

I creatori ad inserti per la dentatura di grandi ingranaggi

La dentatura di grandi ingranaggi, cioè di ingranaggi con diametri oltre il metro di diametro e con moduli da 15 a 50 mm, è sempre stata un'operazione lunga, a volte della durata di alcuni giorni.

Si pensi ad un ingranaggio di 10 metri di diametro, con una fascia dentata di oltre 500 mm, e con qualche centinaio di denti e si può avere subito un'idea delle difficoltà tecniche insite nell'operazione di dentatura.

L'esecuzione della dentatura avviene normalmente su macchine che possono svolgere diversi tipi di lavorazione, in modo da non dover movimentare la corona da dentare.

Esse sono costituite essenzialmente da una grande piattaforma su cui viene posizionata la ruota da lavorare. Questa piattaforma girevole deve essere in grado di sopportare pesi notevoli, (basta pensare che un ingranaggio di 10 metri può raggiungere un peso di 30 o 40 tonnellate e oltre), ed inoltre deve avere una serie di supporti regolabili in modo da permettere una uniforme distribuzione del peso ed una accurata centratura della corona.

In presenza di pesi così ingenti, se essi non sono uniformemente distribuiti, si possono generare delle flessioni che compromettono la precisione finale.

Separato da questa piattaforma è posizionata una struttura che può ospitare diverse unità operatrici, come per esempio una testa a fresare, o una testa su cui viene montato un creatore o anche una testa a rettificare.

La figura N°1 fa vedere appunto una di queste grandi corone in fase di dentatura con creatore. Si può osservare la serie di numerosi supporti, regolabili, che consentono sia la messa in piano, sia la centratura della corona.



Fig.N°1- Grande corona in fase di dentatura

Nonostante le varie precauzioni, le deformazioni, in misura più o meno grande, sono però sempre presenti.

Esse sono originate per esempio dalle tensioni residue nella massa di acciaio dopo la fucinatura o laminazione e i successivi trattamenti di bonifica e di distensione, ma anche

dalle operazioni di saldatura che, pur essendo eseguite con una tecnica particolare, dopo un preriscaldamento della corona a 350 °C, qualche tensione la producono.

C'è poi il grande problema della dilatazione termica.

Un Δt di soli 10 °C per esempio, su un diametro di 8 metri può far variare il diametro o indurre una ovalizzazione dell'ordine del millimetro.

La precisione richiesta per ingranaggi di questo tipo, con diametri superiori a 3 metri, è normalmente una classe DIN 8 – 9.

I settori merceologici in cui sono richiesti grandi ingranaggi sono molteplici, un elenco, non completo, dei più importanti è riepilogato nella tabella seguente.

Settore merceologico	Componenti
Zuccherifici	Riduttori fino a 60.000 Kg
Telecomunicazioni	Riduttori comando assi elevazione ed orientamento
Ittico	Riduttori fino a 50.000 Kg
Cementifici	Riduttori con potenza fino a 5.000 Kw
Eolico	Gruppi di riduzione turbina
Gomma e plastica	Riduttori Pluriuscite-Bambury
Siderurgia	Gruppi di comando per convertitore con coppia in uscita di 400.000 Nm e oltre
Centrali elettriche	Riduttore comando Turbina-Pompe
Impianti di risalita	Riduttori comando funicolare
Porti	Riduttori per sollevamento-scorrimento- traslazione
Offshore	Riduttori sollevamento da 1.000 tonn.
Navale	Gruppi di comando propulsione

Come si può capire da questi brevi cenni, l'operazione di dentatura di un grande ingranaggio presenta delle problematiche del tutto diverse dalla stessa operazione di un ingranaggio impiegato nel settore dell'*automotive*.

Poiché la domanda di grandi ingranaggi è cresciuta, a causa soprattutto dello sviluppo del settore eolico e dei grandi impianti di estrazione e di produzione di energia, si è assistito in questi ultimi anni ad un progresso tecnologico importante dell'operazione della dentatura.

Come è noto, un creatore monoblocco in acciaio HSS, di grande modulo, può lavorare con velocità di taglio piuttosto basse, si parla di circa 50 - 80 m/min; anche gli avanzamenti per giro devono essere piuttosto limitati a causa degli enormi sforzi cui è soggetto il creatore stesso, e qui si limita a circa 1,5 – 2,5 mm/giro pezzo a seconda che si tratti di sgrossatura o finitura e dello stato della macchina dentatrice.

Con questi parametri di taglio i tempi dell'operazione sono di molte decine di ore, con costi elevatissimi.

Per poter aumentare la velocità di taglio e gli avanzamenti è necessario usare il metallo duro (*carbide*) ma, come si può ben capire, non è possibile costruire un creatore di grandi dimensioni integralmente in metallo duro ed allora sono rientrati prepotentemente sul mercato i creatori con inserti staffati meccanicamente su un corpo in acciaio da costruzione.

In verità, questo tipo di creatore era già presente sul mercato dal 1979 (Ingersoll) e nel 1980 (Fette), ma il loro impiego era limitato a casi sporadici, anche perché l'utilizzazione di questo tipo di utensile richiede delle macchine estremamente potenti, robuste e rigide.

Solo così infatti si possono sfruttare in pieno le potenzialità che essi offrono.

La crescita del mercato ha indotto molti altri costruttori a mettere a punto creatori ad inserti, tra i più importanti si possono citare oltre la Fette, anche la Kennametal, la Sandvik Coromant, la Seco Tools.

Oggi quindi si dispongono di utensili molto sofisticati che possono lavorare con velocità di taglio anche 2 o 4 volte superiori a quelle possibili con i creatori in HSS, in grado quindi di tagliare i tempi di produzione del 50%.

Qui si parla di tempi terra-terra, che includono anche i lunghissimi tempi di set-up e di posizionamento dell'ingranaggio. I tempi effettivi di taglio sono circa inversamente proporzionali all'aumento della velocità di taglio e dell'avanzamento.

Ma quali sono i vantaggi essenziali dell'impiego dei creatori ad inserti?

Il primo e più grande vantaggio, come si è detto, è quello di poter tagliare con velocità comprese tra 100 e 150 m/min, a seconda del materiale lavorato, e questo è possibile perché i carburi sinterizzati mantengono la loro elevata durezza anche a temperature elevate.

Gli inserti poi sono ricoperti con TiN o con altri tipi di film che conferiscono una maggior resistenza all'usura anche alle alte temperature, cioè fino a 400 – 600 °C.

Questo è tanto vero che normalmente non è necessaria la refrigerazione durante l'operazione di dentatura.

Un secondo grande vantaggio è quello di poter "girare" gli inserti presentando un nuovo tagliente e questo senza bisogno di affilature.

Ecco, è qui il punto. L'affilatura di un grande creatore in HSS richiede apposite macchine affilatrici che non tutti hanno. Moltissimi utilizzatori devono inviare il creatore al costruttore che lo affilerà e provvederà ad una nuova ricopertura.

Ciò richiede tempo e quindi un aumento dello stock a magazzino.

Se per un creatore ad inserti è sufficiente avere un creatore in macchina ed, eventualmente, uno pronto per essere montato, un creatore monoblocco in HSS richiede una scorta di almeno 3 creatori fuori macchina.

I creatori ad inserti inoltre offrono il vantaggio di poter cambiare agevolmente il grado del "carbide" adeguandolo al materiale dell'ingranaggio da lavorare.

Attualmente si possono usare inserti "positivi" o "negativi" ed in ogni caso è possibile utilizzare almeno due taglienti per ogni inserto.

L'inserto può essere anche notevolmente complesso, per esempio in grado di eseguire lo scarico a fondo dente (inserti con protuberanza) e lo smusso sulla sommità del dente (inserti con semitopping).

Se si tratta di un creatore di grande modulo, per ogni singolo fianco, il tratto tagliente viene suddiviso in due parti, con due inserti di forma diversa.

Il tratto rettilineo, per esempio, può utilizzare inserti negativi con anche quattro spigoli utili.

Vedere figura N°2

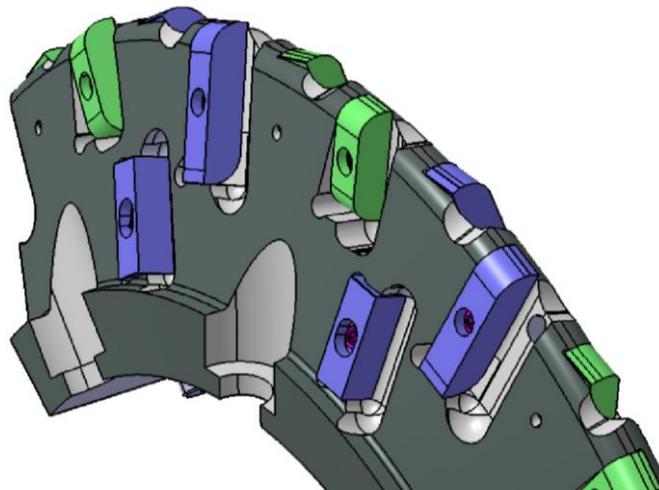


Figura N°2- Dettaglio della disposizione degli inserti su un creatore di grande modulo (Cortesia LMT-Fette)

Nella figura N°3 sono riportate in forma schematica le disposizioni degli inserti in alcuni casi tipici.

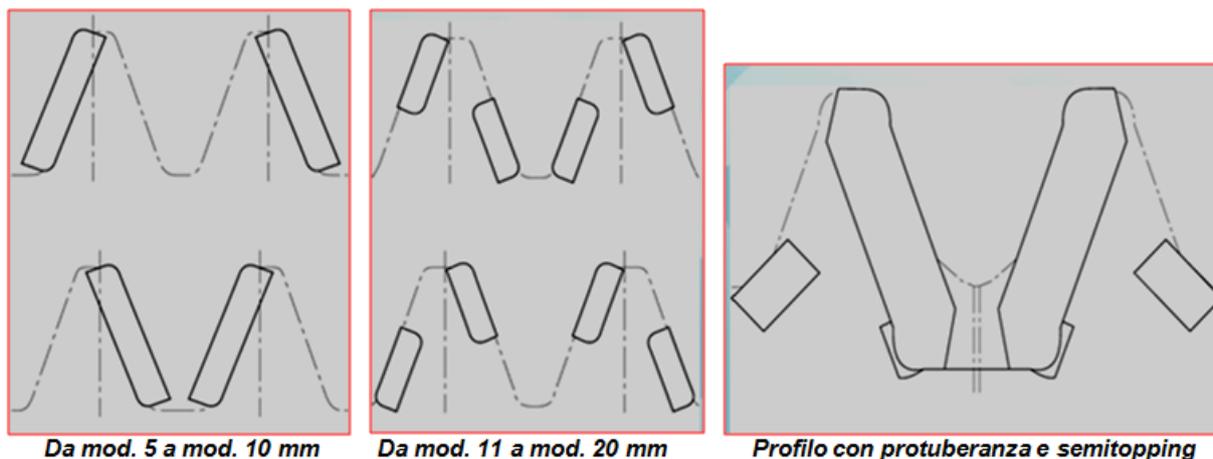


Figura N°3- *Tipiche disposizioni degli inserti*

La struttura generale del creatore ad inserti è abbastanza complessa.

Su un corpo in acciaio, su cui sono ricavati tutti i riferimenti di posizionamento, sono fissati dei segmenti su cui sono ricavate le sedi degli inserti.

Il tutto è poi fissato con due anelli di chiusura laterali, come schematicamente indicato in figura N°4.

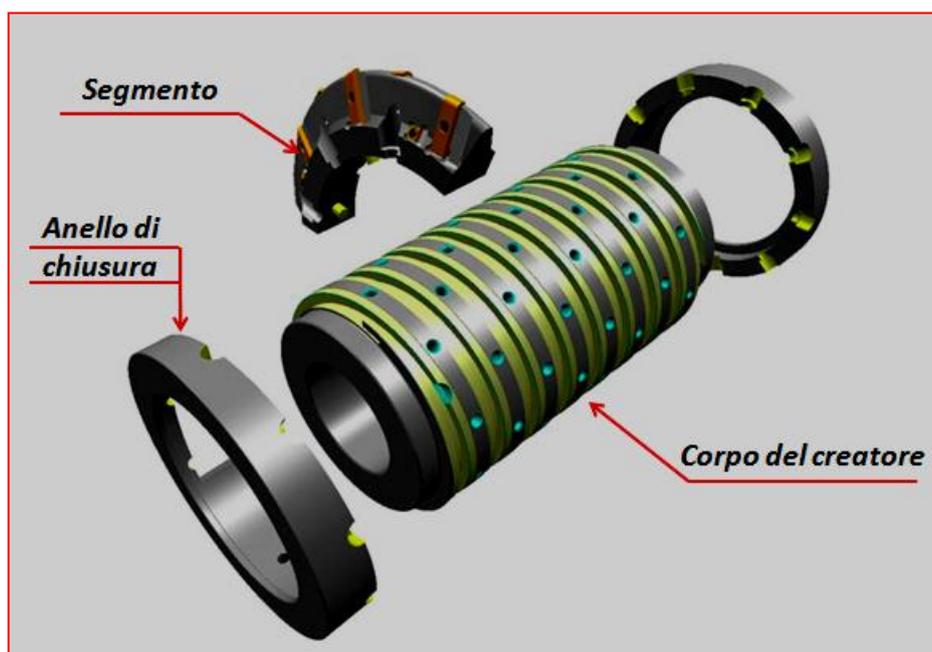


Fig.N°4- *Schema di montaggio di un creatore ad inserti (Cortesia LMT-Fette)*

Si è già accennato al fatto che gli ingranaggi di grandi dimensioni richiedono normalmente una precisione della Classe DIN 8 – 9, ma queste precisioni sono ottenibili solo in determinate condizioni che possono essere riassunte in:

- *Macchina operatrice di grande potenza e di elevata rigidità*
- *Esecuzione in più passate. Sgrossatura, semifinitura, finitura.*
- *Adozione di condizioni di lavoro non troppo spinte, specie per quanto riguarda l'avanzamento.*
- *Creatori di buona precisione.*

Gli sforzi dei costruttori di creatori ad inserti oggi sono rivolti ad ottenere creatori molto precisi, parliamo almeno della classe DIN A e questo comporta una cura particolare nell'esecuzione delle sedi degli inserti e nell'esecuzione accurata delle parti che

costituiscono il corpo. Inoltre si tratta di perfezionare la costruzione degli inserti arrivando nella sinterizzazione a tolleranze dimensionali che normalmente sono ottenute con la rettifica.

Oggi la precisione di un ingranaggio dentato con un creatore ad inserti è difficilmente migliore della classe DIN 10.

I creatori ad inserti, che possono anche essere a due principi, sono molto costosi, all'incirca 4 – 5 volte un corrispondente creatore in acciaio rapido, perciò si fa in modo di non sollecitarlo troppo.

A questo scopo in genere, quando il modulo è superiore a circa 10 -12 mm, si preferisce eseguire l'operazione di sgrossatura con una fresa biconica ad inserti, che lavora in modo discontinuo, cioè dente per dente, ed asporta una grande quantità di materiale, con avanzamenti molto elevati, lasciando un soprametallo di circa 2 – 3 mm per fianco per la successiva operazione di semifinitura, o di finitura, con il creatore.

Nella figura N°5 è rappresentata una di queste frese.



Fig.N°5 – Fresa biconica ad inserti per la sgrossatura di ingranaggi. (Cortesia LMT-Fette)

La disposizione degli inserti sul corpo fresa varia secondo il modulo e il diametro, ma quasi sempre, sopra il modulo 10 mm, sono previsti denti alternati, con inserti che tagliano solo per un tratto del profilo.

Queste frese sono progettate per lavorare con grandi avanzamenti al giro, 2 – 3 mm/giro, e poiché i taglienti che tagliano uno stesso tratto del profilo sono pochi (nell'esempio di figura N°4 solo 5), ogni inserto è molto sollecitato.

Per rendere il tagliente più robusto e resistente ai continui urti, si adottano inserti negativi, ma questa soluzione, pur consentendo l'utilizzazione di un minimo di 4 taglienti, aumenta considerevolmente lo sforzo di taglio e la potenza assorbita.

Si risolve il problema utilizzando degli inserti *positivizzati* con un rompi truciolo come quello indicato nella figura N°6 che, tra l'altro, ha anche il vantaggio di frantumare i trucioli rendendone più facile la loro evacuazione.

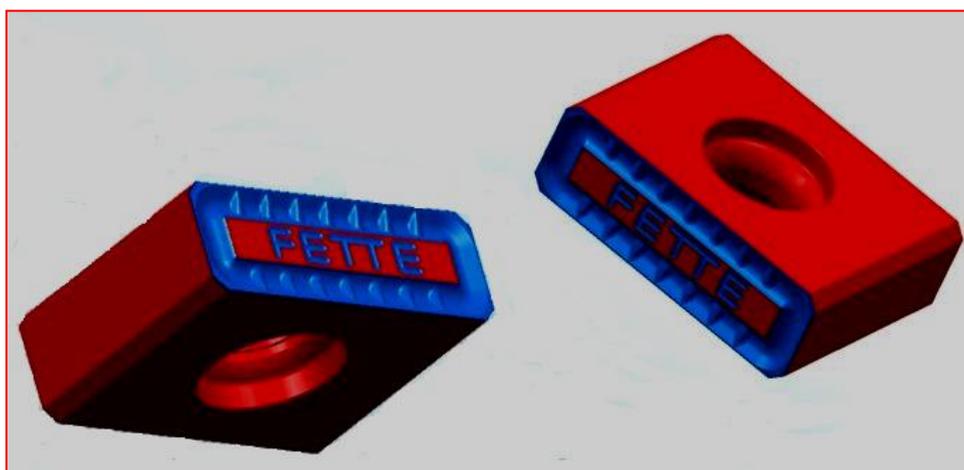


Fig. N°6– Inerti per frese sgrossatrici con rompi trucioli. (cortesia LMT-Fette)

Le frese destinate alla sgrossatura degli ingranaggi sono semiconiche con i fianchi rettilinei con un'inclinazione pari all'angolo di pressione sul primitivo dell'ingranaggio. Questo significa che il soprametallo lasciato per la successiva operazione di semifinitura o di finitura con il creatore, non sarà costante.

In genere questo inconveniente non genera alcun inconveniente sul creatore di finitura. Bisogna osservare ancora che queste frese di sgrossatura molto spesso vengono usate prima di un creatore in HSS.

La fresatura di finitura con frese ad inserti è un po' più complicata perché come è noto, per ogni ingranaggio, dal punto di vista teorico, sarebbe necessaria una specifica fresa.

Il profilo del dente dell'ingranaggio di uno stesso modulo infatti varia con il variare del numero di denti, e dell'angolo dell'elica, senza tener conto delle eventuali altre modifiche imposte al profilo.

Se si vogliono finire gli ingranaggi con le frese ad inserti bisognerà preparare degli inserti speciali, rettificati, che abbiano il tagliente con la forma ad evolvente corrispondente al profilo dell'ingranaggio. Si tratta quindi di inserti molto costosi.

Esempio di lavorazione

In questo esempio vengono confrontati due creatori, uno monoblocco in HSS ed uno ad inserti, per dentare un ingranaggio, in modo da dare un'idea delle differenze sulle caratteristiche di lavoro e sui tempi di taglio.

Supponiamo di dentare un ingranaggio con le seguenti caratteristiche:

- Modulo $m = 12$ mm
- Numero di denti $Z = 200$
- Diametro primitivo $D_p = 2400$ mm
- Larghezza fascia dentata $L_1 = 90$ mm
- Materiale = 42CrMo4

<i>Tipo di creatore</i>	<i>Monoblocco in HSS</i>	<i>Ad inserti</i>
<i>Diametro del creatore</i> <i>mm</i>	250	220
<i>Numero di principi</i>	1	1
<i>Numero di taglienti</i>	9	12
<i>Velocità di taglio</i> <i>m/min</i>	65	100
<i>Avanzamento</i> <i>mm/giro pezzo</i>	2,5	4,5
<i>Alimentazione</i> <i>mm/min</i>	1,175	2,857
<i>Lunghezza corsa (inclusi tratti di entrata e uscita)</i> <i>mm</i>	150	170
<i>Tempo di taglio</i> <i>min</i>	127,66	59,50
<i>Confronto percentuale</i> %	100	46,6

Bisogna osservare che il diametro del creatore monoblocco in HSS è inferiore a quello del creatore ad inserti e questo permette tra l'altro di ridurre la lunghezza della corsa totale. Il risultato finale è quello di ridurre dell'oltre il 50% il tempo di taglio.



Fig. N°7- Esempio di creatore ad inserti (cortesia LMT- Fette)

Nella figura N°1 è rappresentato un ingranaggio di modulo 39 mm con 204 numero di denti (diametro primitivo 7956 mm) e di fascia 580 mm.

Se si esegue un'operazione di semifinitura con un creatore in HSS di diametro 300 mm alla velocità di taglio di 70 m/min ed avanzamento al giro pezzo di 1,6 mm, il puro tempo di dentatura sarebbe di 20 ore.

Si capisce bene quindi quali vantaggi economici ci sono utilizzando utensili che possono tagliare il tempo del 50%.

(Articolo pubblicato sulla rivista Organi di Trasmissione)