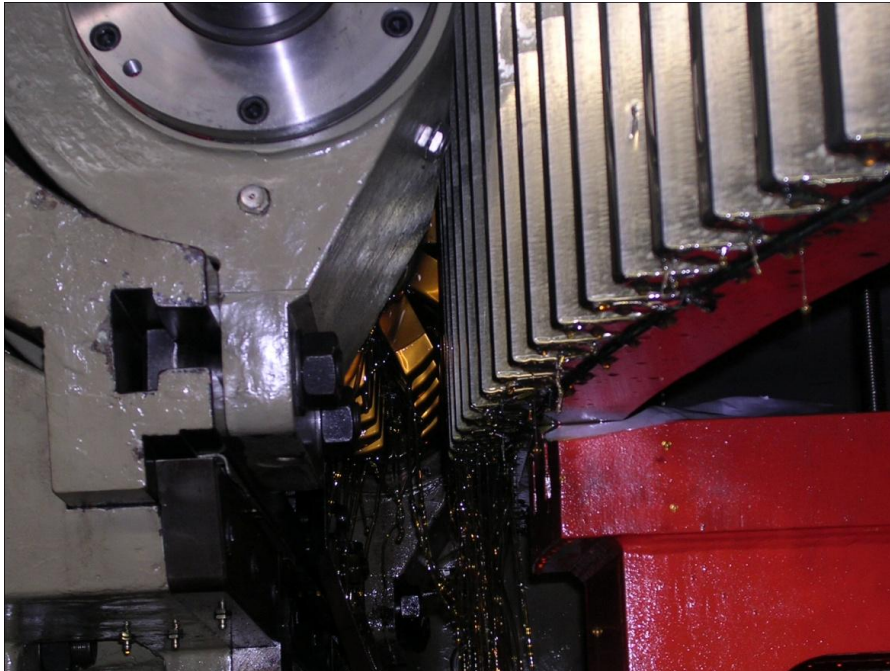


## I creatori di grande modulo

Un grande creatore, cioè un creatore con modulo superiore a 12 – 15 mm, è un utensile impegnativo, costoso e di difficile costruzione.

Tra le altre cose deve avere un grado di affidabilità molto elevato, perché se durante la dentatura di ingranaggi di qualche metro di diametro si usura in modo abnorme o un loro dente si rompe, i danni economici sono notevoli.



**Figura N°1** - Dentatura di un ingranaggio di grandi dimensioni

Esistono diverse tecniche di costruzione, ma praticamente tutte richiedono tempi lunghissimi sia nelle operazioni di sgrossatura che in quelle di rettifica ed inoltre i risultati, in termini di precisione sono spesso alquanto modesti se comparati a quelli ottenibili sui creatori di modulo inferiore impiegati nella dentatura di ingranaggi del settore *automotive*.

Nel mondo esistono poche aziende in grado di produrre questi utensili ad un buon livello qualitativo e per fare qualche nome si possono citare: La Fette (Germania), La Saacke (Germania), la Gleason (USA), la Nachi (Giappone) e qualche altro minore in Corea del Sud.

In Italia c'è solo la Fubri (Viganò – Lecco) che però, nonostante le sue dimensioni non certo comparabili ai colossi tedeschi e giapponesi, ha sviluppato un ciclo di fabbricazione che utilizza concetti e software innovativi che lo pongono al top in questo settore.

Ma entriamo un po' più in dettaglio sulle problematiche che si incontrano in una produzione di questo tipo.

Prendiamo come esempio un grande creatore di modulo 30 mm e con diametro e lunghezza di 300 mm.

Intanto bisogna subito dire che il peso dello spezzone di barra di queste dimensioni supera i 170 Kg e quindi la sua movimentazione, in ogni fase del ciclo può avvenire solo con l'aiusilio di un paranco.



**Figura N°2-** *Creatore di grande modulo in acciaio HSS ricoperto con TiN*

Un creatore di questo tipo, finito, pesa circa 100 Kg e ciò significa che bisogna asportare, nelle varie fasi, circa 70 Kg di truciolo, il 40% del peso iniziale: un lavoro molto impegnativo per tutti gli utensili che si susseguono nelle varie operazioni !

Il ciclo tradizionale prevede una serie di operazioni su macchine specifiche, le principali delle quali sono:

- *Tornitura e foratura*
- *Filettatura*
- *Fresatura dei solchi di affilatura*
- *Spogliatura dei denti con fresa a profilo costante o fresa a dito*
- *Asportazione dei denti incompleti*
- *Rettifica fori collarini e facciate dopo il trattamento termico*
- *Rettifica profilo*
- *Affilatura*

Una parte considerevole del tempo è costituito dallo spostamento del pezzo da una macchina all'altra ed al suo posizionamento, a causa del peso di ogni singolo pezzo.

In ogni singola operazione, se pur eseguita con moderne macchine a Controllo Numerico, deve essere presente l'operatore e la precisione del pezzo sgrossato, e di quello finito, dipende in gran parte dall'abilità dell'operatore stesso.

Il fatto che per produrre creatori di grandi dimensioni siano necessarie macchine appositamente concepite, che sono diverse dalle macchine che servono per fare i creatori di dimensioni "normali", aggiunto al fatto che tutto sommato il numero di pezzi richiesti dal mercato non è grandissimo, hanno consigliato molti grandi produttori di utensili a rinunciare a questi investimenti.

Si tratta quindi di una produzione fortemente specializzata che costituisce una nicchia del mercato globale dei creatori, nicchia importante però per l'alto valore tecnologico del prodotto e anche per l'alto valore economico di ogni singolo pezzo.

Basti pensare per esempio che il solo costo del materiale per il creatore dalle dimensioni di cui si è detto poco sopra supera i 3000 Euro.

La Fubri s.r.l. da oltre due anni è penetrata perentoriamente in questa fetta di mercato con una nuova tecnologia di produzione che permette di ottenere vantaggi determinanti sulla concorrenza. Vediamo di cosa si tratta.

Dalla considerazione che per ridurre i tempi di consegna ed, in certa misura, i costi del creatore finito era necessario tagliare in modo drastico i tempi di movimentazione di questi pezzi pesanti e poco maneggevoli, si è studiata la possibilità di utilizzare un centro di

lavoro, appositamente progettato, per raggruppare una parte considerevole delle operazioni.

In questo modo si possono eseguire in successione automatica, cioè senza l'intervento dell'operatore, le operazioni di filettatura, taglio dei solchi di affilatura, spogliatura dei denti ed asportazione dei denti incompleti.

Il vantaggio è che si occupa una sola macchina che può lavorare autonomamente per esempio durante la notte, fornendo alla mattina il pezzo pronto per essere inviato al trattamento termico.

E' evidente che il costo complessivo di queste operazioni è anche decisamente inferiore a quello che si ha con il ciclo tradizionale, anche se a dire il vero bisogna considerare nel costo finale l'ammortamento per gli alti investimenti in macchine, utensili e software.

Naturalmente non tutto è filato liscio subito; sono stati necessari mesi e anni di studi e di sperimentazioni, soprattutto per mettere a punto un software sufficientemente flessibile ed affidabile.

Ma ora i dati di progetto, integrati con i dati relativi alle condizioni di lavoro vengono trasferiti direttamente dal computer dell'ufficio tecnico al controllo numerico del centro di lavoro e le operazioni possono iniziare in tempi rapidissimi.

Il vantaggio più importante è senza dubbio la grande flessibilità del sistema che permette di superare i tempi morti di attesa delle macchine occupate in altre lavorazioni.

Questo vantaggio si riflette in modo positivo sui termini di consegna che, si può tranquillamente affermare, si sono ridotti mediamente del 50%.

E' possibile far fronte a richieste di consegna urgenti per risolvere casi d'emergenza riducendo la consegna a sole 3 settimane.

Per un creatore di grande modulo questo è un risultato assolutamente eccezionale e ciò permette ora di competere da una posizione di forza contro i grandi produttori di creatori a livello mondiale.

La riduzione dei tempi è resa più importante dal fatto che con la tecnologia sopra descritta la precisione del pezzo sgrossato è molto più elevata (profilo, eccentricità, elica del filetto ecc.) e questo consente di ridurre il soprametallo di rettifica con un ulteriore taglio dei tempi in quest'ultima operazione.

La precisione finale infine è garantita da rettifiche di profilo a Controllo Numerico costruite internamente alla stessa Fubri impiegando anche qui le ultime tecnologie disponibili in questo settore e cioè: l'utilizzo del Controllo Numerico Siemens Sinumerik a tecnologia digitale, l'adozione di motori lineari ad alta velocità e motori *direct drive* ad alta risoluzione.

Il vantaggio in termini di tempi e precisione è particolarmente alto nel caso di creatori complessi, come quello che può essere ad esempio il creatore con doppi denti, sgrossatori e finitori.



**Figura N°3-** *Creatore con doppia dentatura: denti sgrossatori e denti finitori*

Come è noto, e come è illustrato in figura N°3, questi creatori hanno file di denti con profilo diverso. Il concetto che guida la loro progettazione è che l'usura del dente si concentra prevalentemente sulla testa del dente ed allora si fa in modo che un dente abbia il profilo

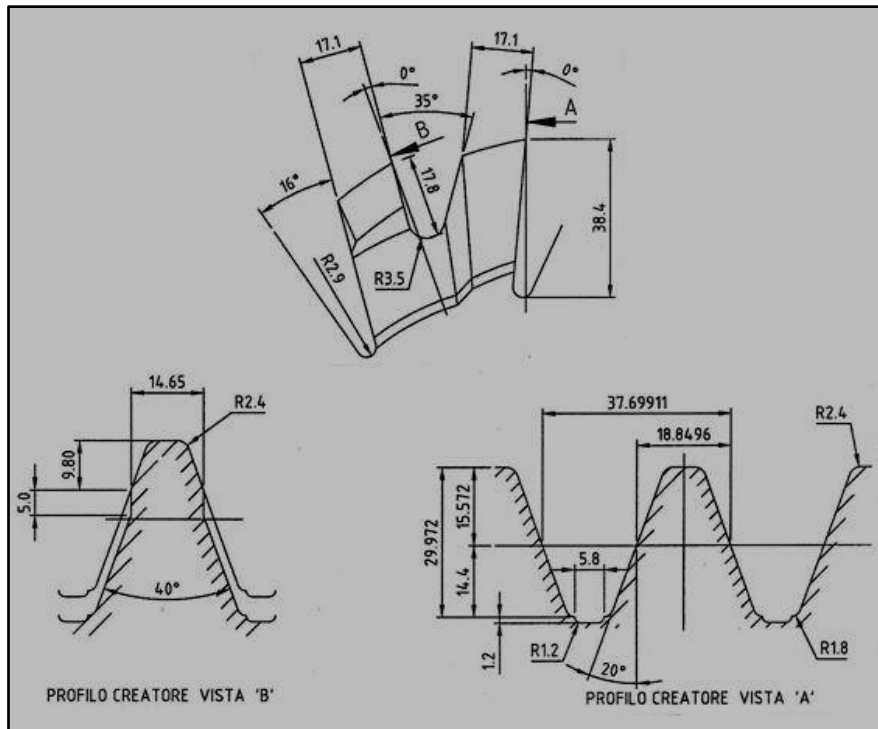
completo, mentre il dente successivo avrà il profilo esatto solo verso la sommità e sarà scaricato alla base. In questo modo la gola tra i due denti potrà essere più stretta e meno profonda, perché il secondo dente produrrà poco truciolo, ma il materiale totale da asportare sarà suddiviso in molti più denti con possibilità di incrementare le condizioni di lavoro.

Bisogna precisare che il minor carico sui denti si ha solo sulla sommità dei denti stessi, cioè nella parte dove si concentra la sollecitazione di taglio e dove l'usura, in condizioni normali, è più forte.

Nello schema di figura N°4, è rappresentato un esempio di un creatore di questo tipo, di modulo 12 mm, cioè non molto grande, e si può osservare lo scarico sul secondo dente, (vista B) e la ridotta profondità della gola (circa la metà), tra il primo e il second dente.

Con questo sistema si rinforza inoltre la base del primo dente, rendendolo più resistente alle rotture.

L'altezza del profilo teorico sul secondo dente è circa un terzo della altezza totale del dente.



**Figura N°4-** Schema di denti differenziati su un creatore di modulo 12 mm ad un principio.

In un ciclo di fabbricazione tradizionale questo creatore richiede un cambio utensili ed una messa a punto particolarmente lunga e minuziosa, mentre con un apposito software applicato ad un centro di lavoro il tutto viene eseguito in modo automatico senza bisogno di regolazioni manuali.

Le dimensioni standard dei creatori di grande modulo prodotti dalla Fubri sono riepilogati nella seguente tabella:

MOD	Ø	L	FORO
16	220	250	60
18	220	260	60
20	240	260	60
22	260	280	60
24	280	300	60
26	280	300	60
28	300	350	60
30	300	350	60

### Condizioni di lavoro

Salvo casi eccezionali, le coppie corona-pignone hanno una dentatura standard con un angolo di pressione di  $20^\circ$  e con un'altezza dente pari a  $h = 2,25 \cdot m$ , cioè con addendum uguale al modulo e dedendum  $1,25 \cdot m$ .

Il taglio dei denti di grosse ruote, cioè con diametri di alcuni metri e moduli superiori ai 20 mm, si esegue in alcuni casi con tre operazioni.

La sgrossatura si esegue generalmente con una fresa biconica ad inserti in metallo duro (*carbide*) ricoperti con TiN, bloccati meccanicamente, che ha un angolo sui fianchi di  $20^\circ$ . Poiché l'altezza dei taglienti è superiore alla massima altezza del dente tra le ruote che si eseguono, questa fresa può tagliare tutte le ruote indipendentemente dal modulo, basta che l'angolo di pressione sia uguale.

Gli inserti possono essere sostituiti e talvolta anche riaffilati e questo rende questo sistema preferibile talvolta ad una sgrossatura con creatore.

La sgrossatura con frese di questo tipo non è priva di inconvenienti. Per esempio è un'operazione che si svolge a secco, con avanzamenti piuttosto alti e con un gran sviluppo di calore. Si generano a volte delle distorsioni non trascurabili sui pezzi così fresati.

In caso di rottura di uno o più inserti in metallo duro, i frammenti restano a volte intrappolati nel pezzo e devono essere ricercati e tolti altrimenti danneggerebbero in modo molto serio i creatori impiegati nelle operazioni successive.

La sgrossatura con creatore ha sicuramente qualche vantaggio rispetto alla fresa, ma bisogna disporre di un creatore specifico per ogni modulo.

E' però anche vero che si può utilizzare lo stesso creatore per sgrossare e finire, se si accetta di farlo lavorare anche sul fondo dente dell'ingranaggio nell'operazione di finitura e ciò facilita non poco le cose.

In ogni caso bisogna sempre tener presente che lo spessore del truciolo non superi i limiti consigliati, che sono intorno ai 0,15 mm.

Per moduli così grandi (sopra i 20 mm) il creatore è ad un principio. L'acciaio che si usa normalmente è del tipo ad alto contenuto di cobalto (es. M35) e ricoperto con TiN per limitare l'usura. Il creatore infatti è fortemente sollecitato perché il volume di materiale da asportare è molto grande, ma lavora ad una velocità di taglio relativamente bassa (intorno ai 70 - 80 m/min).

L'avanzamento per giro resta nei limiti abbastanza prudenziali, cioè intorno ai 2 mm/giro pezzo; si preferisce non forzare troppo in quanto usure eccessive o rotture dei denti del creatore o profondi danni sul pezzo possono avere conseguenze economiche molto gravose.

Si lascia un soprametallo di 0,6 – 0,8 mm per fianco per la successiva passata di finitura.

In questa ottica, si preferisce inoltre affilare il creatore prima che l'usura diventi eccessiva anche nel caso che non si riesca a completare la corsa per finire il pezzo. Vale anche qui la regola che si adotta nel taglio di ingranaggi più piccoli, cioè quella di considerare un buon rendimento del creatore se si arriva a dentare 4 -5 metri di dente del pezzo per ogni dente del creatore.

La finitura viene eseguita con il creatore che ha eseguito la semifinitura il quale quindi lavora anche il fondo del vano.

Si finisce con la rettifica solo le ruote che hanno diametri fino a 3 - 4 m.

L'avanzamento è leggermente superiore a quello usato in semifinitura e, a motivo del ridotto soprametallo da asportare, si riesce a finire la ruota senza affilature intermedie del creatore (si parla qui di ruote con diametri superiori a 5 – 6 m).

La superficie così ottenuta ha una rugosità accettabile, con  $R_a = 3 - 3,2$  micrometri.

### Esempio di ciclo di dentatura

*Dati dell'ingranaggio*

<i>Modulo</i>	<i>22 mm</i>
<i>Angolo elica</i>	<i>0°</i>
<i>Numero di denti</i>	<i>250</i>
<i>Diametro primitivo</i>	<i>5500 mm</i>
<i>Larghezza fascia dentata</i>	<i>400 mm</i>
<i>Acciaio da bonifica 34 Cr Mo 4</i>	<i>R = 600 N/mm<sup>2</sup></i>

Sgrossatura e Semifinitura con creatore integrale diametro 300 mm ad 1 principio in M35 ricoperto con TiN, 17 taglienti, senza semitopping e senza protuberanza. Si lascia un soprametallo di 2 mm per fianco tra le due operazioni e 0,6 – 0,8 mm per fianco per la successiva operazione.

- *Velocità di taglio* = 70 m/min
- *Avanzamento* = 1,6 mm/giro pezzo
- *Numero giri del creatore* = 74,3 giri/min
- *Numero di giri della tavola* = 0,297 giri/min
- *Alimentazione* = 0,476 mm/min
- *Tempo necessario per una passata di sgrossatura o di semifinitura circa 21 ore senza contare i tempi accessori, tra cui lo smontaggio ed il rimontaggio del creatore per riaffilatura.*

Finitura con lo stesso creatore usato in semifinitura.

- *Velocità di taglio* = 80 m/min
- *Avanzamento* = 2,3 mm/giro pezzo
- *Numero giri del creatore* = 84,9 giri/min
- *Numero di giri della tavola* = 0,34 giri/min
- *Alimentazione* = 0,78 mm/min
- *Tempo necessario per la semifinitura è di circa 13 ore (solo tempo di contatto utensile-pezzo)*
- *Precisione ottenuta Classe DIN 8 – 9 con il profilo avente  $R_a = 3,0 - 3,2$  micrometri.*

#### Frese e creatori ad inserti

Come si è già accennato, per le alte produzioni, dove sono richiesti tempi di dentatura più corti del normale, si possono usare moderni utensili che permettono asportazioni di 3 – 4 volte superiori ai normali creatori in HSS. Sono appunto le frese e i creatori ad inserti.

Se il modulo è molto grande, es. 30 mm, è conveniente usare una fresa di sgrossatura che ha il compito di asportare la maggior parte del materiale del vano.

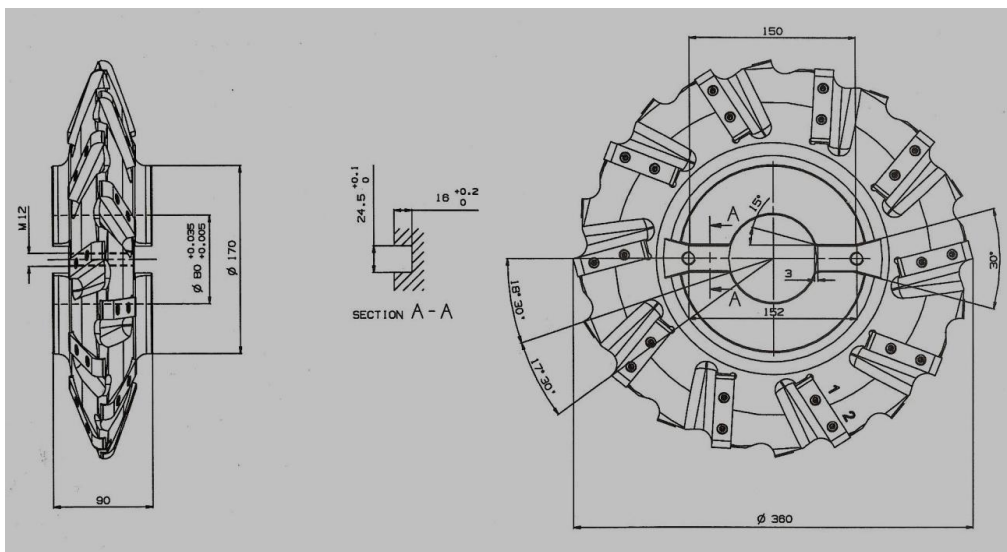
Successivamente si finisce con un creatore oppure anche con una fresa ad inserti.

Le frese ad inserti sono utensili molto efficienti ma anche molto costosi e vengono adottati quando si debbano dentare ruote di grande modulo, di grande diametro e di larghezza di fascia notevole.



**Figura N°5-** Fresa ad inserti per sgrossatura

Nella figura N°5 è rappresentata una di queste frese per sgrossatura in cui si può notare che il profilo di un lato è suddiviso in più settori per suddividere lo sforzo di taglio e per consentire la formazione di trucioli di dimensione minore e quindi più facilmente scaricabili. Le analoghe frese dedicate alla finitura dei denti invece hanno un dente che finisce completamente un lato, mentre il dente successivo finisce il lato apposto. La figura N°6 mostra appunto un disegno di una fresa ad inserti con denti alternati, 10 per ogni fianco.



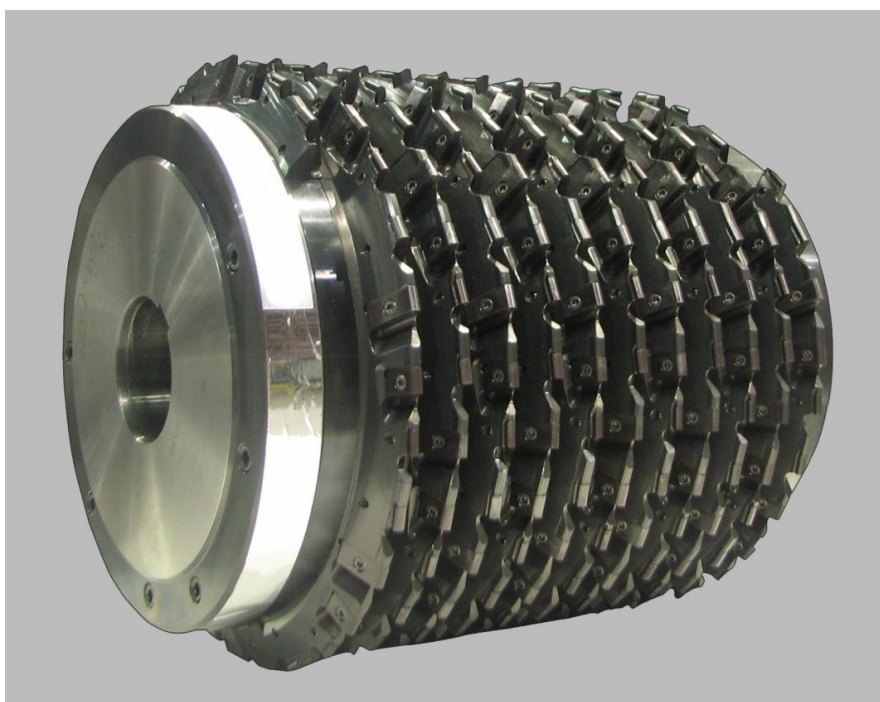
**Figura N°6-** *Disegno fresa ad inserti per finitura*

Ma le disposizioni degli inserti possono essere di vario tipo a seconda dell'obiettivo che si vuole raggiungere.

Ancora più costosi sono i creatori ad inserti, ma la loro alta produttività giustifica talvolta l'investimento a patto che si disponga di una dentatrice in grado di sfruttare tutta la sua potenzialità.

I vantaggi, in generale, che questo utensile può dare derivano dal fatto che gli inserti sono staffati meccanicamente e quindi non richiedono affilature o recoating, viene ridotto il tempo di setup della dentatrice, il tempo di dentatura viene ridotto di 3 – 4 volte e si può anche pensare ad un vantaggio nella riduzione del numero di creatori a magazzino, infine in caso di incidente può essere riparato.

Nella figura N°7 si può vedere un esempio di questi creatori.



**Figura N°7 –** *Esempio di creatore ad inserti*