicolare alla superficie del pezzo o nel caso di forature con piccolo diametro su superfici grezze.

È buona norma nell'eseguire un foro utilizzare

- prima una punta di diametro all'incirca uguale alla metà del diametro del foro da realizzare;
- successivamente procedere con l'allargatura.

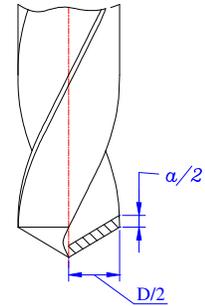
Durante l'**allargatura** si riduce la velocità di taglio a circa la metà rispetto a quella della foratura dal pieno; inoltre la punta utilizzata deve avere un angolo di spoglia inferiore molto piccolo per evitare che si avviti nel foro già eseguito allargandolo eccessivamente.

Il diametro di un foro eseguito con la punta elicoidale risulta più grande del diametro della punta utilizzata (**eccedenza**). Nel grafico sono indicate le eccedenze del foro dal diametro della punta per alcuni materiali.

### ❖ SEZIONE DEL TRUCIOLO

La sezione del truciolo, indicata con  $q'$ , nel caso di foratura con punta elicoidale, assume la forma di un parallelogramma equivalente ad un rettangolo di altezza uguale alla metà dell'avanzamento per giro e base uguale al raggio della punta ( $D/2$  rappresenta la profondità di passata nel caso di foratura dal pieno). Infatti, se per ogni giro la punta avanza di un tratto pari ad  $a$  (avanzamento), ciascuno dei taglienti asporta un truciolo di lato  $a/2$ . In tal caso l'area della sezione del truciolo asportato da ogni tagliente vale:

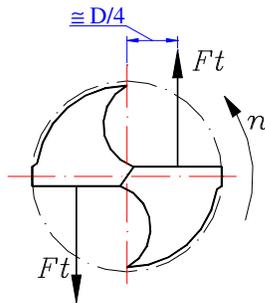
$$q' = \frac{a}{2} \cdot \frac{D}{2} = \frac{a \cdot D}{4} \quad (\text{mm}^2)$$



### ❖ FORZA DI TAGLIO

Le forze di taglio occorrenti sui due taglienti della punta elicoidale per distaccare il truciolo dipendono:

- dal materiale in lavorazione, attraverso il carico o pressione di strappamento  $K_s$  (N/mm<sup>2</sup>);
- dalla sezione di truciolo totale  $q = 2 \cdot q'$  (mm<sup>2</sup>) distaccato dalla punta.



Queste forze, una per ogni tagliente principale, si suppongono applicate all'incirca a metà della lunghezza del tagliente. Ognuna di esse assume il valore:

$$F_t = K_s \cdot q' \quad (\text{N}) \quad \text{con} \quad q' = \frac{a \cdot D}{4} \quad (\text{mm}^2) \quad \text{sezione di truciolo relativa ad un tagliente}$$

Quindi per **ciascun tagliente** si ha una forza di taglio

$$F_t = K_s \cdot q' = K_s \cdot \frac{a \cdot D}{4} \quad (\text{N})$$

Mediamente si ritiene che

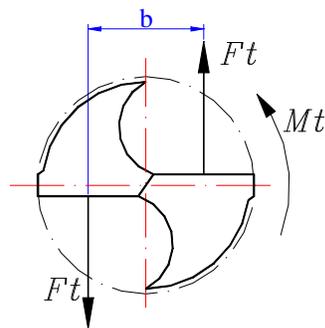
$$K_s = (4,8 \div 6) \cdot R_m \quad \text{per acciai e materiali non ferrosi}$$

$$K_s = (4,2 \div 5) \cdot R_m \quad \text{per la ghisa}$$

Comunque tenere presente che il valore di  $K_s$  diminuisce con l'aumentare del diametro della punta e con valori più elevati dell'avanzamento.

Chiaramente la forza totale di taglio vale  $F_{\text{TOTALE}} = 2 \cdot F_t = K_s \cdot \frac{a \cdot D}{2} \quad (\text{N})$

### ❖ POTENZA DI TAGLIO



Guardando come sono posizionate le forze di taglio si nota che esse formano una coppia di forze il cui momento (momento tagliente) vale

$$M_t = F_t \cdot b \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad \text{con la distanza b espressa in metri.$$

Il valore del braccio  $b$  si assume, in modo approssimato, pari a  $D/2$ , ma in realtà il suo valore varia al variare del tipo di materiale che si sta forando. In particolare  $b = (0,45 \div 0,60) \cdot D$ : valori più piccoli per i materiali fragili (ghisa), valori maggiori per i materiali tenaci (acciai).

L'utensile è soggetto ad una **sollecitazione di torsione**, dove il momento torcente è uguale e opposto al momento tagliente.

Dalla fisica è noto che, nel moto rotatorio, la potenza si calcola con la seguente relazione

$$P = M \cdot \omega \quad \left( N \cdot m \cdot \frac{\text{rad}}{s} = \frac{J}{s} = W \right) \quad \text{con} \quad \begin{cases} M & \text{somma dei momenti delle forze applicate al corpo} \\ & \text{rispetto al suo asse di rotazione} \\ \omega & \text{velocità angolare del corpo} \end{cases}$$

Nel caso della foratura:

- M rappresenta il momento delle forze di taglio, quindi come abbiamo visto prima

$$M = M_t = F_t \cdot b \quad (N \cdot m) \quad \text{con } b \text{ braccio della coppia in metri}$$

- $\omega$  è la velocità angolare della punta elicoidale

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad \left( \frac{\text{rad}}{s} \right) \quad \text{con } n \text{ numero di giri della punta in } \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

Quindi la potenza di taglio vale  $P = M_t \cdot \omega = M_t \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (W) \Rightarrow P = M_t \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60 \times 1000} \quad (kW)$

Il rapporto  $\frac{60000}{2 \cdot \pi} \cong 9550 \Rightarrow P = \frac{M_t \cdot n}{9550} \quad (kW)$  POTENZA UTILE per il taglio del truciolo.

La potenza necessaria per l'avanzamento della punta elicoidale si può trascurare, perché piccola.

Affinchè la lavorazione sia possibile, la potenza del motore del trapano deve essere tale da vincere non solo il momento resistente dovuto allo strappamento del truciolo, ma anche tutte le perdite che si possono incontrare nella trasmissione del moto.

Per tenere conto di questa dissipazione di potenza si introduce il rendimento meccanico:

$$\text{Rendimento meccanico} = \frac{\text{potenza utile di taglio}}{\text{potenza sviluppata dal motore}} \xrightarrow{\text{in simboli}} \eta = \frac{P}{P_M}$$

da cui si ricava  $P_M = \frac{P}{\eta} \quad (kW)$  che permette di calcolare la POTENZA SVILUPPATA DAL MOTORE,

quando sono noti la potenza utile di taglio e il rendimento meccanico della macchina.

Il rendimento meccanico  $\eta$  dipende dallo stato della macchina:  $\eta = 0,6 \div 0,8$ .

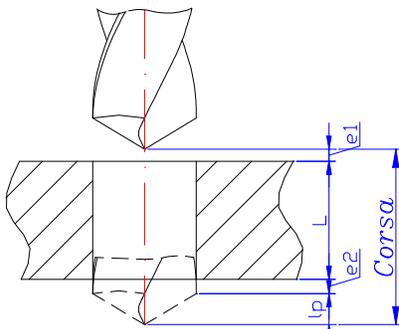
Si ha la condizione di massimo sfruttamento del trapano quando la potenza sviluppata dal suo motore coincide con la potenza disponibile del motore.

#### ❖ TEMPO DI LAVORAZIONE

La relazione con cui si calcola il tempo è analoga a quella del caso della tornitura

$$\text{tempo di lavoro} = \frac{\text{lunghezza da forare} + \text{extracorsa}}{\text{velocità di avanzamento}} = \frac{\text{corsa}}{V_a} = \frac{L + e}{a \cdot n} \quad (\text{min})$$

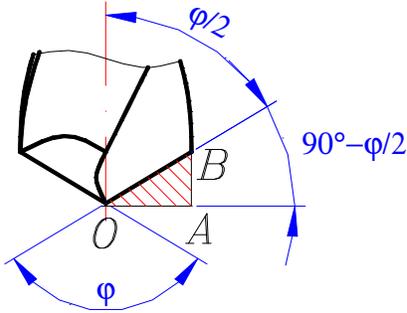
Con riferimento alla figura si nota che la corsa, cioè lo spostamento che deve subire l'utensile è la somma di quattro quantità; precisamente:



- L è la profondità del foro
- $e_1$  è l'extracorsa di attacco:  $e_1 = 1 \div 2 \text{ mm}$
- $e_2$  è l'extracorsa di uscita:  $e_2 = 1 \div 2 \text{ mm}$
- $l_p$  è l'altezza del cono della punta:  $l_p \approx 0,33 \cdot D$

$$t_1 = \frac{L + e_1 + e_2 + l_p}{a \cdot n} \quad (\text{min})$$

Per quanto riguarda l'altezza del conoide della punta, il valore approssimato  $l_p \approx 0,33 \cdot D$  può essere sostituito dal valore corretto, funzione dell'angolo dei taglienti  $\phi$ , con le seguenti considerazioni di trigonometria.



Dal triangolo rettangolo OAB si rileva che:

$$\overline{OA} = \frac{D}{2} ; \quad \overline{AB} = l_p$$

$$\text{dalla definizione di tangente: } \operatorname{tg} \left( 90^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}} = \frac{l_p}{\frac{D}{2}} = \frac{2 \cdot l_p}{D}$$

$$\text{da cui si calcola: } l_p = \frac{D}{2} \cdot \operatorname{tg} \left( 90^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

Per esempio nel caso di punta  $\phi$  20 di esecuzione N per forare acciaio con  $R_m < 700 \text{ N/mm}^2$ , con angolo dei taglienti  $\phi = 118^\circ$  si calcola:  $l_p = \frac{D}{2} \cdot \operatorname{tg} \left( 90^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = 10 \times \operatorname{tg} 31^\circ = 6 \text{ mm} \cong \frac{D}{3}$

#### ESERCIZIO

*Potenza e tempo di lavorazione per eseguire un foro passante (utensile in acciaio superrapido).*

Dati	Diametro del foro	$D = 16 \text{ mm}$
	Lunghezza del foro	$L = 25 \text{ mm}$
	Avanzamento	$a = 0,2 \text{ mm/giro}$
	Velocità di taglio	$V = 32 \text{ m/min}$
	Resistenza meccanica	$R_m = 600 \text{ N/mm}^2$
	Rendimento meccanico	$\eta = 0,75$

#### CALCOLO DELLA POTENZA

Si può assumere  $K_s = 5,5$   $R_m = 3300 \text{ N/mm}^2$ ,  $b = 0,6 \cdot D = 9,6 \text{ mm}$ ,  $q' = \frac{a \cdot D}{4} = \frac{0,2 \times 16}{4} = 0,8 \text{ mm}^2$

$$F_t = K_s \cdot q' = 3300 \times 0,8 = 2640 \text{ N} \Rightarrow M_t = F_t \cdot b = 2640 \text{ N} \times 0,0096 \text{ m} \cong 25,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \times 32}{3,14 \times 16} \cong 637 \frac{\text{giri}}{\text{min}} \text{ supponiamo che sia possibile selezionare tale numero di giri}$$

$$\text{Potenza di taglio} \quad P = \frac{M_t \cdot n}{9550} = \frac{25,4 \times 637}{9550} \cong 1,7 \text{ kW}$$

$$\text{Potenza sviluppata dal motore} \quad P_M = \frac{P}{\eta} = \frac{1,7}{0,75} \cong 2,27 \text{ kW}$$

#### CALCOLO DEL TEMPO DI FORATURA

Si utilizza una punta  $\phi$  16 di esecuzione N per forare acciaio con  $R_m < 700 \text{ N/mm}^2$ , con angolo dei taglienti  $\phi = 118^\circ$

$$l_p = \frac{D}{2} \cdot \operatorname{tg} \left( 90^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = 8 \times \operatorname{tg} 31^\circ = 4,8 \text{ mm}, \text{ si assumono } e_1 = e_2 = 2 \text{ mm}$$

$$t_1 = \frac{L + e_1 + e_2 + l_p}{a \cdot n} = \frac{25 + 2 + 2 + 4,8}{0,2 \times 637} = 0,265 \text{ min} \cong 17 \text{ s}$$