

Evolventimetri di alta classe

Il controllo degli ingranaggi è un settore particolare della metrologia in cui sono utilizzate apparecchiature specifiche altamente sofisticate.

Ogni azienda produttrice di ingranaggi ha come target prioritario una precisione sempre più elevata del prodotto e, più in particolare, ciò significa una diminuzione della rumorosità delle trasmissioni.

Questo vuol dire, molto spesso, eseguire ingranaggi con ben definite modifiche dei profili e delle eliche che rendono la superficie dei denti molto complessa dal punto di vista topologico.

Si sta verificando già da molti anni una irreversibile tendenza alla trasformazione dei cicli di lavorazione che prevedono sempre più spesso operazioni di rettifica o di levigatura dopo il trattamento termico con un miglioramento della qualità finale che si può stimare in 1 – 2 classi DIN (tab. 3962).

Parallelamente al miglioramento dei mezzi di produzione (dentatrici, utensili, macchine di finitura) si sono sempre più perfezionati i mezzi di controllo e, in particolare, quelli destinati alla misura degli elementi caratteristici della dentatura, cioè gli evolventimetri.

In questo campo la Wenzel GearTec (Karlsruhe – Germania), azienda che fa parte della Wenzel Group, è all'avanguardia a livello mondiale soprattutto per l'implementazione nei suoi apparecchi di tecnologie e di software dell'ultima generazione.

Gli evolventimetri dei vari modelli possono coprire una gamma dimensionale ampissima, che va dai piccoli ingranaggi alle grandi corone dentate di alcuni metri di diametro, utilizzate nei settori della produzione di energia o di altri grandi impianti.

L'utilizzazione di software dedicati permette di controllare ogni tipo di ingranaggio: cilindrico, conico, esterno e interno, ma anche viti senza fine e ruote elicoidali per viti senza fine, utensili quali i creatori, rasatori e coltelli stozzatori e molto altro.

Per quanto riguarda il controllo dei coltelli rasatori è da mettere in rilievo che il relativo software permette il controllo in automatico della divisione dei coltelli underpass e plongeè, assicurando lo spostamento in senso assiale del tastatore in modo da toccare sempre un "pieno" della dentinatura e di tener altresì conto dell'eventuale cavità o bombatura del dente.

Insomma una serie di macchine estremamente flessibile, multifunzionali e di estrema precisione.

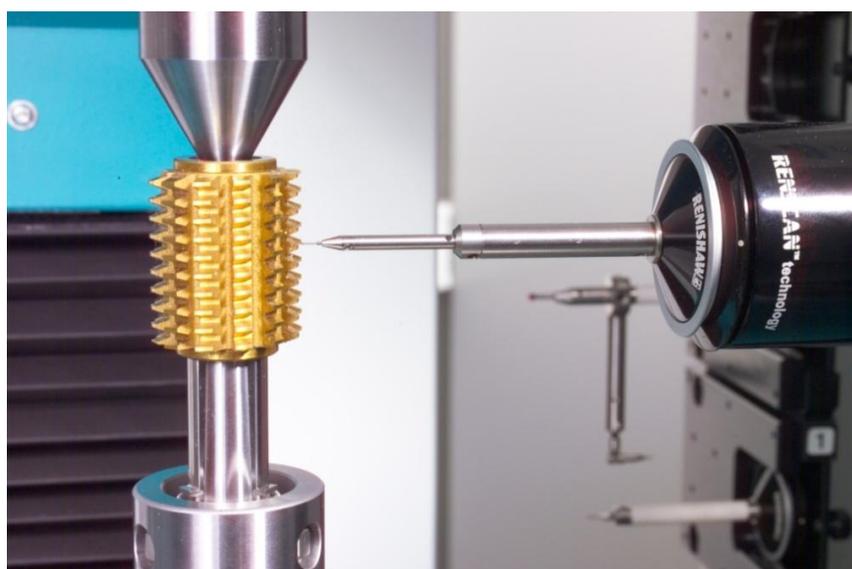


Figura N°1- *Controllo di un creatore con evolventimetro Wenzel*

Ma vediamo più in dettaglio qualche aspetto tecnico di questi apparecchi.

La caratteristica più qualificante è probabilmente il largo utilizzo del "granito naturale" che, oltre al basamento, è anche il materiale con cui vengono costruite le colonne e gli altri

elementi di supporto.

In pratica tutti e tre gli assi principali, X,Y,e Z, si muovono su supporti di granito, materiale che ha delle proprietà fisiche che lo rendono ideale per le macchine di misura grazie, in particolare, alla sua rigidità, ai suoi bassi coefficienti di dilatazione e di conducibilità termica. Contrariamente a quello che comunemente si crede, il granito ha un peso specifico molto inferiore a quello dell'acciaio e prossimo a quello dell'alluminio.

Nella tabella N°1 si riportano le principali caratteristiche fisiche di alcuni materiali.

Tab. N°1 – Proprietà fisiche di alcuni materiali

Materiale	Peso specifico 10^4 N/m^3	Coefficiente di dilatazione termica $10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{K}$	Coefficiente di conduzione termica $\text{W/m}\cdot^\circ\text{K}$
Acciaio	7,70	10,4	42 ÷ 63
Alluminio	2,7	23,8	210
Ceramica (Al_2O_3)	3,85	8,0	28
Granito	2,8	6,5	3,5

Come si può facilmente capire con il granito si riducono drasticamente le deformazioni dovute alle dilatazione termiche e in generale all'influenza degli sbalzi di temperatura sia dell'ambiente sia imputabili all'operatività dell'apparecchio.

La Wenzel ha posto una particolare cura alla rimozione delle cause di errore provocato dalla diversa temperatura che può avere il pezzo nei confronti delle varie parti della macchina e ha quindi preparato delle opzioni che prevedono il rilevamento della temperatura del pezzo in esame e dei supporti di scorrimento degli assi X,Y, Z.

In base a questi rilievi, considerando anche il tipo di materiale del pezzo e quindi del suo specifico coefficiente di dilatazione termica, vengono eseguite le opportune correzioni dei dati rilevati dalle sonde metriche.

Un fattore di perturbazione delle misure sono le vibrazioni.

Oramai gli errori di profilo, di elica e di passo si misurano in pochi micrometri e, a volte, in frazioni di micrometro, quindi anche una debole vibrazione che dal pavimento passa attraverso il basamento ed arriva al pezzo o alla sonda può falsare la misura.

Ecco allora che può essere adottato un sistema di antivibranti attivi. In pratica la tavola è appoggiata su cuscinetti d'aria che assorbono le vibrazioni eliminando una causa di errore della misura.

L'evolventimetro ha normalmente quattro assi gestiti dal CNC di cui tre lineari: X, Y e Z e uno circolare C, come illustrato schematicamente dalla figura n°2.

Il controllo numerico è realizzato internamente dalla Wenzel stessa utilizzando componenti hardware commerciali. Si opera attraverso un'interfaccia windows che rende molto facile l'inserimento dei dati e la lettura dei risultati.

Il fatto di utilizzare componenti commerciali standard permette un facile reperimento delle parti di ricambio in tutto il mondo accorciando i tempi di intervento e riducendo drasticamente i costi.

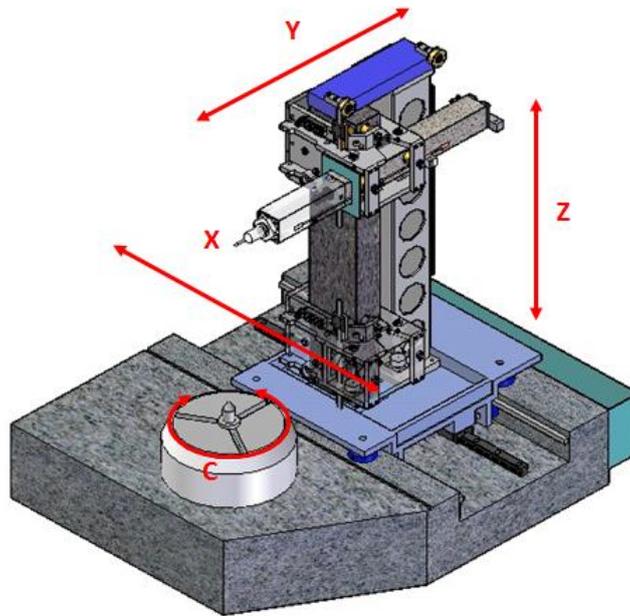


Figura N°2– Schema assi dell'evolventimetro Wenzel in cui si possono notare anche il basamento, la colonna e il supporto dell'asse Y costruiti in granito

Bisogna a questo punto fare una precisazione molto importante.

I movimenti lineari sono generati da motori in corrente continua e trasmessi alle parti mobili con un sistema di cinghie o, in alcuni casi, con viti a ricircolo di sfere.

Questi sistemi hanno evidentemente delle precisioni di posizionamento non molto alte, sicuramente inferiori a quanto richiesto dalla precisione del controllo, ma ciò non è così importante.

Le reali posizioni delle slitte vengono rilevate da righe ottiche di grande precisione e sono appunto questi dati che servono a determinare l'esatta posizione nello spazio dei tastatori e quindi a definire in modo univoco lo stato della superficie che si sta controllando.

In altre parole, se viene rilevato che la posizione delle slitte si discosta dal teorico di una certa quantità ΔL , questo valore serve a modificare il rilievo del tastatore depurandolo appunto dello scostamento ΔL .

Per quanto riguarda gli spostamenti lineari inoltre bisogna osservare che le parti mobili si muovono sul basamento o sugli altri supporti di granito su cuscinetti d'aria, cioè senza un contatto diretto tra le parti solide e quindi senza possibilità di attrito e di usura.

In pratica si tratta di interporre tra la parte fissa e la parte mobile una serie di dischi metallici leggermente concavi nella parte i cui sono in contatto con la parte fissa (es. il basamento). In questa concavità viene immessa aria ad una pressione costante e controllata di qualche BAR che solleva la parte mobile di qualche micrometro, sufficiente ad evitare il contatto fisico tra la parte mobile e quella fissa (figura N°3).

Naturalmente la superficie del basamento, e delle parti fisse devono avere un grado di precisione e di finitura elevatissimo e ciò è ottenuto eseguendo la lappatura manuale del granito.

Gli apparecchi per ingranaggi di grandi dimensioni prevedono una colonna per la contropunta montata su un carrello mobile motorizzato, in modo che possa essere spostata dalla zona di lavoro per facilitare il carico e lo scarico del pezzo.

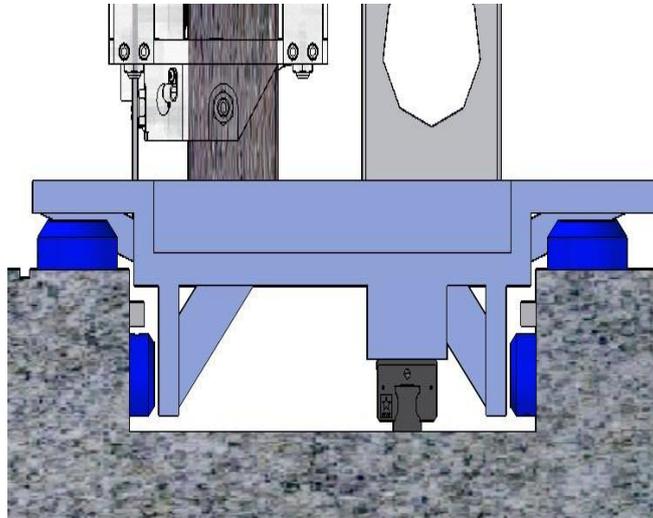


Figura N°3- Indicazione schematica dell'applicazione dei cuscinetti ad aria sul carrello X

Gli evolventimetri Wenzel possono essere integrati con un dispositivo per il rilevamento delle modifiche strutturali superficiali che avvengono, per esempio, in rettifica quando si hanno dei surriscaldamenti localizzati. Le cosiddette “bruciature” localizzate sono abbastanza frequenti durante la rettifica degli ingranaggi e possono avere diverse cause. Tanto per citarne qualcuna basti dire che una mola usurata e non sostituita in tempo surriscalda il pezzo; anche un soprametallo eccessivo può provocare danni strutturali, oppure una temporanea riduzione del flusso del fluido di lubrorefrigerante, oppure ancora condizioni di lavoro eccessivamente pesanti.

E' importante quindi poter verificare se la superficie attiva dei denti degli ingranaggi non ha questo genere di difetti.

Negli evolventimetri di cui si parla, può essere installato un dispositivo che sfrutta il principio dei “rumori di Barkhausen”.

Heinrich Georg Barkhausen (1881 - 1956), fisico tedesco lavorò nei laboratori della Siemens & Halske a Berlino, fu professore di ingegneria elettronica all'Accademia Tecnica di Dresda e nel 1919 scoprì l'effetto che prese poi il suo nome; l'effetto riguarda i cambiamenti nelle proprietà magnetiche dei metalli ed è particolarmente evidente nei materiali ferromagnetici.

Una modifica strutturale del materiale cambia le proprietà magnetiche e questo cambiamento può essere rilevato captando le variazioni della tensione indotta da un campo magnetico che investe la zona in esame.

Infatti il segnale Barkhausen è l'effetto della redistribuzione degli atomi sollecitati dal campo magnetico alternato generato dallo strumento. Se gli atomi sono liberi di muoversi (stato tensionale in trazione o bassa compressione, microstruttura tenera), l'intensità del segnale Barkhausen è elevata. Viceversa, se gli atomi sono vincolati nel loro movimento (stato tensionale in compressione, microstruttura dura), l'intensità del segnale BN è ridotta.

L'analisi di questo segnale può quindi mettere in risalto le zone danneggiate da una alta temperatura.

Nella figura N°4 si può vedere una applicazione di questo dispositivo.



Figura N°4 – Applicazione del dispositivo per il rilievo delle anomalie strutturali con il metodo Barkhausen

Oramai praticamente tutti gli evolventimetri oggi in commercio hanno la possibilità di rilevare i dati di un ingranaggio di caratteristiche ignote ed anche gli apparecchi Wenzel hanno naturalmente questa possibilità.

L'esame di un ingranaggio con caratteristiche non conosciute è molto importante specie per chi produce per conto terzi ed in particolare per chi fabbrica ingranaggi di ricambio.

Normalmente il costruttore deve partire da un campione danneggiato che il cliente finale fornisce e da qui deve poter costruirne uno nuovo.

Avere un apparecchio che rileva automaticamente le caratteristiche geometriche del pezzo facilita di molto le cose.

Gli apparecchi della Wenzel hanno dei software completi e molto funzionali impiegabili anche su ingranaggi conici.

Nella figura N°5 è riportato un grafico relativo al controllo del passo e dell'eccentricità.

Si può notare l'estrema chiarezza nell'indicazione degli errori, in particolare è utile la colorazione in rosso di quegli elementi che superano la tolleranza.

Il grafico in figura fa riferimento alle norme DIN 3961 e DIN 3962, ma su richiesta i rilievi ed i grafici possono fare riferimento anche ad altre normalizzazioni, come per esempio l'AGMA.

Oltre ai normali grafici di profilo, elica e divisione, è possibile anche eseguire dei grafici topologici, particolarmente utili per capire immediatamente se la topologia del dente è conforme a quella richiesta. Questi grafici possono essere eseguiti anche su ingranaggi conici.



Figura N°5 – Grafico del controllo di passo ed eccentricità

Nella figura N°6 si può vedere il complessivo di un apparecchio predisposto per il controllo anche di ingranaggi alberati. Per concludere nella tabella N°2 sono riportate le principali caratteristiche tecniche di alcuni modelli standard di evolventimetri prodotti dalla Wenzel GearTec.



Figura N°6 – Apparecchio Wenzel mod. WGT600 predisposto per il controllo di alberati.

Tab. N°2 – Caratteristiche tecniche di alcuni modelli di apparecchi Wenzel
(i modelli Standard arrivano a misurare fino un diametro max di 4000 mm)

Tipo di apparecchio		WGT 400	WGT 600	WGT 850	WGT 1200
Min e max diametro pezzo mm		5 ÷ 400	5 ÷ 600	5 ÷ 850 (1000 senza contropunta)	5 ÷ 1200 (1600 senza contropunta)
Minimo modulo mm		0,3	0,3	0,5	0,5
Max larghezza fascia dentata mm		500 (650)	650 (800)	800	1000
Angolo di elica gradi		< 90	< 90	< 90	< 90
Numero di assi CNC		4	4	4	4
Ampiezza delle corse degli assi mm	X	400	500	950	1000
	Y	200	320	500	650
	Z	500 (650)	650 (800)	850	1000
Min e max distanza tra i centri mm		20 ÷ 650 (500 ÷ 650)	20 ÷ 900 (1200)	20 ÷ 930 (1200)	500 ÷ 1200 (1600, 2000)
Max peso su tavola rotante daN		1800	4000	10000	30000 (50000)

(Tra parentesi dimensioni opzionali)