

## Monitoraggio in tempo reale nella lavorazione degli ingranaggi

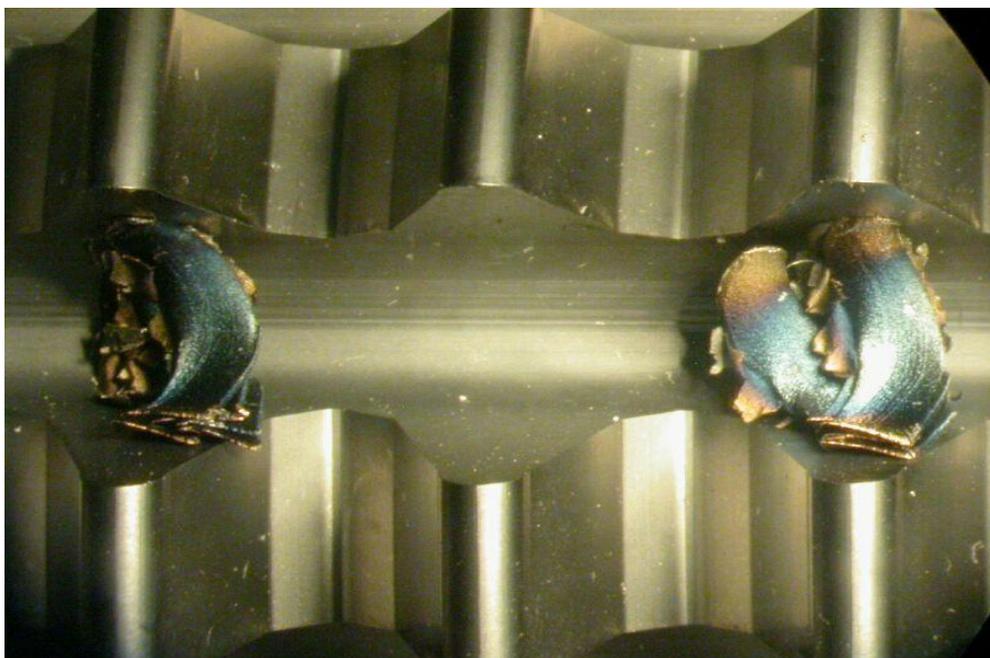
Nelle moderne linee di produzione di ingranaggi sono inserite dentatrici capaci di alte velocità di taglio e di avanzamenti per giro pezzo un tempo impensabili.

La corsa per ridurre i tempi ciclo e i costi complessivi ha portato ad una esasperazione delle condizioni di lavoro ed ad una automazione spinta delle macchine stesse.

Oggi è molto comune l'adozione del taglio a secco, per esempio, con velocità di taglio superiori a 150 m/min, con creatore a più principi ricoperti con TiAlN, che lavorano al limite della loro capacità operativa.

E' sufficiente una piccola anomalia di affilatura, o della ricopertura, o nel materiale lavorato, o nell'assetto della macchina per distruggere il creatore e danneggiare seriamente la macchina.

Il deflusso dei trucioli è più difficoltoso in assenza del lubrorefrigerante e con condizioni di lavoro gravose e non è raro che essi, accumulandosi nei vani dei denti provochino rotture o il danneggiamento grave del creatore. La figura N°1 mostra appunto la fase iniziale dell'intasamento dei trucioli; proseguendo nella lavorazione in queste condizioni si ha la distruzione sicura dell'utensile.



**Figura N°1** – *Intasamento dei trucioli nei vani delle dentatura di un creatore*

I

In questi casi oltre alla perdita di un costoso utensile si provocano spesso danni alla macchina, alle attrezzature, con pezzi di scarto e perdite di tempo per il ripristino delle condizioni normali.

Questi incidenti di lavorazione rivestono particolare importanza nelle linee automatiche oppure nella dentatura di grandi ingranaggi con creatori ad inserti di modulo elevato, dove evidentemente i danni economici sarebbero pesanti. Non parliamo poi se si lavora con creatori in metalli duri, che oltre ad essere molto costosi sono anche più soggetti a scheggiature ed a rotture.

Da questa breve premessa risulta chiaro che un dispositivo che controlla in continuo le condizioni di dentatura e metta in rilievo ogni scostamento dalle condizioni ottimali faciliti molto la vita degli operatori e permetta risparmi notevoli.

La Montronix Italia (Vigevano – PV) fornisce appunto un sistema di monitoraggio che è in grado di rendere assolutamente sicura non solo la dentatura con creatore ma anche altre tipologie di lavorazioni, come la rasatura, rettifica, foratura e maschiatura, ecc.

Il sistema di monitoraggio consiste essenzialmente in sensori che rilevano in continuo la potenza attiva assorbita e la comunicano ad una unità elettronica di processo (Spectra) che elabora i dati e li confronta con dei limiti opportunamente predisposti.

Se il segnale supera uno o più limiti, l'unità elettronica fa scattare l'allarme attivando una reazione della macchina adeguata al tipo di evento riscontrato.

Vengono predisposti vari limiti, che sono in pratica le tolleranze sulla potenza assorbita in caso di anomalie più o meno gravi o in base al naturale progredire dell'usura dell'utensile.

I sensori Montronix possono misurare la potenza attiva sia su motori DC che su quelli AC funzionanti sia a frequenza fissa che variabile, e questo dato è rilevato con una precisione elevatissima che permette l'abbinamento dei valori alle tipiche anomalie che possono verificarsi nel corso delle lavorazioni.

Questo anche grazie a sofisticati ed evoluti algoritmi e software implementati nel sistema.

I dispositivi elettronici di elaborazione sono in grado di valutare variazioni della potenza molto piccole, le quali possono essere, per esempio, provocate dal progredire dell'usura sui denti del creatore, oppure da un soprametallo superiore al normale, o dalla rottura di un singolo dente del creatore o da una durezza eccessiva del materiale costituente il pezzo o da molte altre cause ancora.

Una delle caratteristiche fondamentali del sistema è la grande velocità di risposta.

È infatti essenziale che in presenza di un evento anomalo, l'allarme o l'arresto automatico della macchina avvenga nel più breve tempo possibile per evitare l'aggravarsi del danno.

Ritornando all'esempio illustrato dalla figura N°1, al primo accenno di uno sforzo eccessivo dovuto all'intasamento dei trucioli è opportuno fermare la macchina immediatamente per evitare la distruzione completa del creatore. In questi eventi, che potremmo definire come catastrofici, oltre al creatore vengono quasi sicuramente danneggiate anche parti della attrezzatura e si producono pezzi di scarto.

Talvolta accade anche che il pezzo non sia bloccato correttamente e che si muova durante la lavorazione. Questo fatto, potenzialmente molto grave, viene messo in evidenza perché l'assorbimento di potenza varia con frequenza alta e viene segnalato da un diagramma molto frastagliato. Se le oscillazioni superano un certo livello la macchina viene bloccata per evitare che il problema diventi molto grave.

Poiché ogni lavorazione ha un suo proprio spettro di assorbimento di potenza, è necessario che la centrale di elaborazione Montronix venga programmata attraverso la funzione di autoapprendimento ad hoc per ogni singola lavorazione, magari con alcuni test che permettano di acquisire i dati con un funzionamento normale e con un funzionamento con diverse condizioni di carico.

Si pensi per esempio alla variazione di potenza che si ha nella dentatura con creatore passando dalla fase di penetrazione a quella di taglio "in pieno" e alla fase di distacco. Oppure alle differenti potenze assorbite in fase di sgrossatura ed in quella di finitura, oppure ancora a quelle assorbite lavorando ingranaggi con moduli piccoli piuttosto con moduli grandi.

Le variabili non sono però limitate a queste, basti pensare infatti ai diversi tipi di creatore che si possono impiegare per uno stesso ingranaggio, variando il numero di principi o il numero dei taglienti.

L'impostazione dei programmi sul sistema Montronix prevede la necessaria programmazione, agevolata però dalla funzione di autoscaling e autoapprendimento oltre che la memorizzazione di ogni programma e la possibilità di richiamare quello definito per ogni singola lavorazione. Questo è particolarmente utile se su una singola dentatrice si lavorano diversi tipi di ingranaggi con diverse caratteristiche e con diversi utensili. Si possono salvare fino a 1500 profili di monitoraggio o programmi pezzo e come già detto è

presente una “*funzione di apprendimento*” che dà la possibilità al sistema di calcolare automaticamente i profili di controllo più adeguati semplicemente premendo un tasto.

Oggi sono molto diffuse anche macchine a CNC che possono montare creatori doppi, come quelli di figura N°2, che sono in grado di lavorare due ingranaggi diversi nel corso di uno stesso ciclo. E' quindi possibile il cambio automatico di programma installato sul sistema di monitoraggio quando si passa da un ingranaggio all'altro.



**Figura N°2** – *Creatore doppio per dentare due ingranaggi di un albero nello stesso ciclo*

I dispositivi Montronix possono essere integrati su ogni tipo di CNC.

Meglio ancora se il CN operi in un ambiente Windows, come per esempio sul classico Siemens Sinumerik 840 D. Lavorare in un ambiente Windows consente una più chiara esposizione dei dati ed una più intuitiva gestione dei programmi.

Alternativamente il dispositivo di controllo è equipaggiato di proprio display a colori ad alta risoluzione con funzione touch screen.

In questo caso l'elettronica Montronix funziona come una specie di interfaccia tra i sensori ed il controllo numerico.

Questo sistema di monitoraggio può essere applicato anche su macchine non di ultima generazione o su macchine meccaniche che sono state retrofittate con l'applicazione del controllo numerico.

Le varie anomalie che vengono rilevate del sistema, oltre ad innescare l'azione di salvaguardia della macchina e degli utensili, vengono riportate in chiaro sul display del controllo numerico con testi che spiegano il tipo di inconveniente.

Sulle macchine per la lavorazione degli ingranaggi, quali dentatrici a creatore, dentatrici a coltello e rasatrici, grazie agli evoluti algoritmi di elaborazione implementati nel sistema di monitoraggio, è possibile tenere sotto controllo le seguenti anomalie:

- *Rottura di uno o più denti*
- *Usura del creatore*
- *Verifica del soprametallo da asportare*
- *Ottimizzazione del processo*
- *Collisioni*
- *Qualità del pezzo prodotto*
- *Difettosità della macchina*

Vediamo ora un po' più in dettaglio come avviene il controllo di qualcuno di questi elementi e che vantaggi generano, tenendo presente che i vari programmi di monitoraggio possono operare contemporaneamente durante uno stesso ciclo.

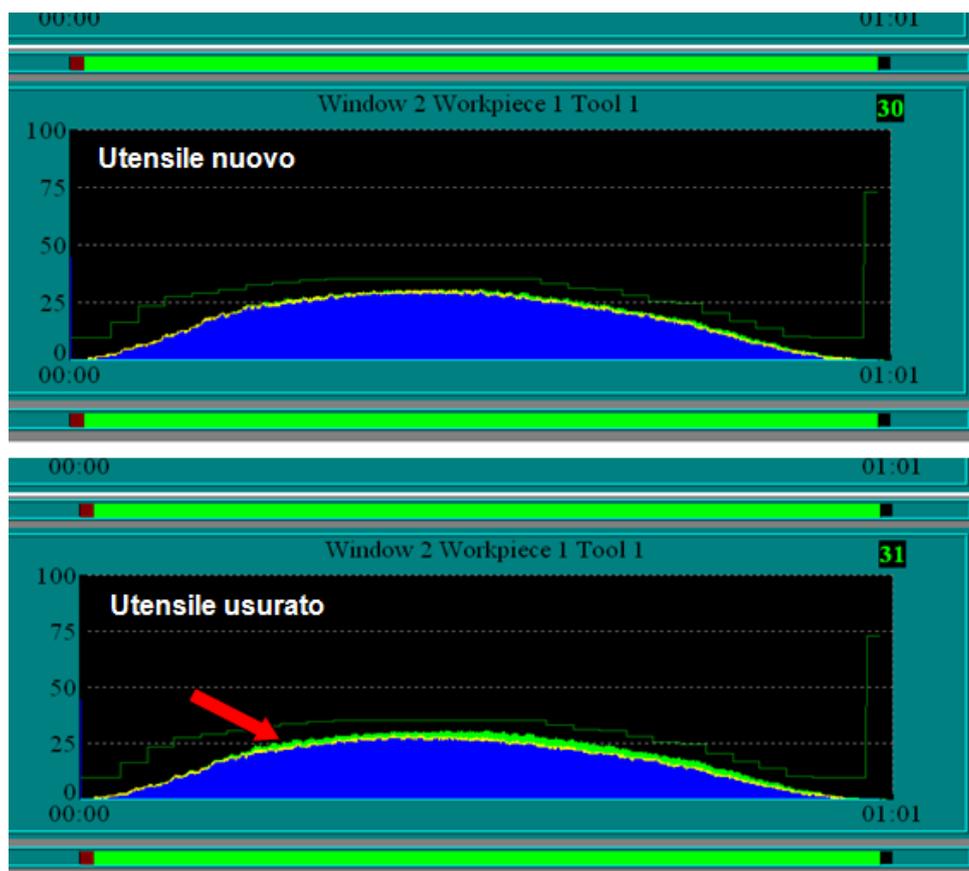
### Usura del creatore

Il controllo dell'usura del creatore ha l'obiettivo di ottimizzare il rendimento complessivo dell'utensile. In altre parole si può dire che il creatore è utilizzato nel migliore dei modi quando per ogni montaggio esso si usura in modo uniforme e per un valore contenuto entro limiti ben precisi. Il progredire dell'usura su un creatore segue una curva che è ripida nella prima fase per poi stabilizzarsi su una quasi retta più o meno inclinata nella seconda fase e per poi diventare più ripida fino a crescere in modo esponenziale.

L'utilizzazione ottimale del creatore prevede di toglierlo dalla macchina quando è alla fine della crescita proporzionale ma prima che inizi la rampa finale.

Questo non è quasi mai realizzato perché difficilmente ogni creatore si comporta nella stesso modo e anche uno stesso creatore può comportarsi in maniera diversa in due successivi montaggi, a causa di anche lievi differenze di affilatura o a variazioni delle caratteristiche del materiale lavorato.

Il monitoraggio della potenza assorbita durante il ciclo di dentatura consente però di capire il livello di usura del creatore stesso e quindi di poterlo sfruttare in modo ottimale.



**Figura N°3** – Diagrammi dell'assorbimento di potenza in caso di utensile nuovo ed usurato

Con riferimento alla figura N°3, il diagramma relativo all'assorbimento di potenza durante la lavorazione con creatore nuovo mostra un'area di colore blu che è quella normale.

A mano a mano che l'usura del creatore progredisce aumenta lo sforzo di taglio e quindi aumenta la potenza assorbita. L'incremento della potenza viene evidenziato in colore verde (vedere freccia rossa).

L'algoritmo utilizzato in questo caso calcola l'area ottimale (blu) e quella verde corrispondente all'incremento di potenza e poi dice di che percentuale è questo aumento rispetto a quella di partenza.

Quando viene raggiunto il limite superiore prefissato scatta l'allarme e viene segnalato che il creatore deve essere sostituito.

In questo modo si evita in primo luogo lo spreco, molto frequente, di sostituire il creatore a cadenza fissa, cioè dopo un numero di pezzi che normalmente, per prudenza, non fa raggiungere al creatore l'usura ottimale ed in secondo luogo si impedisce al creatore di raggiungere usure troppo elevate, caso questo sempre possibile nella produzione di ingranaggi. In definitiva si ottiene una sensibile riduzione del costo utensile per pezzo prodotto.

E' evidente che quello che si è detto per i creatori per il taglio degli ingranaggi cilindrici è in gran parte vero anche per il taglio delle ruote coniche, di piccole e di grandi dimensioni. (Figura N°4).



**Figura N°4-** *Dentatura di un pignone conico*

#### Qualità del pezzo prodotto

In pratica si tratta di individuare i momenti in cui si iniziano a produrre ingranaggi con evidenti difetti dovuti ad una serie di cause differenti.

Per esempio se parliamo di lavorazioni con creatore, succede con una certa frequenza che un dente si scheggi o che il ricoprimento TiN cominci a sfaldarsi in uno o più denti. In questo caso inizia un veloce incremento dell'usura che parte dal punto accidentato e si estende nella zona circostante. Il più delle volte lo spigolo del dente incriminato si arrotonda coinvolgendo successivamente tutti i denti che lo seguono.

Sull'ingranaggio si producono errori di profilo ed un pericoloso aumento del raccordo di fondo dente che oltre a rendere il pezzo di scarto può compromettere seriamente le operazioni di finitura (rasatura e rettifica).

In condizioni normali, senza un attento monitoraggio, prima di accorgersi della cosa si producono numerosi pezzi di scarto.

La cosa è ancora più frequente nella dentatura con coltello stozzatore. Qui infatti anche un solo dente scheggiato o fortemente usurato genera pezzi di scarto perché ogni dente del coltello è responsabile della precisione di un dente del pezzo.

In rasatura bisogna considerare che il progredire dell'usura del coltello rasatore è fortemente variabile da montaggio a montaggio e che è estremamente difficile stabilire un numero di pezzi standard da eseguire per ogni montaggio.

Succede molto spesso che un coltello che si usuri prima del tempo previsto produca una quantità elevata di pezzi di scarto, soprattutto per difetti della superficie del dente (rugosità eccessiva) ed errori di profilo.

Succede con una certa frequenza anche che il coltello vada ad interferire con il raccordo di fondo dente, specie quando questi è stato maggiorato da un'usura eccessiva del creatore o del coltello. In questo caso c'è una forte probabilità che alcuni denti del coltello si rompano.

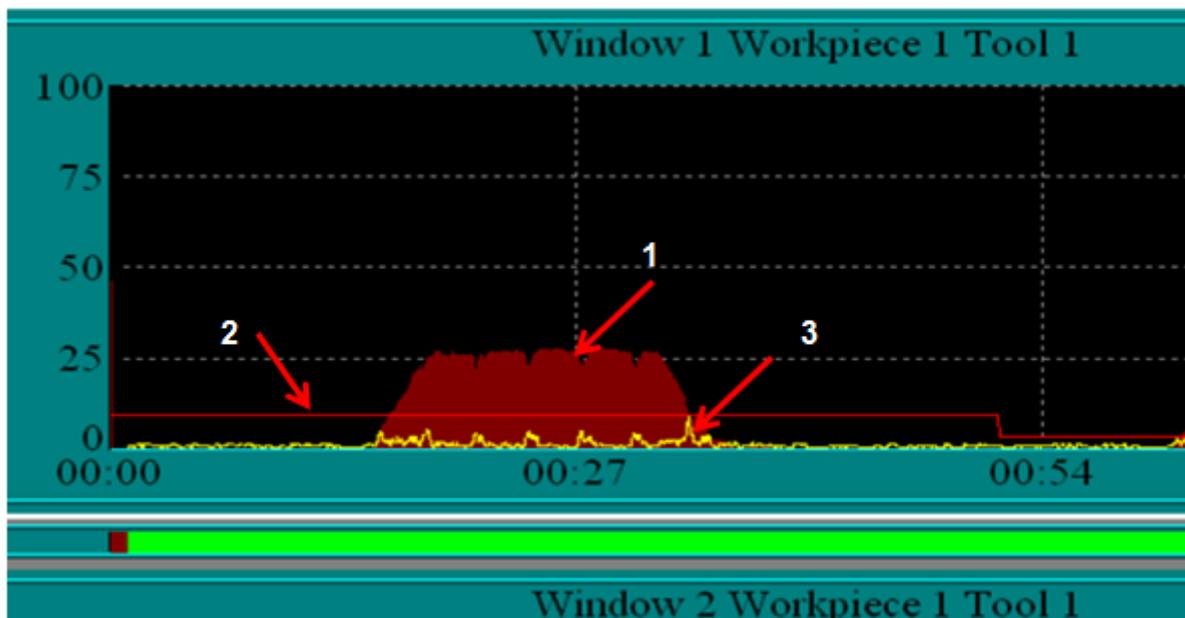
Poiché questi difetti sono provocati da un eccesso di usura, la quale fa aumentare la potenza assorbita, ecco che un monitoraggio con la sensoristica Montronix può risolvere egregiamente il problema e ridurre il numero degli scarti.

Non molto dissimile è il caso di finitura con la rettifica di forma. In questo caso sono pericolosi soprattutto i soprametalli eccessivi che possono generare dei surriscaldamenti localizzati con modifica della struttura superficiale dei denti.

Tale difetto, che è difficilmente rilevabile, riduce sensibilmente il livello qualitativo del prodotto finito.

Infine esiste la possibilità, comune in tutte le lavorazioni, di un bloccaggio del pezzo non adeguato a garantire un sicuro trascinarsi. Ciò accade normalmente quando i collarini laterali dell'ingranaggio hanno un'area troppo piccola e non possono essere deformati con chiusure che abbiano delle dentature sulla facciata che preme il pezzo, oppure quando si lavorino alberi con codoli di estremità di diametro molto ridotto.

Lo slittamento del pezzo può a volte provocare molti danni all'utensile e alla macchina.



**Figura N°4** – Evidenziazione degli incrementi di potenza istantanei dovuti ad imperfezioni nel bloccaggio pezzo.

La figura n°4 mostra una schermata in cui si può vedere la zona rossa (1) che rappresenta l'assorbimento normale di potenza, la linea continua rossa (2) che indica il limite massimo

dell'incremento istantaneo di potenza e la linea gialla (3) che rappresenta l'incremento anomalo di potenza assorbita causato da un bloccaggio imperfetto del pezzo.

Quando la linea gialla raggiunge il limite di tolleranza (linea 3), scatta l'allarme e la macchina si ferma.

E' del tutto evidente che oltre a ridurre i costi imputabili a: utensileria, pezzi di scarto, danneggiamenti delle attrezzature e della macchina stessa, in generale si ha una riduzione del tempo passivo per fermo macchina a seguito di minori incidenti e dell'ottimizzazione della durata degli utensili.

#### Verifica del materiale da asportare

Per concludere accenniamo anche alla possibilità di tenere sotto controllo il soprametallo da asportare.

Nelle operazioni di finitura non è raro il caso che entrino in macchina pezzi con soprametalli troppo grandi o troppo piccoli.

Nel primo caso in rasatura si ottengono pezzi con errori di profilo e con eccessive strappature sulle superfici lavorate, mentre in rettifica, oltre al rischio di danneggiare la mola incombe sempre il pericolo di surriscaldamenti localizzati che modificano la struttura dell'acciaio rendendo l'ingranaggio di scarto.

Nel secondo caso, se il soprametallo è molto ridotto, esiste la possibilità che dopo l'operazione di finitura, sulla superficie dei denti, rimangano tracce dell'operazione di sgrossatura.