

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi del processo di tornitura esterna e prove
sperimentali sugli inserti finitori e sgrossatori**



Relatore

Prof. Dario Antonelli

Candidato

Edoardo Bossola

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	ANALISI PRODUZIONE.....	6
2.1	CICLO DI LAVORO.....	9
2.2	Considerazioni sulla produzione.....	12
3	PROCESSO DI TORNITURA.....	13
3.1	MODIFICHE AL CICLO e CODICE ISO FANUC	15
3.2	PERCORSO UTENSILE SUL PEZZO.....	19
3.3	CONDIZIONI DI LAVORO IN TORNITURA	20
4	ANALISI INSERTI	21
4.1	SCELTA DEGLI INSERTI.....	21
4.1.1	Geometria del tagliente.....	24
4.1.2	Utensili.....	25
4.1.3	Materiali e Rivestimenti.....	26
4.2	INSERTI TAEGUTEC	29
4.3	INSERTI SANDVIK COROMANT	30
5	PROVE SPERIMENTALI ED ANALISI DATI	32
5.1	VITA UTILE DEGLI INSERTI	32
5.1.1	Setup sperimentale.....	32
5.1.2	Analisi sperimentale.....	32
5.1.3	Conclusioni.....	34

5.2	USURA DEI TAGLIENTI.....	36
5.2.1	Analisi teorica.....	36
5.2.2	Setup sperimentale.....	39
5.2.3	Analisi sperimentale.....	40
5.2.4	Conclusioni.....	46
5.3	RUGOSITÀ.....	47
5.3.1	Analisi teorica.....	47
5.3.2	Setup sperimentale.....	49
5.3.3	Analisi sperimentale.....	52
5.3.4	Conclusioni.....	56
5.4	CONTROLLO DIMENSIONALE SU DIAMETRI E RASAMENTI	59
5.4.1	Analisi teorica.....	59
5.4.2	Setup sperimentale.....	62
5.4.3	Analisi sperimentale.....	64
5.4.4	Conclusioni.....	72
6	CONCLUSIONI FINALI.....	73
7	BIBLIOGRAFIA	80

1 INTRODUZIONE

L'elaborato di Tesi Magistrale è stato sviluppato sulla base dello stage curricolare (Agosto – Novembre 2020) presso l'azienda O.L.V. Officina Meccanica, situata a San Carlo Canavese in provincia di Torino, e tratta l'analisi del processo di tornitura esterna, per la produzione di un albero di trasmissione della ZF Friedrichshafen AG, e le prove sperimentali sugli inserti finitori e sgrossatori adottati.

Il primo capitolo analizza la commessa del componente meccanico, le procedure eseguite per la validazione e l'approvazione dell'inizio della lavorazione in serie, la descrizione del ciclo di lavoro e le considerazioni sull'intero processo produttivo.

Lo studio dell'operazione di tornitura ha permesso di esaminare gli aspetti fondamentali della lavorazione e di indentificare quali inserti sottoporre a prove sperimentali: in questo documento vengono analizzati gli inserti adibiti alla sgrossatura e finitura con orientazione sinistrorsa poiché soggetti a maggior contatto con il pezzo e dunque più sollecitati a fenomeni di rottura ed usura.

Le normative ISO 1832-1991 permettono di comprendere la designazione necessaria per la scelta degli inserti in base alla tipologia di lavorazione affrontata, alla geometria e agli angoli caratteristici del profilo tagliente e ai materiali, con relativi rivestimenti, utilizzati.

Le prove sperimentali iniziano con la rilevazione dei parametri di processo come tempo di contatto, avanzamento, profondità di passata e velocità di taglio, al fine di stimare la vita utile degli inserti, calcolata come pezzi lavorati dal singolo tagliente.

Lo scopo di queste procedure è di confrontare gli inserti della TaeguTec, montati inizialmente a bordo macchina per la produzione, con quelli della Sandvik Coromant così da comprendere quali selezionare per ottenere la lavorazione migliore e più efficiente.

Durante l'asportazione del truciolo, gli effetti del progressivo deterioramento del tagliente vengono osservati acquisendo sperimentalmente i dati con gli strumenti di misura presenti nel reparto di collaudo quali: rugosimetro, calibro ottico a scansione laser e profilometro; l'impiego di queste attrezzature ha permesso di rilevare il grado di rugosità superficiale, le tolleranze dimensionali e geometriche su diametri e rasamenti e l'usura della geometria e del profilo dell'inserto. In un secondo momento è stata aumentata la velocità di taglio di lavoro per valutare le conseguenze di tale modifica sulla lavorazione comparando i nuovi risultati ottenuti con quelli precedentemente riscontrati.

La collaborazione con un tecnico della Sandvik Coromant, azienda all'avanguardia negli utensili per asportazione di truciolo, ha permesso di facilitare l'analisi delle prestazioni tra i vari inserti e raccogliere informazioni circa la reale degenerazione del profilo tagliente tramite l'utilizzo di una lente ottica macro, ed un microscopio digitale HD.

2 ANALISI PRODUZIONE

L'azienda presso cui ho sviluppato questo lavoro di Tesi è l'O.L.V. Officina Meccanica, situata a San Carlo Canavese (To), specializzata nelle lavorazioni meccaniche di alta precisione per il settore trasmissioni, con circa 70 macchinari a controllo numerico, e produttrice di componenti meccanici conto terzi. Negli anni è stato conseguito un continuo e costante incremento delle tecnologie e dell'organico (50 addetti), puntando sulla qualità delle forniture ed implementando la logica dell'Industria 4.0 per una migliore analisi della gestione e dei dati della produzione.

Tra i numerosi articoli presenti in azienda, si è analizzata la produzione, caratterizzata da un'elevata richiesta mensile di pezzi, di un albero di trasmissione in 20 MnCr5 della ZF Friedrichshafen AG.

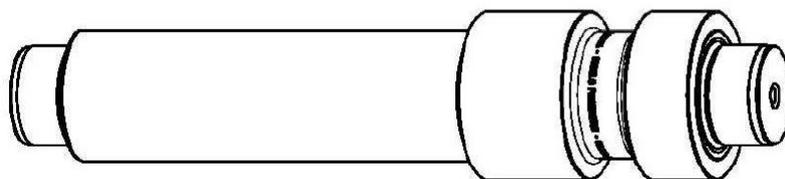


FIGURA 1 ALBERO DI TRASMISSIONE IN ESAME

Nell'Aprile 2019, ricevuta la domanda del cliente, è stata formulata l'offerta per la lavorazione del codice di interesse (480.259) avviando la procedura di accettazione commerciale della commessa.

Iniziata questa fase, nel reparto di collaudo si procede con lo studio del disegno del componente meccanico in maniera da garantire tutte le specifiche richieste.

Nel caso di un articolo già presente in archivio, si pone l'attenzione sull'esponente, lo storico delle variazioni del disegno, e si segnalano le modifiche riscontrate.

Superata questa operazione si genera un pallinato del disegno contenente la numerazione delle quote accompagnato da un documento descrittivo di data di ricezione, collocazione dell'archivio, annullamento versioni precedenti, segnalazione aggiornamenti e ID del codice barcode del cartellino.

La procedura per l'accettazione del prodotto (PPAP) consiste nella compilazione di documentazione tecnica tra cui tabella digitale del pallinato con rilievi sul campione (PSW), traduzione in valori numerici delle possibili variabili di ogni lavorazione (FMEA), ciclo di lavorazione del pezzo (Flow Chart) e scheda di autocontrollo per indicare i controlli da eseguire a bordo macchina o la frequenza di passaggio in zona collaudo. Ogni qual volta un responsabile di reparto prepara la macchina si avvia il protocollo per l'ottenimento del benessere del pezzo che valida la conformità con le richieste del disegno; nel caso di risultato negativo il componente in questione viene identificato con un cartellino adibito al ripasso, allo scarto o alla segnalazione.

Definita la quantità di pezzi prototipi e pre-lancio, sono state regolate le condizioni dell'ordinazione e ricevute le serie con grezzi comuni per la prima fase di lavorazione.

Nei mesi successivi sono stati inviati i pezzi dichiarati nelle fasi di prototipazione e da Marzo 2020 è stata avviata la produzione in serie con una richiesta iniziale di 650 pezzi/mese.

L'emergenza Covid-19 ha obbligatoriamente costretto ad interrompere la fabbricazione fino ai primi di Maggio, mese in cui è ripartita gradualmente; successivamente la produzione è incrementata notevolmente con circa 1500 pezzi a Giugno, circa 6000 tra Luglio ed agosto, per stabilizzarsi intorno a 4500 nel mesi di Settembre.

I numeri previsti per la conclusione del 2020 per il benessere della O.L.V. rimangono costanti attorno ai 4000 pezzi/mese, una buona garanzia in un momento delicato come quello attuale.

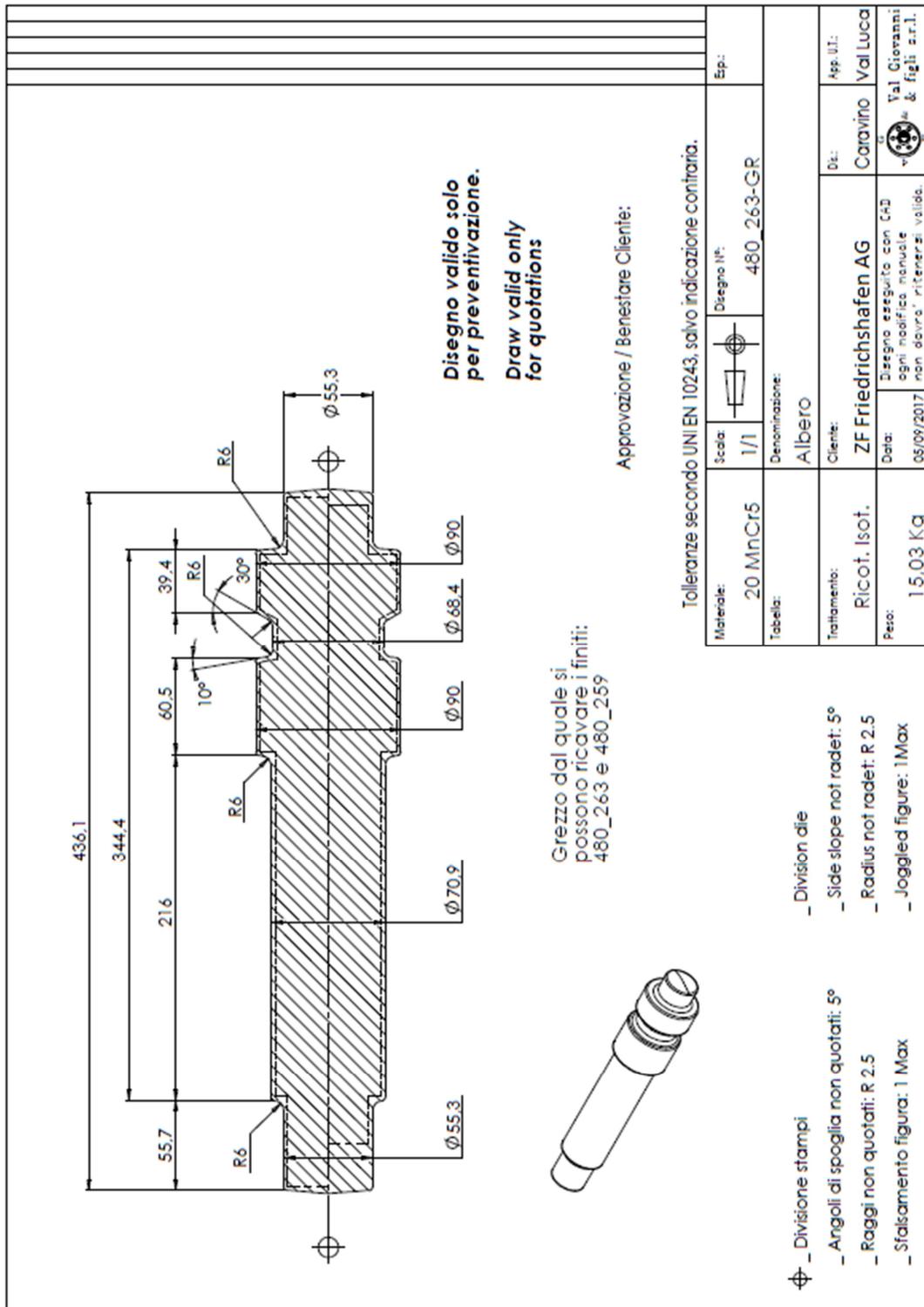


FIGURA 2 DISEGNO DEL GREZZO

2.1 CICLO DI LAVORO

La pianificazione della produzione viene gestita tramite la generazione di un cartellino di lavoro che consente di stabilire la sequenza delle fasi del ciclo di lavoro dell'albero di trasmissione.

Il capo officina, insieme ai responsabili dei reparti collaudo e logistica, stabilisce in base al tempo ciclo stimato quali macchine operatrici a controllo numerico coinvolgere nella produzione verificandone la disponibilità tra quelle non impiegate nella realizzazione di altri articoli.

		<h1>ZF Friedrichshafen AG</h1>			
480.259		Commessa	273253		
Descrizione		Lotto	1-2020	QUANTITA'	406
Op.	Descrizione	N° Fase	Barcode		Eseguita
10	Centrointestatura	10717			
20	Tornitura	10718			
30	Fresatura	10719			
40	Foratura radiale	10720			
50	Marcatrice	10721			
60	Pezzo Finito (da pesare)	10722			
Note:					

TABELLA 1 CARTELLINO DI LAVORO

Il materiale grezzo viene ricevuto in appositi cassoni dall'azienda fornitrice di stampaggio a caldo e, dopo essere stato pesato per il conteggio dei pezzi, viene stoccato nel magazzino in attesa di essere lavorato nelle fasi seguenti.

- La Centrointestatura, eseguita su una macchina, permette di realizzare la sfacciatura, la maschiatura ed i fori di centraggio necessari per le operazioni successive. Il tempo macchina è di 3 minuti e mezzo per una produzione giornaliera di circa 200 pezzi (2 turni di 7,5 ore).



FIGURA 4 CENTROINTESTATURA

- La Tornitura prevede l'asportazione del sovrametallo e la definizione del profilo cilindrico del componente meccanico in lavorazione. Viene eseguita su due torni orizzontali a controllo numerico a cui viene associata la fase di foratura radiale. La produzione giornaliera è di 100 pezzi a macchina con un tempo ciclo di 6,31 minuti (2 turni di 7,5 ore).



FIGURA 5 TORNITURA

- La Fresatura, effettuata in un centro di lavoro, realizza la sede per chiavetta, dopo aver bloccato il pezzo verticalmente, in circa un minuto con una produzione di 230 pezzi al giorno (1 turno di 7,5 ore).



FIGURA 6 FRESATURA

- La Marcatura, fase finale del ciclo, permette di incidere un logo, un marchio o un numero di serie o un codice datamatrix, sul componente meccanico al fine di consentire un'agevole identificazione di ogni componente nel sistema di tracciabilità della filiera industriale. In caso di insorgenza di difetti di natura qualitativa, risulta più facile recuperare l'informazione necessaria, individuare le cause della difformità e determinare la relativa responsabilità.



FIGURA 7 MARCATURA

- L'imballaggio, operazione associata alla precedente, prevede la copertura del pezzo con una rete di plastica di protezione, l'inserimento di una pellicola antiruggine nel cassone ed il posizionamento dei pezzi su ripiani di plastica muniti di supporti di polistirolo per evitare gli urti.



FIGURA 8 IMBALLAGGIO

2.2 CONSIDERAZIONI SULLA PRODUZIONE

L'analisi dei tempi delle singole fasi del ciclo di lavoro non considera le operazioni di carico e scarico del pezzo dalla macchina, cambi inserti usurati, fermi per mancanza di materiale, correzioni per il rispetto delle tolleranze dimensionali, manutenzione e pulizia ordinaria della postazione di lavoro misurazione pezzo nel reparto collaudo, rifornimento lubrificanti ed emulsivi.

Osservando solo i tempi macchina, il collo di bottiglia si individua nel processo di tornitura il quale prevede circa sei minuti e mezzo di lavorazione e una produzione giornaliera complessiva di circa 200 codici.

Gli articoli che vengono lavorati in O.L.V. sono prevalentemente pignoni ed alberi per la trasmissione del moto e necessitano di subire operazioni come sfacciatura e foratura per essere torniti e profilati sui numerosi torni presenti in azienda.

La prima problematica si presenta dunque nella fase di centointestatura dove convergono tutti i codici arrivati in magazzino grezzi pronti per entrare nel processo produttivo.

Il reparto comprende sei macchine ma le dimensioni dei pezzi limitano l'esecuzione dell'operazione solo su alcune di quelle disponibili: nel caso in esame il 480.259 può passare solo su due macchinari.

Quando in officina sono presenti componenti molto più ingombranti rimane solo una macchina operatrice adatta e la produzione di 200 pezzi giorno, scorta di semilavorati ("polmone") necessaria per garantire un flusso continuo ai torni orizzontali, risulta difficile e compromessa.

Durante l'esperienza di tirocinio curricolare è stata avallata la mia soluzione a questa criticità privando la prima fase del ciclo della maschiatura per destinarla al centro di lavoro, adibito precedentemente alla sola fresatura della sede per chiavetta. Questo cambiamento ha ridotto il tempo macchina in centointestatura di 30 secondi, permesso un aumento di produzione e soprattutto una riduzione dei controlli da effettuare a bordo macchina, sottoponendo l'operatore a minor stress.

Il collo di bottiglia dopo questo cambiamento rimane comunque la fase di tornitura ma è aumentato il numero di pezzi prodotti e si è generata una maggiore flessibilità nella gestione della priorità dei codici e della disponibilità delle macchine operatrici nel reparto centro intestatura.

3 PROCESSO DI TORNITURA

La tornitura è un'operazione di asportazione di truciolo caratterizzata da due movimenti sincronizzati tra loro: rotazione del pezzo e traslazione dell'utensile. Permette di ottenere superfici di rivoluzione esterne ed interne variamente conformate, tra cui anche filettature e zigrinature, oltre che a superfici piane [1].

I due passaggi principali, approfonditi nel dettaglio successivamente, sono la sgrossatura e la finitura.

Nella prima fase si procede alla rimozione del sovrametallo in modo piuttosto grossolano, nella seconda il pezzo viene modellato su misura per ridurlo alla forma, dimensione e rugosità richieste a disegno.



FIGURA 9 PROCESSO DI TORNITURA ESTERNA [14]

Nell'ambito della lavorazione dei metalli esistono varie tipologie di torni (orizzontali, verticali, plurimandrino, a controllo numerico) ma tutti i modelli hanno una caratteristica che li accomuna: il pezzo viene fissato a un mandrino che, grazie all'azionamento di un motore elettrico, compie un movimento rotatorio che consente di effettuare la lavorazione vera e propria.

I parametri che concorrono al risultato di questa operazione sono [1]:

- La velocità di taglio, il cui simbolo è v_c espressa in metri al minuto, corrisponde alla velocità con cui il pezzo incontra il tagliente. Direttamente proporzionale al diametro nominale del pezzo da lavorare ed al numero di giri del mandrino, viene espressa secondo la seguente formula:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_m \cdot n}{1000} \quad (1)$$

La velocità di taglio viene scelta in funzione della durezza e delle caratteristiche del metallo da lavorare e tiene conto dei vincoli riguardanti macchina utensile, sistema di bloccaggio, struttura del pezzo e tipo di operazione da eseguire; ha un ruolo importante poiché influisce sulla durata del tagliente, sul volume di truciolo, sull'assorbimento di potenza e sull'economia della lavorazione.

- Il numero di giri, il cui simbolo è la lettera n espresso in giri al minuto, esprime il numero di giri che il mandrino fa compiere al pezzo nel tempo di un minuto:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D_m} \quad (2)$$

Con le macchine tradizionali è fondamentale, ogni qualvolta si deve eseguire una lavorazione ad asportazione di truciolo, calcolare il numero di giri da impostare sulla macchina utensile. Oggi, grazie all'introduzione del controllo numerico, non è più necessario dover determinare la n in quanto il controllo permette di lavorare a velocità di taglio costante.

- L'avanzamento al giro, descritto con f_n in millimetri al giro, indica lo spostamento assiale o lo spostamento radiale che effettua l'utensile ad ogni giro del pezzo. L'avanzamento influenza notevolmente la quantità di materiale asportato in sgrossatura, determina, con il raggio di punta del tagliente, la rugosità ottenibile nelle operazioni di finitura superficiale, la durata del tagliente e la potenza assorbita dal mandrino.
- La profondità di taglio si identifica con a_p in mm ed esprime la differenza radiale o assiale tra ogni passata: viene generalmente determinata dal sovrametallo da asportare, dalla forma del pezzo e dalla potenza disponibile.

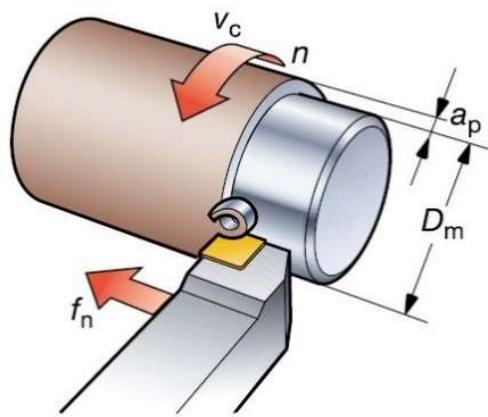


FIGURA 10 PARAMETRI DI TAGLIO [15]

I due torni orizzontali CNC su cui viene eseguita la lavorazione di tornitura, in abbinamento alla foratura radiale, sono del modello Biglia 1250/L (Figura) con tipo di controllo FANUC 32-i B.



FIGURA 11 TORNIO BIGLIA 1250/L

3.1 MODIFICHE AL CICLO e CODICE ISO FANUC

Il ciclo di lavoro precedentemente descritto è il risultato di numerose modifiche apportate in corso d'opera per assorbire l'aumento di produzione dell'ultimo trimestre.

In fase di prototipazione e di pre-lancio, in centrottestatura si realizzava la sede per chiavetta e un collarino per il bloccaggio del pezzo in tornitura, sul centro di lavoro veniva eseguito il foro radiale mentre la maschiatura era un'operazione dedicata ai torni.

Il cambiamento più significativo è avvenuto in tornitura passando da due fasi di lavorazione ad una: le morse afferravano il pezzo nella zona del collarino e, tramite una lunetta, si eseguiva la barenatura per la realizzazione della gola, poi di girava il pezzo e si terminava la lavorazione.

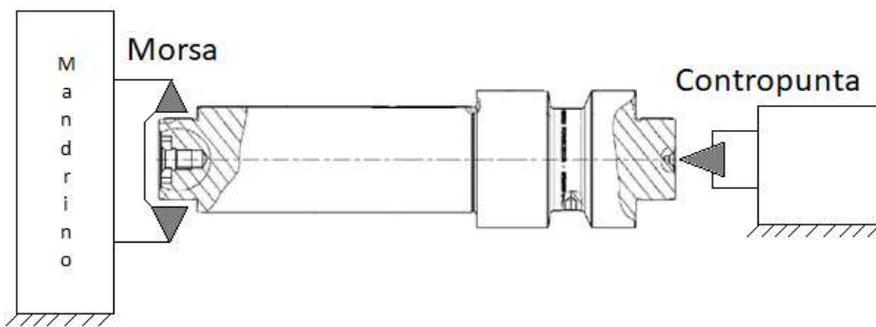


FIGURA 12 SISTEMA DI BLOCCAGGIO MORSA E CONTROPUNTA

Il sistema attuale per garantire il bloccaggio del pezzo consiste nell'utilizzo di un trascinatore con artigli, lato mandrino, e di una contropunta per stabilizzare la rotazione durante l'intervento dell'utensile (Figure 14 e 15).



FIGURA 13 SISTEMA DI BLOCCAGGIO CON TRASCINATORE E CONTROPUNTA



FIGURA 14 TRASCINATORE

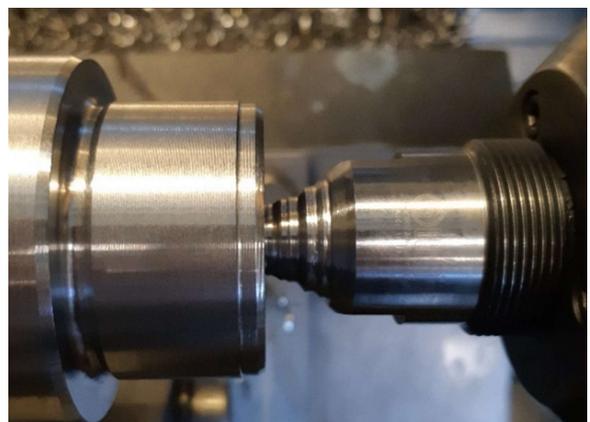


FIGURA 15 CONTROPUNTA

Per l'afferraggio con il trascinatori, a differenza del caso con le morse, il pezzo non necessita la presenza del collarino ed il moto di rotazione viene trasmesso attraverso il contatto con quattro cilindri mobili, appositamente sagomati, chiamati artigli.

La punta, inserendosi nel foro di invito realizzato in centrointestatura, permette il centraggio e assicura il corretto posizionamento del pezzo; durante il moto rotatorio imposto dal mandrino, le spinte assiali e le oscillazioni vengono assorbite da una rondella che regola il conseguente spostamento degli artigli mantenendo sempre la giusta aderenza.



FIGURA 16 DETTAGLIO TRASCINATORE

Prima di iniziare qualsiasi tipo di lavorazione, è necessario che i denti di trascinamento abbiano una profondità di penetrazione di 0,2mm. È importante quindi scegliere la giusta forza esercitata sulla lunghezza del tagliente, poiché con una forza insufficiente si realizza un trascinamento inadeguato, con una eccessiva si ha una rapida usura e conseguente riduzione della durata degli artigli, dei cuscinetti del mandrino e della contropunta.

I denti di trascinamento sono costruiti con un profilo asimmetrico per rotazione destrorsa o sinistrorsa e con tagliente simmetrico per permettere l'inversione del senso di rotazione durante la lavorazione.

A seconda del trascinatori scelto, l'operatore può variare i seguenti parametri: senso di rotazione, denti di trascinamento destri o sinistri, diametro di trascinamento e conseguentemente il diametro massimo trascinabile.

In Figura 17, si confrontano i trascinatori A e B con denti differenti ma con lo stesso diametro di trascinamento: con A si possono caricare i denti con una forza assiale e dunque asportazione di truciolo maggiore.

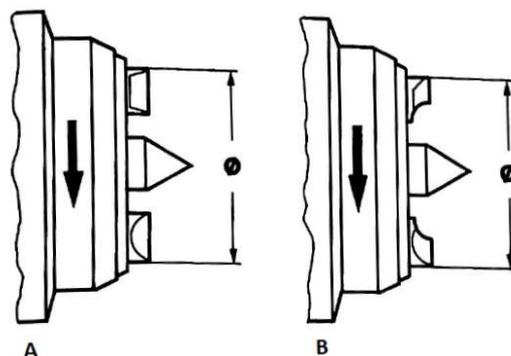


FIGURA 17 CONFRONTO DENTI TRASCINATORE [1]

Il diametro D del pezzo da lavorare può essere 2 o 3 volte più grande del diametro di trascinamento che deve essere scelto il più grande possibile rispetto al finito.

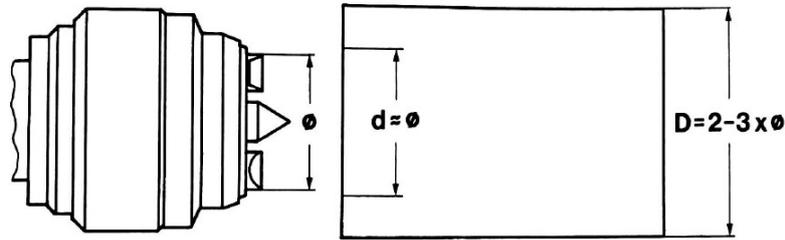


FIGURA 18 DIAMETRI DI TRASCINAMENTO [1]

I fattori che determinano la scelta del trascinatore frontale, i denti di trascinamento e le forze assiali della contropunta sono mostrati nella seguente figura:

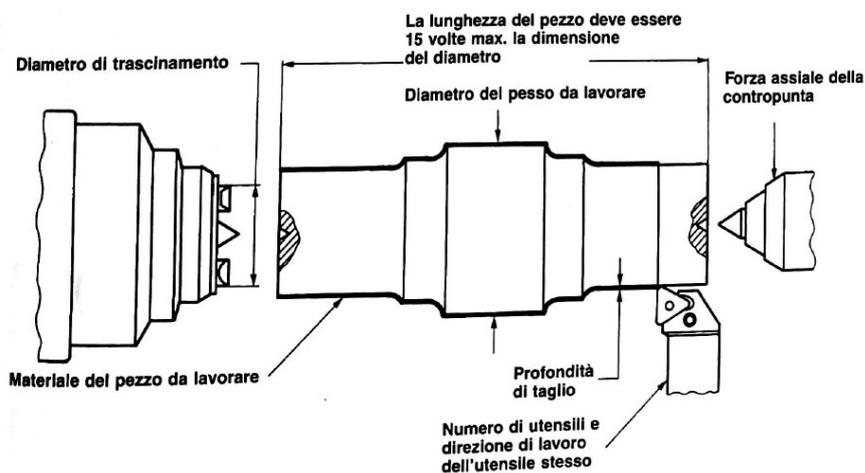
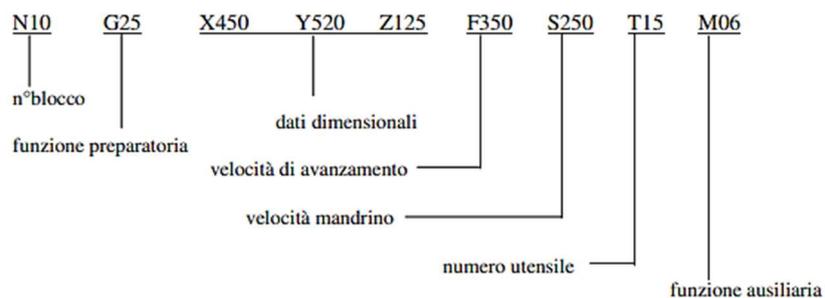


FIGURA 19 FATTORI DI SCELTA DEL TRASCINATORE [1]

Il linguaggio di programmazione ISO 6983 [16] rappresenta solo una raccomandazione di utilizzo di determinate funzioni e sintassi tali da rendere comune ed uniforme la programmazione del maggior numero di CNC e semplificare la gestione.

La realtà è poi diversa in quanto i costruttori di CNC hanno adottato il linguaggio ISO per le principali funzioni di movimento, velocità e avanzamento, sviluppando vari linguaggi, tra cui l'ISO FANUC, che hanno permesso di ottenere vantaggi in termini di semplicità e velocità nella stesura dei programmi.

Un esempio di riga di codice è la seguente:



Al numero di blocco non necessariamente devono seguire righe di programmazione, ma possono essere scritti commenti tra parentesi ignorati dal controllo e di solo aiuto per il programmatore.

Il codice ISO Fanuc [16] che segue è un estratto del programma caricato per la lavorazione di tornitura sui torni Biglia 1250/L:

```
%  
O0003(ALB.480-259)  
(MODIFICATO)  
N10G10L2P1Z572.7B0  
B264  
N20T1M8G40(UT.DNMG R.8)  
N30M36  
M33  
N40G92S1600  
G96S220M4P11  
N55G0X150Z2  
N60X50  
G1F.3Z-4.3  
X51  
Z-22  
G0X66.6Z-20  
G1F.33Z-239  
G0X85.7Z-237  
G1F.3Z-308  
G0X90Z-303  
...
```

3.2 PERCORSO UTENSILE SUL PEZZO

Il programma del ciclo di lavoro comprende l'utilizzo di tre utensili per la realizzazione delle lavorazioni di sgrossatura, finitura e barenatura; l'operazione di barenatura consiste nell'esecuzione di una gola, la fase di sgrossatura prevede la rimozione del sovrametallo con una profondità di passata dell'ordine del millimetro mentre la finitura permette di raggiungere le quote richieste dal disegno asportando qualche decimo di millimetro di materiale.

La geometria, le quote e le tolleranze del pezzo influenzano la scelta dell'inclinazione dell'angolo di registrazione o di direzione del tagliente principale degli utensili.

Con angoli di registrazione piccoli la forza totale di taglio viene distribuita su una lunghezza maggiore del tagliente consentendo all'inserto di sopportare meglio le operazioni gravose; questa impostazione consente di avere un progressivo impegno del tagliente all'inizio della lavorazione ed uno smorzamento graduale alla fine della passata con conseguente maggiore durata dell'inserto e riduzione di generare un pezzo di scarto.

Viceversa, angoli di registrazione più grandi generano forze di taglio inferiori in direzione radiale ed è necessario lavorare con una sufficiente spinta nella direzione longitudinale del pezzo. Un inconveniente legato a questa modalità è l'improvviso carico/scarico del tagliente all'inizio/fine della passata con rischio di rottura dell'inserto e sbordatura del pezzo.

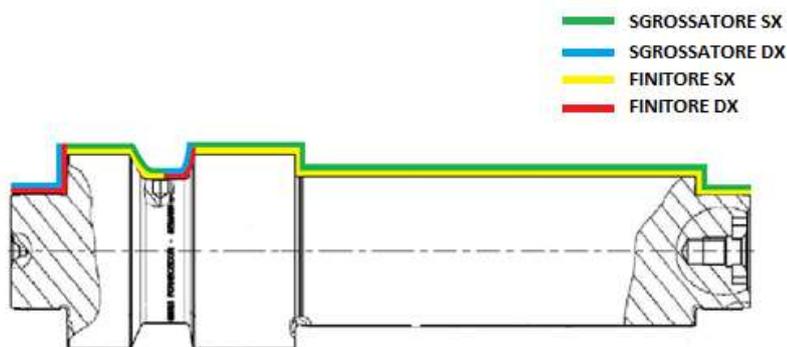


FIGURA 20 PERCORSO UTENSILE SUL PEZZO

Il percorso degli inserti dei relativi utensili che concorrono alla lavorazione di tornitura esterna è evidenziato nella Figura 20. Le linee più esterne verdi ed azzurre rappresentano l'asportazione di sovrametallo dovuta al passaggio degli sgrossatori, quelle gialle e rosse invece descrivono la passata degli inserti finitori.

La geometria del componente impone la scelta di utilizzare lo stesso inserto per la stessa lavorazione ma con orientazione di avanzamento differente: lo sgrossatore sinistro, combinazione di profondità di taglio e avanzamento elevati, per lavorare la zona azzurra andrebbe a toccare il pezzo con la torretta generando forze previste e danni sia all'articolo che alla macchina operatrice.

Il dettaglio della Figura 21 permette di comprendere graficamente il discorso precedentemente proposto e dunque motivare la scelta di adottare due inserti con diverso verso di avanzamento.

La fase di sgrossatura prevede l'impiego di due inserti sgrossatori, uno destro e uno sinistro, con angolo di registrazione pari a 93° ; la finitura viene suddivisa in destrorsa e sinistrorsa ed è eseguita con una inclinazione di $27,5^\circ$ con l'aggiuntiva correzione di $2,5^\circ$ fornita dall'orientazione degli utensili [1].

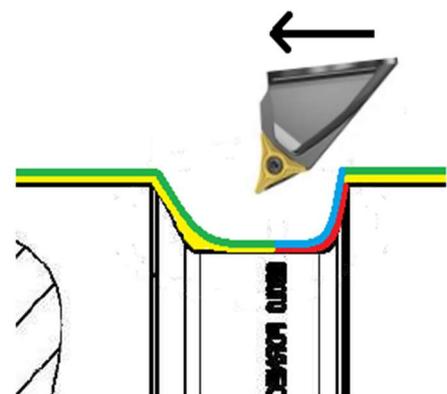


FIGURA 21 DETTAGLIO PERCORSO UTENSILE

3.3 CONDIZIONI DI LAVORO IN TORNITURA

La scelta degli utensili e degli inserti più efficienti per una determinata operazione con asportazione di truciolo non è univoca né di facile individuazione; è importante considerare tutte le variabili ed i vincoli che direttamente o indirettamente possono influenzare la lavorazione.

Per impostare correttamente un processo di lavorazione dei metalli occorre conoscere il materiale del pezzo, e quindi scegliere la geometria e la qualità corretta dell'inserto in funzione dell'applicazione specifica.

Nell'industria del taglio dei metalli, esiste una serie incredibilmente ampia di tipi di componenti di diverso materiale con caratteristiche proprie ed esclusive, derivanti dagli elementi leganti, dal trattamento termico, dalla durezza.

Questo incide fortemente sulla scelta della geometria e della qualità degli utensili da taglio e sulla selezione dei dati di taglio; pertanto, i materiali dei pezzi sono stati suddivisi in sei gruppi principali in conformità alla norma ISO, e ciascun gruppo presenta caratteristiche specifiche relative alla lavorabilità [2].

L'albero di trasmissione preso in esame è in acciaio 20MnCr5, ricottura isoterma, ed è riconducibile al gruppo ISO P, quello più vasto nel campo del taglio dei metalli. Gli acciai inclusi in questa suddivisione vanno dai non legati a quelli fortemente legati, compresi i getti e gli acciai inossidabili ferritici e martensitici [1].

Gli altri gruppi di materiale del pezzo sono:

- ISO M = Acciaio inossidabile
- ISO K = Ghisa
- ISO N = Alluminio
- ISO S = Leghe resistenti al calore
- ISO H = Acciaio temprato

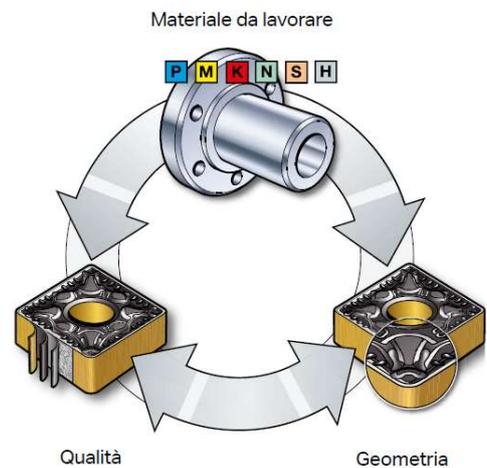


FIGURA 22 PROCESSO LAVORAZIONE DEI

Un altro aspetto che permette di differenziare i sei gruppi di materiali è la forza di taglio F_T necessaria per asportare una sezione specifica di truciolo in determinate condizioni.

Questo valore, detto forza di taglio specifica k_c viene indicato per i vari tipi di materiale da lavorare ed è utilizzato per il calcolo della potenza necessaria per una determinata operazione.

k_{c1} = forza di taglio specifica per trucioli di spessore medio di 1 mm [12]

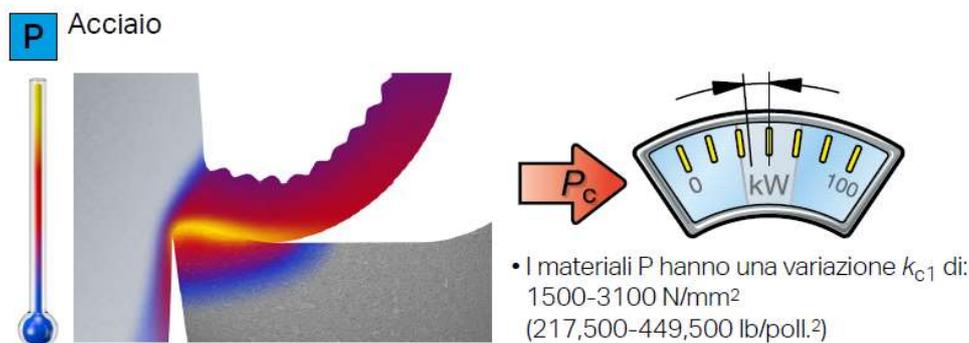


FIGURA 23 FORZA DI TAGLIO PER ASPORTARE IL TRUCIOLO [15]

4 ANALISI INSERTI

In questo capitolo vengono descritti i soggetti principali di questo elaborato di Tesi: gli inserti per la lavorazione di tornitura esterna.

In un primo momento si descrivono la normativa per la scelta degli inserti, la geometria del tagliente ed i rivestimenti superficiali. Successivamente vengono presentati gli inserti della TaeguTec, montati sulla macchina, e della Sandvik che saranno oggetto confronto nel capitolo delle prove sperimentali.

Le lavorazioni di sgrossatura e finitura, del ciclo di lavoro preso in come caso di studio, sono state effettuate utilizzando inserti negativi, ovvero con angolo di inclinazione del tagliente negativo ed angolo di spoglia inferiore pare a 0° .

Questa decisione comporta la diminuzione dell'angolo di scorrimento ed un aumento del riscaldamento del truciolo, delle forze di taglio e della potenza assorbita. L'angolo di taglio è più robusto e la forza tangenziale diretta normalmente al petto dell'inserto agisce su una notevole sezione resistente, sollecitando il metallo duro a compressione.

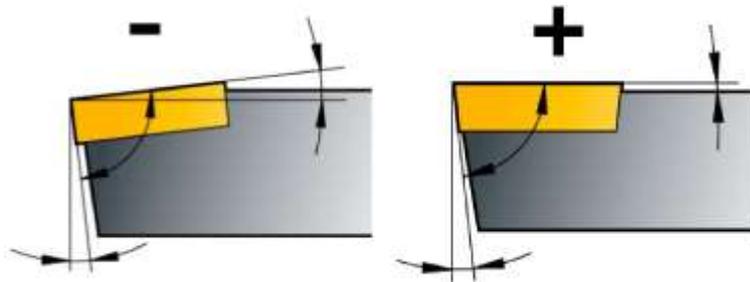


FIGURA 24 INSERTO NEGATIVO E POSITIVO A CONFRONTO [14]

4.1 SCELTA DEGLI INSERTI

Le norme ISO 1832-1991 stabiliscono la designazione unificata degli inserti e degli steli porta-inserti per utensili a punta singola in metallo duro o in altri materiali da taglio che comprende una serie di simboli alfanumerici per l'individuazione completa dell'inserto.

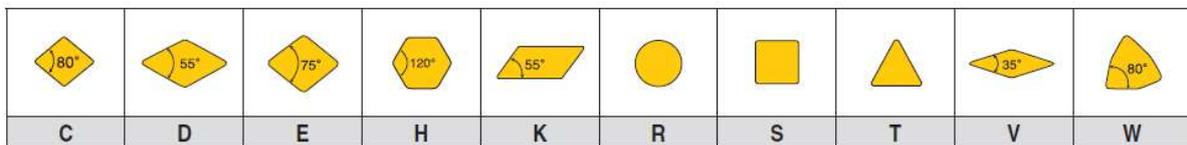
La simboleggiatura completa richiede un minimo di sette simboli, ognuno dei quali specifica una certa caratteristica:

- La prima lettera (indicata con 1 nel prospetto) è relativa alla forma dell'inserto, l'interpretazione può essere fatta con il riquadro indicato con il numero 1.
- La seconda lettera riguarda l'angolo di spoglia inferiore dell'inserto (riquadro 2). Qualora detto angolo di spoglia fosse diverso da quelli indicati, la lettera distintiva è O.
- La terza lettera indica la tolleranza di costruzione dell'inserto, secondo le specifiche riportate nel riquadro 3. Le tolleranze riguardano in particolare lo spessore e la dimensione fondamentale dell'inserto.
- La quarta lettera (riquadro 4) indica la forma dell'inserto. Inserti di forma non compresa in quella base vengono indicati con la lettera X.

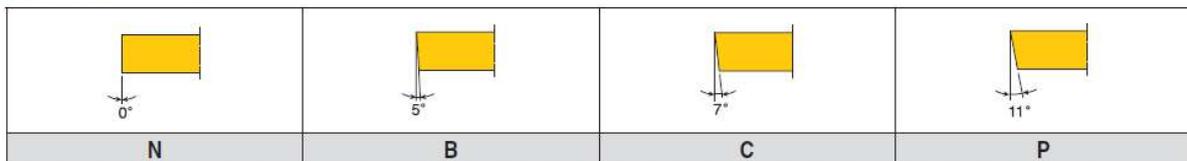
- Il simbolo successivo è un numero che rappresenta la lunghezza del tagliente, secondo quanto riportato nel riquadro 5.
- Segue un ulteriore numero che indica lo spessore dell'inserto, secondo quanto riportato nel riquadro 6. Da notare che per tre dimensioni di spessore (1,98 mm, 2,78 e 3,97 mm), l'indicazione prevede anche la lettera T.
- L'ultima indicazione obbligatoria riguarda il raggio di punta dell'utensile, secondo quanto riportato nel riquadro 7.
- Le indicazioni complementari indicano l'esecuzione della lavorazione se l'inserto è destro, sinistro o frontale (riquadro 8) e se disponibile la tipologia di rompi truciolo (9).



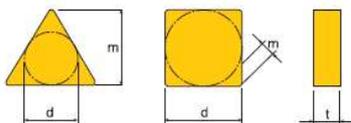
1 Forma



2 Angolo di spoglia



3 Tolleranze



Classe	m	t	d
A	±0.005	±0.025	±0.025
F	±0.005	±0.025	±0.013
C	±0.013	±0.025	±0.025
H	±0.013	±0.025	±0.013
E	±0.025	±0.025	±0.025
G	±0.025	±0.13	±0.025
M	±0.08~±0.18	±0.13	±0.05~±0.13
U	±0.13~±0.38	±0.13	±0.08~±0.25

Diametro del IC	Tolleranze			
	Su m		Su d	
	Classe M	Classe U	Classe M	Classe U
6.35	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08
9.52	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08
12.70	±0.13	±0.20	±0.08	±0.13
15.88	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18
19.05	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18
25.40	±0.18	±0.38	±0.13	±0.25
31.75	±0.18	±0.38	±0.13	±0.25

4 Tipo

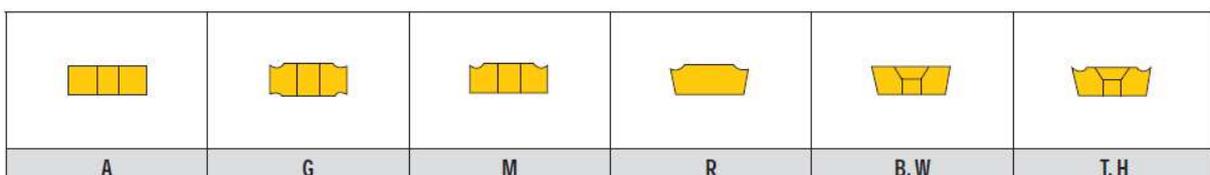
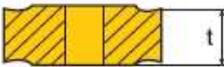


FIGURA 25 NORME ISO 1832-1991 SCELTA INSERTI CATALOGO TAEGUTEC [15]

5 Lunghezza tagliente

I.C(mm)	C	D	E	R	S	T	V	W	K	H
										
3.97	03	04			03	06		02		
4.76	04	05			04	08	08			
5.56	05	06			05	09	09	03		
6.35	06	07			06	11	11	04		
7.94	08	09			07	13	13	05		
8.0				08						
9.52	09	11		09	09	16	16	06	16	
10.0				10						
12.0				12						
12.7	12	15	13		12	22	22	08		05
15.88	16	19		15	15	27	27	10		
16.0				16						
19.05	19	23		19	19	33	33	13		10
20.0				20						
25.0				25						
25.4	25	31		25	25	44	44	17		
31.75	32	38			31	54	54	21		
32.0				32						

6 Spessore

	t
	t
	t
01	1.59mm
T1	1.98mm
02	2.38mm
T2	2.78mm
03	3.18mm
T3	3.97mm
04	4.76mm
05	5.56mm
06	6.35mm
07	7.94mm
09	9.52mm

7 Raggio

	r
01	0.1mm
02	0.2mm
04	0.4mm
05	0.5mm
08	0.8mm
12	1.2mm
16	1.6mm
20	2.0mm
24	2.4mm
32	3.2mm

8 Destro / Sinistro

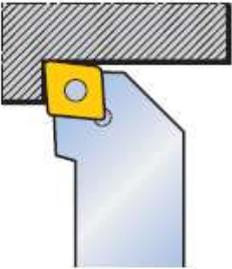
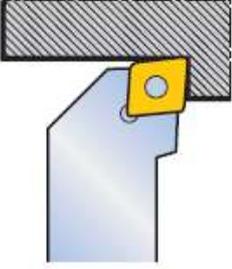
	R: Destro
	L: Sinistro

FIGURA 26 NORME ISO 1832-1991 SCELTA INSERTI CATALOGO TAEGUTEC [15]

4.1.1 GEOMETRIA DEL TAGLIENTE

Come espresso precedentemente, nella lavorazione di tornitura si utilizzano inserti negativi ovvero con angolo di inclinazione del tagliente negativo ed angolo di spoglia inferiore pare a 0° .

Un angolo γ negativo rende l'utensile più robusto e più idoneo per il taglio di materiali duri (es. ghise), per i quali è infatti necessaria una maggior forza di taglio (a parità di sezione di truciolo distaccato) e quindi una maggior resistenza dell'utensile [1].

Per comprendere meglio la definizione degli angoli caratteristici è necessario prima definire il sistema di riferimento costituito dall'asse dell'porta inserto e da un piano passante per la punta dell'inserto e parallelo al piano di base (Figura 27).

Gli angoli caratteristici possono classificarsi in angoli della sezione normale, angoli del profilo e angoli di registrazione.

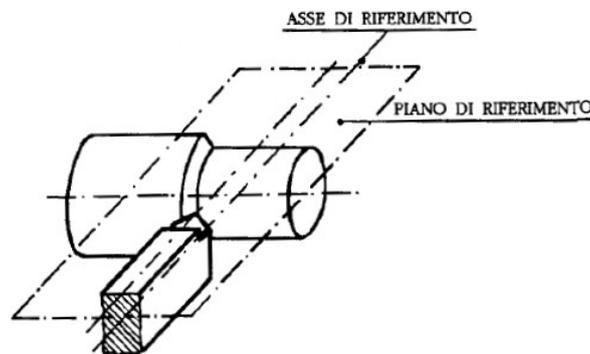


FIGURA 27 SISTEMA DI RIFERIMENTO

- Angoli della sezione normale

γ = *angolo di spoglia superiore*, deriva dalla faccia con il piano di riferimento e misurato in una sezione A-A normale alla proiezione del tagliente principale sul piano di riferimento (è considerato positivo se la faccia si trova al di sotto del piano di riferimento, negativo se al di sopra).

α = *angolo di spoglia inferiore principale*, formato dalla sezione A-A di cui sopra, dal fianco principale con un piano contenente il tagliente principale e perpendicolare al piano di riferimento.

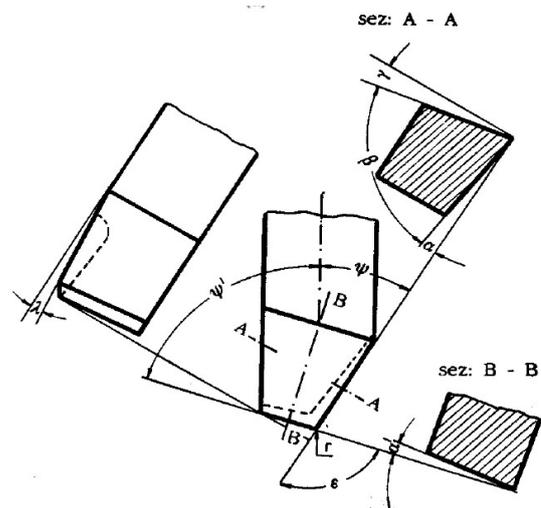


FIGURA 28 ANGOLI CARATTERISTICI [1]

α' = *angolo di spoglia inferiore secondario*, formato dal fianco secondario con un piano contenente il tagliente secondario e normale al piano di riferimento, misurato in una sezione B-B normale alla proiezione del tagliente secondario sul piano di riferimento.

β = *angolo di taglio*, formato dalla faccia con il fianco principale, nella sezione A-A: $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$

- Angoli del profilo

Ψ = *angolo del tagliente principale*, formato sul piano di riferimento dalle proiezioni del tagliente principale e dell'asse dell'utensile.

Ψ' = *angolo del tagliente secondario*, formato sul piano di riferimento dalle proiezioni del tagliente secondario e dell'asse dell'utensile.

ε = *angolo dei taglienti*, formato dalle proiezioni del tagliente principale e del tagliente secondario

λ = *angolo di inclinazione del tagliente principale* formato dal tagliente principale con il piano di riferimento (è considerato positivo se la faccia si trova al di sotto del piano di riferimento, negativo se al di sopra)

- Angoli di registrazione

χ = *angolo di registrazione del tagliente principale*, formato, sul piano di riferimento, dalle proiezioni del tagliente principale e della superficie lavorata.

χ' = *angolo di registrazione del tagliente secondario*, formato, sul piano di riferimento, dalle proiezioni del tagliente secondario e della superficie lavorata.

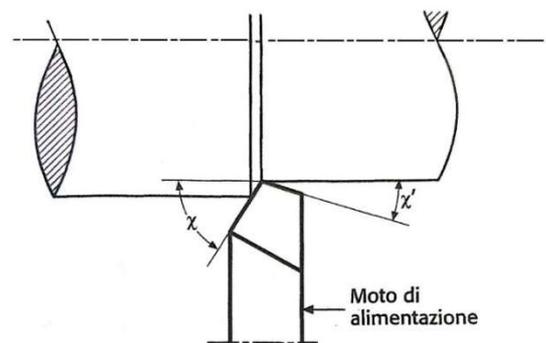


FIGURA 29 ANGOLI DI REGISTRAZIONE PER

4.1.2 UTENSILI

La fase di sgrossatura prevede l'impiego di due inserti sgrossatori, uno destro e uno sinistro, con angolo di registrazione pari a 93° ; la finitura viene suddivisa in destrorsa e sinistrorsa ed è eseguita con una inclinazione di $27,5^\circ$ con un'aggiuntiva correzione di $2,5^\circ$ che la porta a lavorare a 30° .

L'orientazione angolare è fornita dagli utensili che come sistema di bloccaggio adottano quello a staffa a T con vite di fissaggio, sistema di semplice costruzione con il vantaggio di ridurre la sezione dello stelo ma col difetto di ostacolare il normale deflusso del truciolo [1][14][15].

Le figure (N e M) mostrano le geometrie degli utensili TaeguTec montati sul tornio: il TDJN L/R è relativo agli sgrossatori con angolo di registrazione di 93° , mentre il TVQN L/R è usato per i finitori con angolo pari a $27,5^\circ$.

T-TURN TDJNR/L

Utensile T-Holder

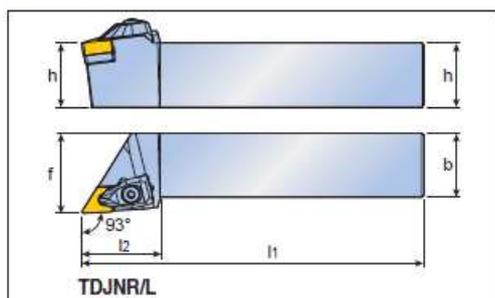


FIGURA 30 UTENSILE SGROSSATORE [15]

T-TURN TVQNR/L

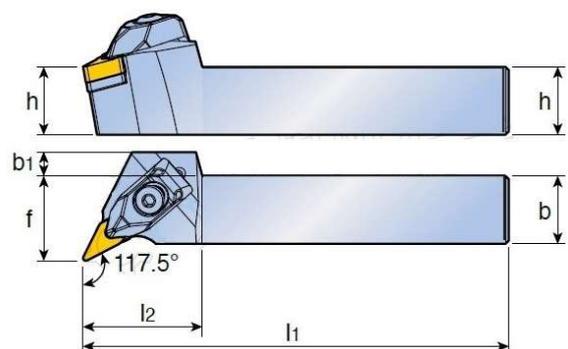


FIGURA 31 UTENSILE FINITORE [15]

4.1.3 MATERIALI E RIVESTIMENTI

La scelta dei materiali e delle qualità di taglio sono una fase importante per la pianificazione di un'operazione basata sull'asportazione di truciolo.

Prima di analizzare i possibili materiali impiegati per il taglio dei metalli, è opportuno indicare le caratteristiche tecnologiche necessarie affinché tali materiali possano efficacemente ed economicamente svolgere le loro funzioni.

Le prestazioni da conoscere sono [1][14][15]:

- *Durezza a caldo*: i materiali degli inserti devono mantenere un'elevata durezza alle alte temperature che i taglienti raggiungono durante la lavorazione. La temperatura di regime indica quella temperatura, raggiunta per una data velocità di taglio e per un particolare materiale lavorato, che l'inserto è in grado di sopportare senza perdere capacità di taglio.
- *Durezza a freddo*: il tagliente deve possedere un'ottima durezza a temperatura ambiente e normalmente si ottiene attraverso l'aggiunta di elementi di lega e sottoponendo il materiale a particolari trattamenti termici.
- *Tenacità*: intesa sia come capacità di deformarsi sotto carico prima di arrivare a rottura, sia come capacità di resistere agli urti. Nel caso di lavorazioni che subiscono taglio interrotto, come per esempio la sfacciatura su superfici non assial-simmetriche in tornitura, risulta essere un aspetto molto importante. Da ricordare che durezza e tenacità sono proprietà inversamente proporzionali per tanto la scelta di un materiale è risultato di un compromesso.
- *Conducibilità termica*: i materiali scelti devono facilitare lo smaltimento del calore prodotto nella zona di taglio al fine di mantenere a valori accettabili la temperatura raggiunta dal tagliente.
- *Resistenza all'usura*: proprietà di conservare in maniera inalterata nel tempo gli spigoli e le superfici di taglio sottoposte a varie forme di usura (Paragrafo 5.2). È un parametro molto significativo in quanto la durata dell'inserto è strettamente legata all'andamento dell'usura.
- *Coefficiente di attrito*: è necessario che questo parametro sia basso in maniera da facilitare lo scorrimento tra materiale del pezzo e dell'inserto durante la lavorazione, evitando eccessivi riscaldamenti nella zona di taglio.
- *Costo*: questo aspetto influenza la scelta del materiale e dei parametri di taglio.

La conoscenza di base di ogni materiale da taglio e delle sue prestazioni è importante per effettuare la selezione corretta. Si dovrebbe considerare il materiale del pezzo da lavorare, il tipo e la forma del componente, le condizioni di lavorazione e il livello di finitura superficiale desiderato per ogni operazione.

I principali materiali impiegati per la realizzazione di inserti possono essere così suddivisi [1]:

- 1) Acciai per utensili: speciali al carbonio, debolmente/fortemente legati
- 2) Leghe fuse
- 3) Carburi metallici sinterizzati
- 4) Materiali ceramici
- 5) Cermets
- 6) Diamanti

Il carburo metallico sinterizzato, definito comunemente metallo duro, viene prodotto con il metodo della metallurgia delle polveri (fabbricazione e pressatura delle polveri seguite dalla sinterizzazione) e rappresenta attualmente l'80-90% di tutti gli inserti per utensili da taglio in commercio. Il successo di questo materiale è dovuto alla sua straordinaria combinazione di resistenza all'usura e tenacità, oltre che alla possibilità di modellarlo in forme complesse.

Questo materiale è costituito da particelle di carburi metallici con dimensioni che variano da 0,5 a 10 μ , tenuti insieme da un legante metallico, generalmente Cobalto o Nichel, in misura variabile dal 5 al 40% in volume [14].

Il principale elemento utilizzato per la realizzazione dei primi esempi di carburi metallici sinterizzati è il *carburo di tungsteno* (WC) poiché dotato di elevata durezza e resistenza all'azione abrasiva del truciolo. Successive prove di taglio hanno mostrato la necessità di introdurre altri tipi di carburi come: il *carburo di titanio* (TiC), capace di incrementare la resistenza all'usura del tagliente, il *carburo di tantalio* (TaC), per aumentare la durezza e la resistenza alla craterizzazione aumentando però la fragilità della struttura, ed il carburo di niobio (NbC) che compensa la fragilità incrementando la durezza a caldo, la resistenza all'usura e all'ossidazione [14][15].

Le norme ISO suddividono i carburi metallici sinterizzati in funzione della loro applicazione in tre gruppi molto variabili come composizione a seconda della casa costruttrice. In prima approssimazione di può fare una suddivisione in:

- *Gruppo K*: inserti costituiti in prevalenza da WC immersi in una matrice di cobalto ed utilizzati per lavorare ghise a truciolo corto, acciaio temprato e materiali non ferrosi. Buona tenacità e adatti per eseguire taglio interrotto.
- *Gruppo M*: inserti che presentano anche percentuali di TiC idonei per operare con acciai in getti, ghise e leghe resistenti al calore. Il carburo di titanio li rende efficaci per lavorazioni su creste di greggi di fusione o stampaggio.
- *Gruppo P*: indicati per lavorazioni di acciai al carbonio, inossidabili, ghise malleabili a truciolo lungo e tutti quei materiali che sopportano una elevata velocità di taglio e grandi sezioni di truciolo asportato. Racchiude la possibilità di utilizzare tutti i carburi precedentemente citati.

Per incrementare ancor di più le prestazioni di questi materiali, viene aggiunto al substrato di metallo duro un rivestimento, per diffusione in fase gassosa, di sottilissimi strati di altri composti duri in grado di apportare maggiore durezza e resistenza agli urti. Questa particolare configurazione microstrutturale consente di ottenere una durata del tagliente decisamente superiore alle placchette tradizionali con campi di velocità di taglio quasi raddoppiati.

Il rivestimento **CVD** (*Chemical Vapor Deposition*) consiste nel depositare, per mezzo di reazioni chimiche a temperature di 700-1050 °C, strati superficiali di carburi, ossidi o nitruri, per aumentare la resistenza all'usura degli inserti senza alterare la macrotenacità del metallo duro.

Il primo metallo duro con rivestimento CVD è stato rivestito con uno strato singolo di carburo di titanio (TiC); i rivestimenti di allumina (Al₂O₃) e nitrato di titanio (TiN) sono stati introdotti successivamente.

Le caratteristiche dei rivestimenti sono migliorate continuamente in termini di adesione, tenacità e resistenza all'usura, grazie a interventi di ottimizzazione microstrutturale e post-trattamenti [14].

Inveio, brevetto SANDVIK [14], è una tecnologia che si basa sull'orientamento unidirezionale dei cristalli dello strato di rivestimento in allumina in maniera da conferire agli inserti proprietà decisamente superiori in termini di resistenza all'usura e durata utensile. L'orientazione dei cristalli, con la parte più robusta rivolta verso la superficie superiore, è evidenziata nelle immagini al microscopio riportate di seguito, in cui a ciascuna direzione corrisponde un colore univoco.

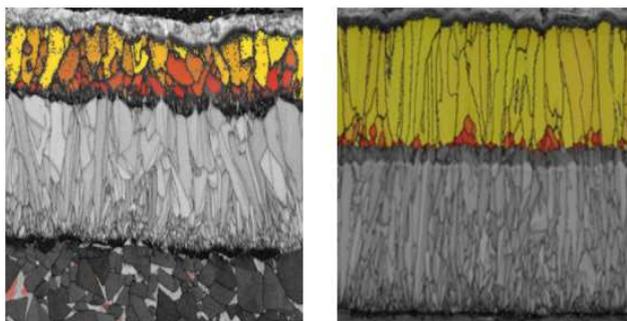


FIGURA 32 CVD TRADIZIONALE A SINISTRA, TECNOLOGIA

I cristalli unidirezionali, caratterizzati da strati di atomi più fitti, costituiscono una barriera più robusta verso la zona di taglio e di formazione dei trucioli, che aumenta notevolmente la resistenza alla craterizzazione e all'usura sul fianco. Inoltre, la maggiore rapidità con cui avviene la dissipazione di calore dalla zona di taglio aiuta a mantenere il tagliente indeformato per un tempo di taglio più lungo.

Il rivestimento **PVD** (*Physical Vapor Deposition*) è particolarmente indicato per Particolari Meccanici che necessitano di elevate prestazioni come resistenza all'abrasione, al graffio, alla corrosione ed un'ottima durezza superficiale. Il processo avviene a temperature relativamente basse (400-600°C) e si basa sull'evaporazione di un metallo che reagisce, ad esempio, con l'azoto per formare un rivestimento duro di nitrato sulla superficie dell'utensile.

I costituenti principali del rivestimento PVD sono: il nitrato di titanio (TiN) che risulta molto versatile, il carbonitrato di titanio Ti (C, N) che risulta più duro del nitrato e conferisce maggiore resistenza all'usura sul fianco, il nitrato di alluminio e titanio (Ti,Al)N che presenta un'elevata durezza abbinata alla resistenza all'usura, in particolar modo all'ossidazione. I rivestimenti moderni sono ottenuti combinando questi costituenti in vari strati e/o rivestimenti lamellari depositati in sequenza formando numerosi strati sottili, nell'ordine di nanometri, che rendono il rivestimento ancora più duro [14].

I Rivestimenti PVD si dividono in due categorie:

- PVD Tecnico è un rivestimento che presenta ottime caratteristiche sia dal punto di vista estetico che dalla durabilità nel tempo, presenta inoltre un'elevata durezza superficiale, inalterabilità ai raggi UV, ottima resistenza ai solventi acidi ma in particolare ha una resistenza alla corrosione superiore a qualsiasi altro Trattamento Superficiale.
- PVD Decorativo presenta le stesse caratteristiche del PVD Tecnico ma risulta un rivestimento meno funzionale e più richiesto dal punto di vista estetico quindi realizzato con spessori meno importanti compresi tra i 0,2 µm e 2 µm.

Zertivo è una tecnologia di produzione esclusiva di Sandvik [14] Coromant che prolunga la durata utensile e migliora la prevedibilità e la sicurezza delle qualità PVD. La creazione di un rivestimento PVD di alta qualità implica una serie di complesse fasi e condizioni di processo, tra cui riscaldamento, pulizia del particolare da rivestire, rivestimento e raffreddamento, che hanno un impatto diretto sulla qualità e sulla resa dell'inserto in macchina.

La tecnologia *Zertivo* consente di avere un maggior controllo

sul processo di produzione delle qualità, adattandosi perfettamente ai requisiti specifici richiesti, offrendo una migliore adesione tra substrato e rivestimento e nell'integrità ottimizzata del tagliente [14][15].



FIGURA 33 RIVESTIMENTO PVD CON

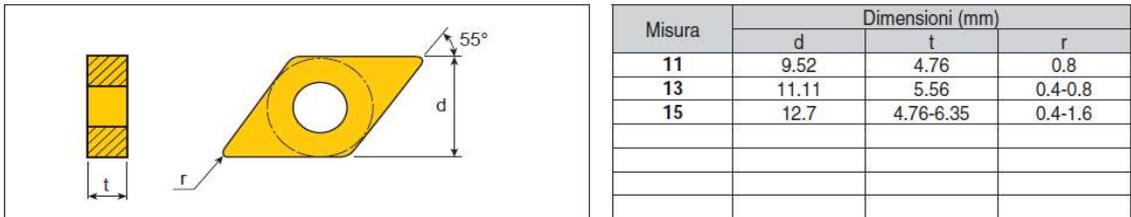
4.2 INSERTI TAEGUTEC

Gli inserti adottati nel processo di tornitura esterna per la produzione degli alberi di trasmissione della ZF ed attualmente montati a bordo macchina sono della multinazionale TaeguTec Ltd., la cui sede è situata a Daegu in Corea.

Tra le numerose offerte proposte a catalogo [15], la scelta per lo sgrossatore sinistro è ricaduta sull'inserto DNMG 150608 L-VF TT8125, rombico negativo a 55° con rivestimento CVD, e per finitore sinistro su VNMG 160408 FC PV3010, Cermet rombico negativo a 35° le cui caratteristiche seguono:

T-TURN DNMG

Inserti Rombici Negativi a 55°

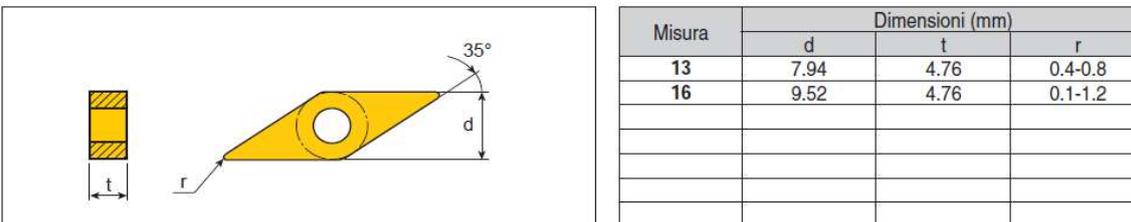


Inserto	Descrizione	Avanz. (mm/giro)	ap (mm)	Cermet		Rivestito CVD								Rivestito PVD			Non rivestito								
				PV3010	CT3000	TT7005	TT7015	TT7310	TT8115	TT8125	TT8135	TT9215	TT9225	TT9235	TT5100	TT7100	TT5080	TT8020	TT9020	TT9080	P20	K10	K20		
 Lav. Medie	DNMG 150404 L-VF	0.10-0.35	0.7-4.5																						
	DNMG 150404 R-VF	0.10-0.35	0.7-4.5																						
	DNMG 150604 L-VF	0.10-0.35	0.7-4.5																						
	DNMG 150604 R-VF	0.10-0.35	0.7-4.5																						
	DNMG 150408 L-VF	0.12-0.45	1.0-4.5																						
	DNMG 150408 R-VF	0.12-0.45	1.0-4.5																						
	DNMG 150608 L-VF	0.12-0.45	1.0-4.5																						
	DNMG 150608 R-VF	0.12-0.45	1.0-4.5																						

FIGURA 34 SGROSSATORE TAEGUTEC DNMG 150608 L-VF TT8125 [15]

T-TURN VNMG

Inserti Rombici Negativi a 35°



Inserto	Descrizione	Avanz. (mm/giro)	ap (mm)	Cermet		Rivestito CVD								Rivestito PVD			Non rivestito								
				PV3010	CT3000	TT7005	TT7015	TT7310	TT8115	TT8125	TT8135	TT9215	TT9225	TT9235	TT5100	TT7100	TT5080	TT8020	TT9020	TT9080	P20	K10	K20		
 Per finitura	VNMG 130404 FC *	0.08-0.20	0.5-1.5																						
	VNMG 130408 FC *	0.10-0.23	0.5-2.0																						
	VNMG 160404 FC	0.05-0.30	0.3-2.5																						
	VNMG 160408 FC	0.08-0.35	0.3-2.5																						

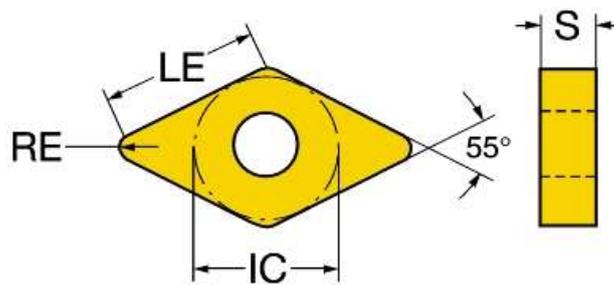
FIGURA 35 FINITORE TAEGUTEC VNMG 160408 FC PV3010 [15]

4.3 INSERTI SANDVIK COROMANT

Sandvik Coromant, nata dal gruppo Sandvik [14], multinazionale svedese, è fornitore leader a livello globale di utensili da taglio e know-how per l'industria della lavorazione dei metalli, contribuendo negli ultimi anni nella creazione di innovazioni destinate a diventare standard nella prossima era industriale.

La scelta per inserti sgrossatori e finitori sinistri è ricaduta su questi:

- DNMG 150608 L-K 4415, rombico negativo a 55° con rivestimento CVD



Codice di ordinazione

ISO
DNMG 15 06 08L-K 4415
ANSI
DNMG 442L-K 4415

ID materiale
7859194
EAN
7323225037358

Valori iniziali

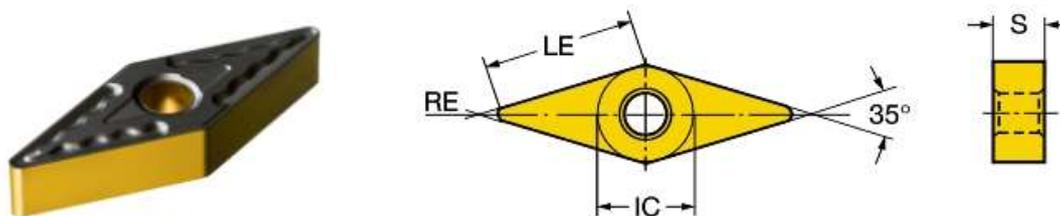
P	ap 3 mm(0.8-5) fn 0.3 mm/r(0.14-0.5) vc 345 m/min(415-290)	K	ap 3 mm(0.8-5) fn 0.3 mm/r(0.14-0.5) vc 245 m/min(280-215)
---	--	---	--

Specifiche dei prodotti

<p>Livello 1 di classificazione del materiale (TMC1ISO) P K</p> <p>Misura e forma dell'inserto (CUTINTSIZESHAPE) DN1506</p> <p>Diametro del cerchio inscritto (IC) 12,7 mm</p> <p>Lunghezza effettiva del tagliente (LE) 14,704 mm</p> <p>Proprietà tagliente raschiante (WEP) false</p> <p>Qualità (GRADE) 4415</p> <p>Rivestimento (COATING) CVD TICN+AL2O3+TIN</p> <p>Angolo di spoglia inferiore principale (AN) 0 deg</p> <p>Sensor embedded property (SEP) 0</p>	<p style="text-align: right;">S)</p> <p>Codice del tipo di montaggio dell'inserto (IFS) 2</p> <p>Numero di taglienti (CEDC) 4</p> <p>Codice della forma dell'inserto (SC) D</p> <p>Raggio di punta (RE) 0,794 mm</p> <p>Versione (HAND) L</p> <p>Substrato (SUBSTRATE) HC</p> <p>Spessore dell'inserto (S) 6,35 mm</p> <p>Peso dell'articolo (WT) 0,015 kg</p> <p>Release date (ReleaseDate) 2020-09-25</p>
---	--

FIGURA 36 CARATTERISTICHE SGROSSATORE SANDVIK DNMG 150608 L-K 4415 [14]

- VNMG 160408 QM4315, rombico negativo a 35° con rivestimento CVD



Codice di ordinazione

Valori iniziali

ISO VNMG 16 04 08-QM 4315	ID materiale 6612805	<div style="display: inline-block; background-color: #00aaff; color: white; padding: 5px; text-align: center; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">P</div>	ap 3 mm(1-4)	<div style="display: inline-block; background-color: #ff0000; color: white; padding: 5px; text-align: center; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">K</div>	ap 2.5 mm(1-4)
ANSI VNMG 332-QM 4315	EAN 26612805		fn 0.35 mm/r(0.2-0.5)		fn 0.25 mm/r(0.2-0.43)
			vc 315 m/min(360-285)		vc 255 m/min(265-225)

Specifiche dei prodotti

Livello 1 di classificazione del materiale (TMC1ISO)

P K

Codice del tipo di montaggio dell'inserto (IFS)

2

Misura e forma dell'inserto (CUTINTSIZESHAPE)

VN1604

Numero di taglienti (CEDC)

4

Diametro del cerchio inscritto (IC)

9,525 mm

Codice della forma dell'inserto (SC)

V

Lunghezza effettiva del tagliente (LE)

15,806 mm

Raggio di punta (RE)

0,794 mm

Proprietà tagliente raschiante (WEP)

false

Versione (HAND)

N

Qualità (GRADE)

4315

Substrato (SUBSTRATE)

HC

Rivestimento (COATING)

CVD TICN+AL2O3+TIN

Spessore dell'inserto (S)

4,763 mm

Angolo di spoglia inferiore principale (AN)

0 deg

Peso dell'articolo (WT)

0,01 kg

Sensor embedded property (SEP)

0

Release date (ReleaseDate)

2014-09-20

FIGURA 37 CARATTERISTICHE SGROSSATORE SANDVIK VNMG 160408 QM4315 [14]

Tra i vari inserti Sandvik testati a bordo macchina, sono state proposte le schede tecniche solo di quelli che sono riusciti a portare a termine le prove sperimentali senza rompersi o causare possibili danneggiamenti all'attrezzatura utilizzata a bordo macchina.

5 PROVE SPERIMENTALI ED ANALISI DATI

5.1 VITA UTILE DEGLI INSERTI

Lo scopo di questa prova sperimentale è di confrontare gli inserti della TaeguTec (Corea), scelti e montati a bordo macchina all'inizio della produzione dell'albero di trasmissione ZF, con quelli della Sandvik (Svezia) analizzando la vita utile degli inserti, in termini di pezzi lavorati per profilo tagliente, e l'influenza della velocità di taglio su tale parametro [4].

Lo studio è stato eseguito solo per gli inserti con orientazione sinistrorsa perché caratterizzati dal maggior tempo di contatto con il pezzo e quindi sollecitati maggiormente a fenomeni di deterioramento del fianco e danneggiamento del raggio di punta.

5.1.1 SETUP SPERIMENTALE

Le prove sono iniziate attrezzando la torretta porta utensile, installata sul tornio Biglia 1250L, con nuovi inserti finitori e sgrossatori prelevati dall'apposita scatola: prima di procedere con il conteggio dei componenti lavorati, sul pannello di controllo della macchina si è azzerato il valore del conta pezzi.

Successivamente la lavorazione è iniziata eseguendo il ciclo di lavoro del codice ISO Fanuc [16], descritto nei paragrafi precedenti, inserito in fase di piazzamento dal responsabile di reparto tornitura.

Durante il turno lavorativo, l'operatore, in base all'esperienza maturata nel corso degli anni, rilevava il consumo del raggio di punta del tagliente, girava l'inserto su un nuovo profilo e riportava su una tabella il numero dei pezzi realizzati, visualizzato sul display della macchina operatrice.

Questo procedimento è stato ripetuto per i quattro taglienti di ogni inserto, sia sgrossatore che finitore, mantenendo per l'intera procedura gli stessi parametri di taglio [2].

In base ai risultati ottenuti si è deciso di aumentare la velocità di taglio per entrambi gli inserti al fine di osservare l'influenza di tale parametro sulla vita utile e l'effetto sulla produttività.

5.1.2 ANALISI SPERIMENTALE

Il numero di giri al minuto riportato nelle tabelle (2 3) è una media dei valori ottenuti con la formula (2) inserendo i diametri lavorati, indicati nel codice ISO, durante il passaggio dell'inserto; stesso ragionamento vale per l'avanzamento al giro dove si è mediato il valore relativo alla $F=\text{feed}$.

L'avanzamento v_f è il risultato del prodotto tra n e f_n .

Il tempo di contatto tra inserto e pezzo è stato rilevato cronometrando a bordo macchina il tempo di lavoro effettivo, privo dei movimenti in rapido, ed inserendo nel codice delle righe di pausa ed interruzione, prima del cambio inserto, per facilitare la rilevazione.

Le seguenti tabelle mostrano i risultati del tempo di contatto, inteso come inserto-pezzo, per ogni singolo ciclo macchina alla velocità di taglio predefinita, 220 m/min per lo sgrossatore e 240m/min per il finitore, e ad una v_c pari a 260m/min per entrambi.

Questo secondo parametro si è scelto per non sollecitare troppo il trascinatore, nell'azione di trasmissione del moto rotatorio al pezzo, al fine di evitare spiacevoli inconvenienti come la fusione della rondella di bilanciamento degli artigli o lo sfilamento del componente dal sistema di bloccaggio.

Il risultato di pezzi lavorati per tagliente è una media realizzata sui quattro taglienti di un singolo inserto.

SGROSSATURA						
Velocità taglio	Giri al minuto	Avanzamento	N° taglienti	Avanzamento al giro	Profondità passata	Tempo di contatto
v_c [m/min]	n [rpm]	v_f [mm/min]		f_n [mm]	a_p [mm]	[min][sec]
220	1085	325,50	4	0,30	2,5	2'01"
260	1282	384,60	4	0,30	2,5	1'31"

TABELLA 2 PARAMETRI TAGLIO SGROSSATURA

FINITURA						
Velocità taglio	Giri al minuto	Avanzamento	N° taglienti	Avanzamento al giro	Profondità passata	Tempo di contatto
v_c [m/min]	n [rpm]	v_f [mm/min]		f_n [mm]	a_p [mm]	[min][sec]
240	1370	274,00	4	0,20	0,4	2'02"
260	1485	296,80	4	0,20	0,4	1'46"

TABELLA 3 PARAMETRI DI TAGLIO FINITURA

Marca	Codice inserto	Tipologia	Media pezzi per tagliente	
			$v_c = 220m/min$	$v_c = 260m/min$
TAEGUTEC	DNMG 150608 L-VF TT8125	Sgrossatore	51	32
SANDVIK	DNMG 150608 L-K 4415	Sgrossatore	47	30
	DNMG 150608 L-K 4425	Sgrossatore	36*	/
	DNMG 150608 PR 4415	Sgrossatore	35*	/

TABELLA 4 VITA UTILE DEGLI INSERTI SGROSSATORI

Marca	Codice inserto	Tipologia	Media pezzi per tagliente	
			$v_c = 240m/min$	$v_c = 260m/min$
TAEGUTEC	VNMG 160408 FC PV3010	Finitore	51	49
SANDVIK	VNMG 160408 PM 4315	Finitore	10*	/
	VNMG 160408 QM 4315	Finitore	57	52

TABELLA 5 VITA UTILE DEGLI INSERTI FINITORI

5.1.3 CONCLUSIONI

Le medie di pezzi lavorati per tagliente, riportate nelle tabelle (4 e 5), permettono di confrontare la vita utile degli inserti TaeguTec, scelti e montati a bordo macchina all'inizio della produzione dell'albero di trasmissione ZF, con quelli della Sandvik.

Gli inserti Sandvik che presentano il segno “*” sono stati scartati durante la prima fase di test perché hanno presentato dei comportamenti inaffidabili per l'avanzamento delle prove con il rischio di causare un danneggiamento dell'attrezzatura CNC della macchina [10]:

- Lo sgrossatore *DNMG 150608 L-K 4425* è risultato troppo poco tenace durante la lavorazione presentando prematuramente importanti fenomeni di usura sul raggio di punta;
- Lo sgrossatore *DNMG 150608 PR 4415* una geometria del rompi truciolo differente, senza lo scanalato di invito, comportando uno scorretto avanzamento dell'inserto lungo il pezzo e riportando una rottura fallimentare sul fianco;
- Il finitore *VNMG 160408 PM 4315* non è stato selezionato per l'eccessivo attorcigliamento del truciolo attorno al trascinatore al termine della lavorazione.

L'analisi della variazione della velocità di taglio permette di osservare una riduzione importante del tempo di contatto tra inserto e pezzo lavorato (2 e 3), un crollo della vita utile degli sgrossatori e un andamento quasi inalterato della media dei pezzi lavorati per tagliente dei finitori.

La causa di questo comportamento è la differente profondità di passata a cui le due tipologie di inserti sono sottoposti durante la lavorazione: la sgrossatura impone la rimozione del sovrametallo in modo piuttosto grossolano e profondo, la finitura porta a misura il pezzo rispettando le tolleranze dimensionali, geometriche e di rugosità richieste da disegno. A parità di sezione del truciolo, espressa con la formula $A = f \cdot p$, dove f è l'avanzamento [mm] e p è la profondità di passata [mm], l'aumento della velocità di taglio v_c comporta un incremento della temperatura nella zona di taglio e, di conseguenza, una maggiore usura del tagliente [2][3].

La media del numero di pezzi lavorati per tagliente, sia per gli sgrossatori che per i finitori, mostra risultati molto simili tra le due marche poste a confronto e ciò comporta a scegliere di mantenere i TaeguTec a bordo macchina.

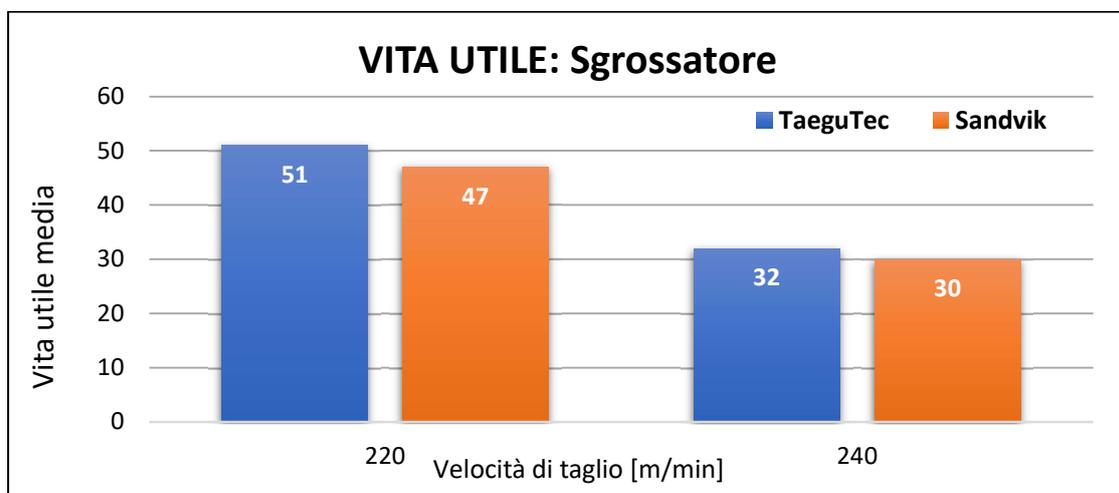


FIGURA 38 CONFRONTO VITA UTILE SGROSSATORE TAEGUTEC E SANDVIK

Il seguente grafico mette a confronto la vita utile dei finitori della TaeguTec e della Sandvik.

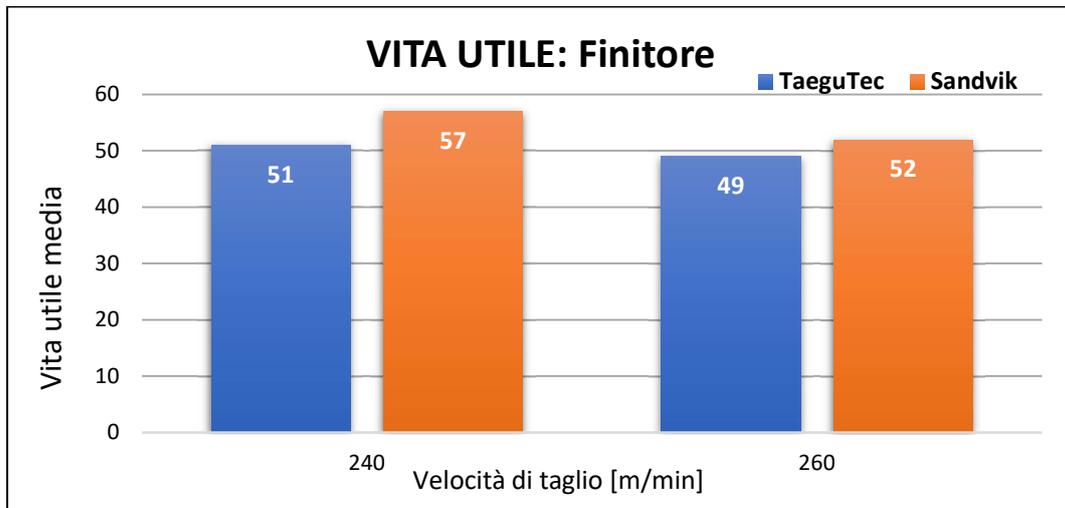


FIGURA 39 CONFRONTO VITA UTILE FINITORE TAEGUTEC E SANDVIK

5.2 USURA DEI TAGLIENTI

Questo paragrafo tratta l'analisi dell'usura degli inserti sgrossatori della TaeguTec e della Sandvik, soprattutto di quelli che hanno presentato rischi e problematiche durante l'esecuzione delle prove relative alla vita utile.

L'attenzione è posta sugli inserti sgrossatori poiché sottoposti a un'elevata azione di asportazione di materiale, con importanti profondità di passata, e dunque più soggetti a fenomeni di usura ed eventuale rottura.

Un profilometro ha consentito di rilevare la modifica del profilo tagliente deteriorato durante la lavorazione di tornitura e di effettuare il confronto con la geometria di un inserto nuovo.

Tramite l'utilizzo di una lente macroscopica e di un microscopio digitale HD è stato possibile osservare il progressivo danneggiamento del raggio di punta e visualizzare le tipologie di usura sviluppatesi. La variazione della velocità di taglio ha permesso di studiare l'influenza di questo parametro sulle varie tipologie di degradazione ottenute nel corso della sperimentazione [4].

5.2.1 ANALISI TEORICA

L'inserto, indipendentemente dal materiale di cui è costituito, non mantiene la geometria iniziale per un tempo infinito ma, a causa delle sollecitazioni meccaniche, termiche e chimiche a cui è soggetto durante la lavorazione, presenta fenomeni di usura.

L'analisi basata sullo studio dell'usura degli utensili di taglio può aiutare a preselezionare la gamma di parametri di taglio ottimali per un processo di lavorazione specifico: la valutazione della degradazione degli inserti è necessaria per definirne la vita utile e la durata, cioè il tempo di taglio in cui è in grado di svolgere le corrette funzioni [3].

Il controllo dell'usura consente di evitare la rottura degli inserti e il conseguente arresto del processo di produzione e danneggiamento del pezzo lavorato, soprattutto perché l'evoluzione può cambiare significativamente la qualità della superficie delle parti lavorate.

I meccanismi principali di usura sono in seguenti [1][2][5][6]:

- Abrasione: presenza non uniforme di particelle ad elevata durezza, sul pezzo lavorato, che, sotto l'azione di forti pressioni specifiche nella zona di contatto con l'inserto, provocano una vera e propria azione abrasiva.
- Ossidazione: combinazione di ossigeno con alcuni componenti dell'inserto come il Co e il W che formano ossidi facilmente asportabili dal truciolo.
- Adesione: formazione del tagliente di riporto a causa delle basse temperature e velocità di taglio adottate durante la lavorazione.
- Diffusione: passaggio di atomi tra i materiali del pezzo e dell'inserto a causa dell'affinità chimica; questo meccanismo è favorito dalle alte temperature che si sviluppano durante il processo di taglio. Nel caso di carburi sinterizzati, grazie alle elevate temperature e velocità, è possibile riscontrare la transizione di carbonio dall'inserto al truciolo e ferrite dal pezzo all'utensile.

- Deformazione plastica: compressione e scorrimento sotto l'azione di elevate sollecitazioni meccaniche e termiche provocano deformazione plastica del tagliente e dunque variazione della forma dello spigolo tagliente dell'inserto.
- Fatica: ripetitive variazioni di temperature e forze causano la genesi di cricche e rotture del profilo tagliente.

Questi meccanismi si combinano spesso tra loro in funzione delle condizioni operative e danno origine a varie forme di usura che vengono proposte successivamente (Paragrafo 5.2.3).

L'usura degli inserti è un processo dipendente dal tempo e, come il taglio, aumenta gradualmente; il limite massimo di usura definisce la vita utile ammissibile dell'utensile ed assegna i requisiti relativi all'integrità della superficie delle parti lavorate [8].

Comunemente, la vita dell'inserto di taglio è caratterizzata da due tipi di difetti che possono incidere sulla sua conformità:

- Usura graduale del petto e/o del fianco.
- Rottura dell'inserto (nella maggior parte dei casi imprevista).

Considerando il primo caso come il più auspicabile, l'usura sul petto si manifesta come una cavità detta cratere di usura, mentre sul fianco principale e sul raggio di raccordo si può presentare il labbro di usura: la misurazione dell'intensità di questi fenomeni comporta la perdita di qualità sui pezzi lavorati e determina la durata dell'utensile.

La valutazione di queste due forme di usura richiede il rilevamento di almeno tre grandezze: la larghezza del labbro di usura VB , misurato dallo spigolo tagliente originale, la profondità KT del cratere sulla faccia dell'inserto e la distanza KM del punto medio del cratere.

Secondo la norma ISO 3685 [16], ai fini delle misure di usura il tagliente principale è diviso in tre zone: la zona C è la parte curva del tagliente all'angolo dell'inserto, la zona N è un quarto del tagliente usurato ed è il più lontano dal fianco, la zona B è la parte rimanente del tagliente compresa tra la Zona C e Zona N, come mostrato in Fig.40.

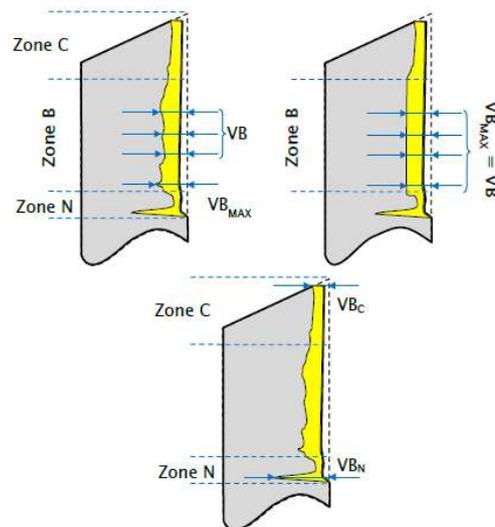


FIGURA 40 ZONE DI MISURA DELL'USURA SUL FIANCO [2]

La variazione della larghezza del labbro di usura ammissibile sul fianco dell'inserto presenta come limite superiore ammissibile $VB = 1 \text{ mm}$ poiché al di sopra di questo valore si possono avere dei distacchi di materiale con conseguente aumento eccessivo della rugosità e delle forze di taglio; le norme ISO consigliano comunque una VB pari a 0,3 mm.

Ci sono diversi tipi di usura che possono interessare gli inserti di tornitura [2][9]:

1. *Craterizzazione*, situata sul petto dell'inserto, dovuta allo strisciamento e compressione del truciolo sul petto del tagliente, provocando una depressione parallela al tagliente principale. Un'usura molto accentuata, riduce la forza di taglio ed indebolisce la forza del tagliente, influenzando la formazione del truciolo.
2. *Usura sul fianco* che si verifica a causa dello strisciamento del fianco e del raggio di punta dell'inserto contro il pezzo da lavorare; Un'eccessiva degradazione sul raggio di punta comporta una cattiva finitura superficiale e un incremento delle forze di taglio.
3. *Scheggiatura* dovuta alla fragilità del tagliente e alla qualità del metallo duro poco tenace.
4. *Usura ad intaglio* caratterizzata dalla combinazione di usura del fianco e craterizzazione e si verifica vicino al punto in cui il tagliente principale incontra la superficie di lavoro.
5. *Deformazione plastica* causata principalmente dagli elevati carichi specifici a cui è sottoposto il profilo tagliente; la struttura del metallo duro viene schiacciata e si formano dei rigonfiamenti che portano alla scheggiatura dell'inserto.

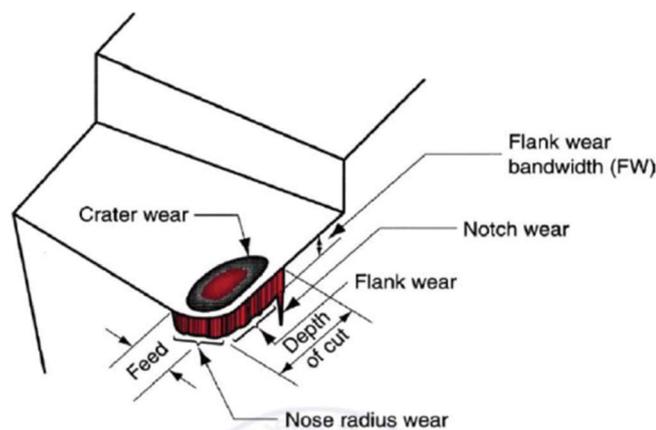


FIGURA 41 TIPI DI USURA [9]

I parametri principali che possono influenzare il grado di usura dell'inserto sono:

- Parametri di taglio (velocità di taglio, avanzamenti, profondità)
- Condizioni della lavorazione e geometria dell'inserto
- Proprietà chimico-fisiche del pezzo lavorato

A tal proposito si ricorda che le prove sperimentali sugli inserti della TaeguTec e della Sandvik sono state condotte variando la velocità di taglio al fine di osservare l'impatto di queste variazioni sia sull'usura degli inserti, che sul grado di rugosità superficiale e sulle tolleranze dimensionali dei diametri e dei rasamenti.

5.2.2 SETUP SPERIMENTALE

La rilevazione del grado di usura è stata effettuata utilizzando una macro lente ottica (12/24x), installata su uno smartphone, e un microscopio digitale HD (fino a 200x).

Queste strumentazioni hanno permesso la misurazione del deterioramento degli inserti sgrassatori in maniera diretta, senza interferire sul posizionamento della torretta porta utensile durante il processo di tornitura, analizzando lo sviluppo dei fenomeni di usura nel corso della lavorazione [2].



FIGURA 43 MACROLENTE (12/24X) [14]



FIGURA 42 MICROSCOPIO DIGITALE HD PORTATILE (FINO 200X) [2]

Il software “Tool Wear” fornito dalla Sandvik è stato adottato per confrontare le immagini relative all’usura sul fianco e sui taglienti, ottenute precedentemente, con degli esempi di usure tipiche raccolte nell’archivio dell’applicazione.

Nell’Figura 44 è proposto un confronto di usura tra a) un inserto prelevato dal tornio Biglia 1250L della O.L.V. e b) un caso di studio presente nel database Sandvik, necessario per un paragone documentato.

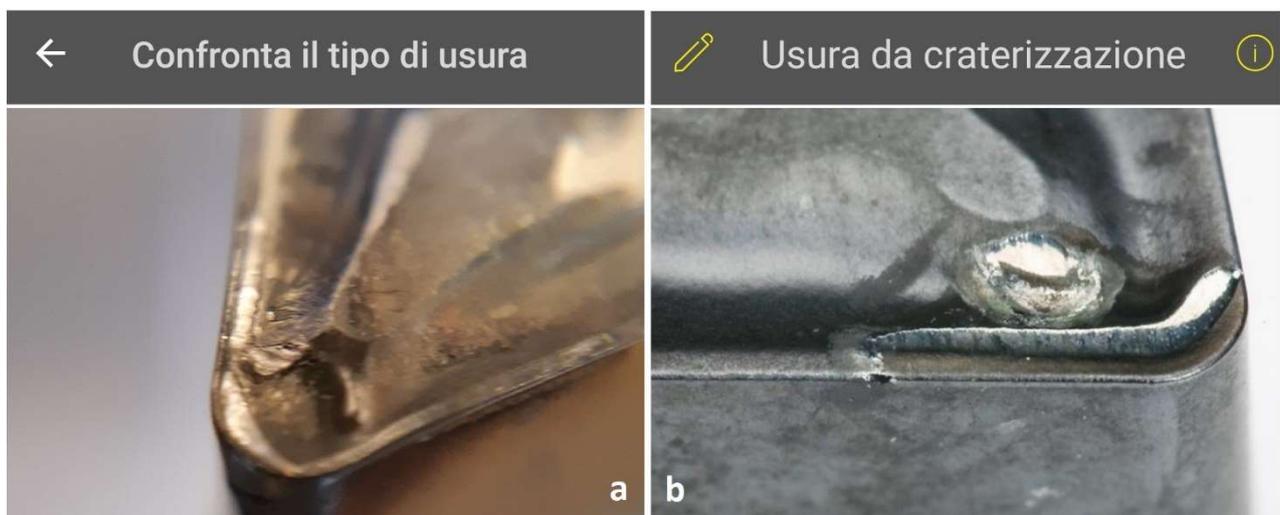


FIGURA 44 TOOL WEAR PER IL CONFRONTO DELL'USURA DEGLI INSERTI [14]

Per rilevare la modifica del profilo tagliente deteriorato degli inserti sgrossatori è stato utilizzato il profilometro MITUTOYO Contracer CV-2100N4 con le seguenti caratteristiche:

- Velocità misura $0,02 - 5 \text{ mm/s}$
- Campo di misura:
 - $Z1 = 50 \text{ mm}$
 - $X = 100 \text{ mm}$
- Velocità drive $0 - 20 \text{ mm/s}$
- Rettilinearità trasversale $2,5 \mu\text{m} / 100 \text{ mm}$

Il software FORMTRACEPAK consente di effettuare sia singole misure che complessi part program.



FIGURA 45 PROFILOMETRO MITUTOYO CONTRACER CV-2100N4

5.2.3 ANALISI SPERIMENTALE

In questo paragrafo vengono presentati i risultati ottenuti dalle rilevazioni dell'usura sugli inserti sgrossatori della TaeguTec e della Sandvik utilizzando una macro lente ottica e un microscopio digitale HD.

Il cambio di geometria del tagliente è stato osservato tramite il profilometro MITUTOYO che ha permesso di confrontare il profilo di un inserto nuovo con quello di uno usurato, sottoposto all'azione dei fenomeni di degradazione.

Il parametro di taglio che si è scelto di sottoporre ad una variazione, durante le procedure sperimentali, è la velocità di taglio v_c : tale fattore è passato da 220 m/min , valore inizialmente predefinito dalla codifica ISO di programmazione, a 260 m/min nella seconda analisi.

Lo scopo di queste verifiche è dunque quello di analizzare l'influenza dell'aumento di velocità di taglio sui fenomeni di usura sugli inserti sgrossatori.

Vengono anche esaminati quegli inserti (*) che nel paragrafo relativo alla vita utile hanno presentato dei comportamenti inaffidabili per l'avanzamento delle prove, riportando il rischio di causare un danneggiamento dell'attrezzatura CNC della macchina.

- **TAEGUTEC: DNMG 150608 L-VF TT8125**

L'inserto sgrossatore della Taegutec in un primo momento ha lavorato ad una velocità di taglio pari a 220m/min e le immagini che seguono mostrano l'usura rilevata con il microscopio digitale HD.

Sono osservabili l'usura sul fianco, che comporta una cattiva finitura superficiale, e la scheggiatura nella zona tra l'invito rompi truciolo e il tagliente secondario.

La velocità di taglio non sufficientemente elevata per raggiungere la corretta temperatura di lavoro ha provocato la formazione del tagliente di riporto sul petto dell'inserto, in prossimità con il raggio di punta: è dunque consigliato, al fine di evitare questa tipologia di usura, incrementare la velocità di taglio a 260m/min.



FIGURA 46 USURA DEL DNMG 150608 L-VF TT8125 A 220M/MIN

Osservando le foto scattate con la lente macroscopica, è possibile visualizzare gli effetti dovuti all'aumento della velocità di taglio: il tagliente di riporto, caratteristico di una insufficiente v_c , è stato sostituito dal fenomeno di craterizzazione, causato da un'eccessiva velocità di taglio; per ovviare a questo problema occorre ridurre la velocità di taglio a 240m/min e scegliere un avanzamento maggiore [8].

I fenomeni di usura del fianco e della scheggiatura persistono, evidente segno di una qualità di metallo duro non abbastanza resistente.



FIGURA 47 USURA DEL DNMG 150608 L-VF TT8125 A 260M/MIN

La rilevazione tramite profilometro, integrata con il software FORMTRACEPAK, ha consentito di tracciare la geometria del profilo tagliente prima e dopo la lavorazione di tornitura: la linea rossa ricalca la degradazione dell'inserto al termine della vita utile e mostra il confronto rispetto ad un inserto nuovo (Figura 48 e 49).



FIGURA 48 USURA SUL PROFILO TAGLIENTE DEL DNMG 150608 L-VF TT8125

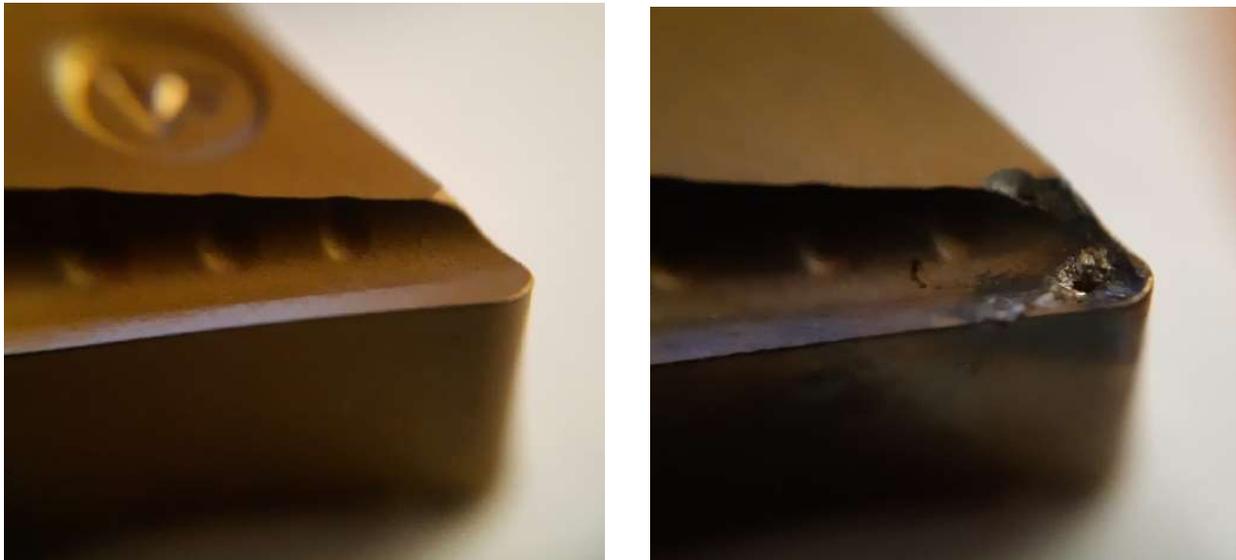


FIGURA 49 CONFRONTO INSERTO NUOVO ED INSERTO USURATO

- **SANDVIK: DNMG 150608 L-K 4415**

Come per il caso precedente, l'inserto sgrossatore Sandvik è stato fatto lavorare inizialmente alla velocità di taglio pari a 220m/min e poi successivamente ad un valore di v_c di 260m/min.

La prima analisi evidenzia fenomeni di scheggiatura in prossimità del raggio di punta dell'inserto e una zona con usura ad intaglio sul tagliente secondario, indice di diversa durezza tra superficie e struttura interna del pezzo in lavorazione; la presenza del tagliente di riporto segnala una velocità di taglio non sufficientemente elevata, parametro dunque da aumentare al fine di evitare errori geometrici e dimensionali durante l'operazione di sgrossatura e nella successiva fase di finitura [12].



FIGURA 50 USURA DEL DNMG 150608 L-K 4415 A 220M/MIN

Le immagini, ottenute sia con la macro lente che con il microscopio, relative all'inserto sgrossatore mettono in evidenza la presenza del tagliente di riporto nonostante la velocità sia stata incrementata a 260m/min; è inoltre possibile osservare la saldatura del materiale asportato sul petto dell'inserto e la presenza di un intaglio sul tagliente principale. A differenza del caso precedente il raggio di punta è rimasto intatto senza presentare zone con scheggiature o rotture del tagliente.

L'innalzamento del parametro di taglio non ha portato i risultati sperati e come possibile soluzione per ovviare a questo problema si propone di aumentare ulteriormente la v_c , causando però pericoli come lo sfilamento del pezzo dal sistema di bloccaggio con trascinatore [14].

Le figure 52 e 53 mostrano il profilo usurato del tagliente e il confronto tra un inserto nuovo ed uno usurato.

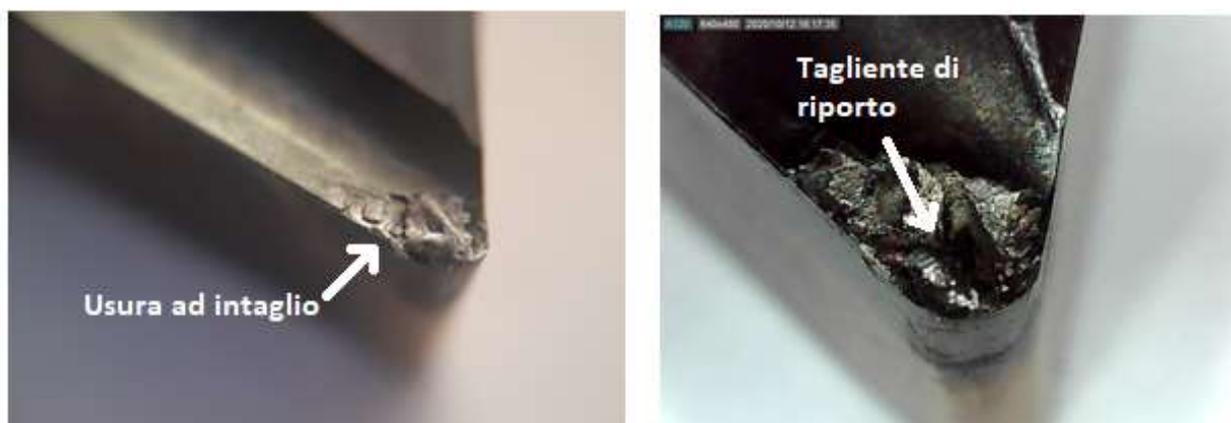


FIGURA 51 USURA DEL DNMG 150608 L-K 4415 A 260M/MIN

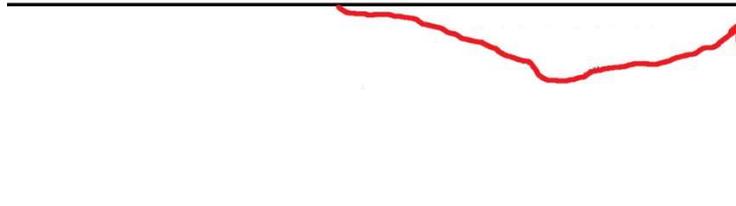


FIGURA 52 USURA SUL PROFILO TAGLIENTE DEL DNMG 150608 L-K

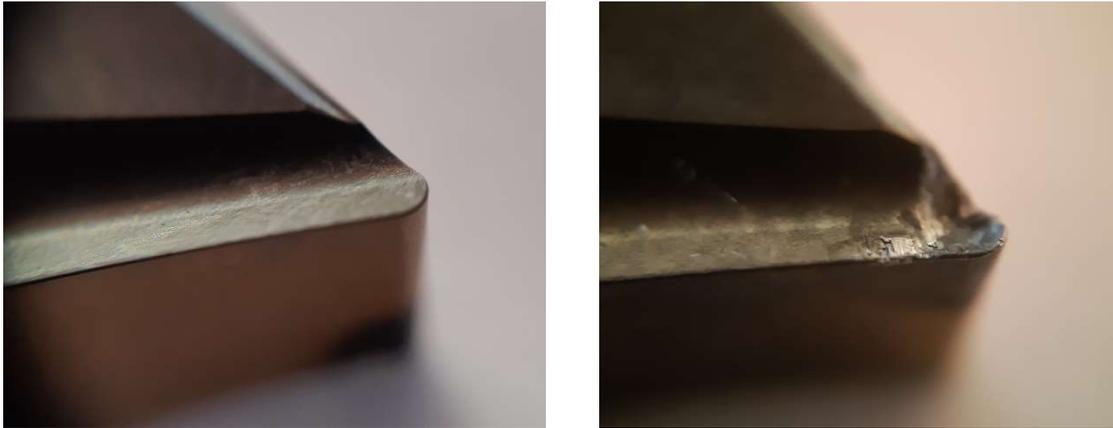


FIGURA 53 CONFRONTO INSERTO NUOVO ED INSERTO USURATO

- **SANDVIK: DNMG 150608 L-K 4425 ***

Questo inserto sgrossatore della Sandvik è risultato troppo poco tenace durante la lavorazione a 220m/min presentando prematuramente importanti fenomeni di usura sul raggio di punta e dunque scartato per i successivi test riguardanti la rugosità e il controllo dimensionale sui diametri e i rasamenti. Inoltre, come è osservabile dalle seguenti immagini, dopo solo 36 pezzi lavorati si sono rilevati importanti segni di usura sul fianco e tagliente di riporto che ne hanno bocciato immediatamente l'utilizzo in fase di sgrossatura [14].

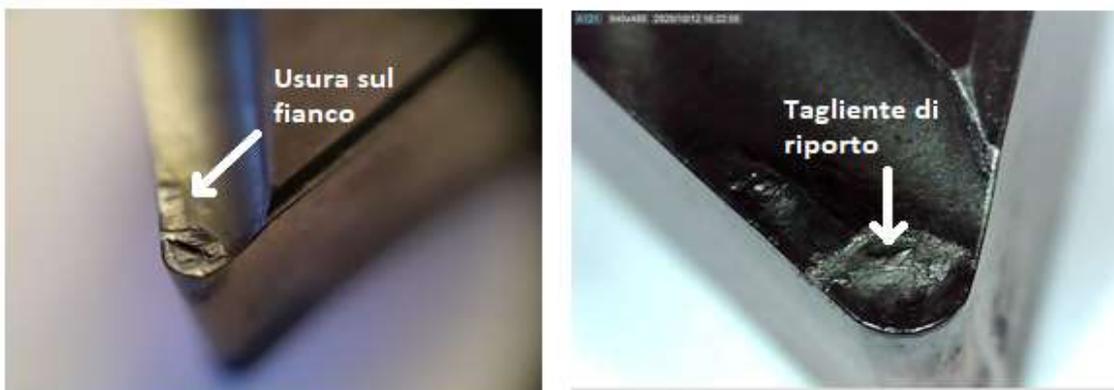


FIGURA 54 USURA DEL DNMG 150608 L-K 4425

- **SANDVIK: DNMG 150608 PR 4415 ***

La geometria del rompi truciolo (a) è differente rispetto agli altri inserti (b) perché non presenta lo scanalato di invito comportando dunque uno scorretto avanzamento dell'inserto lungo il pezzo ed una pericolosa rottura del tagliente secondario dopo appena 35 pezzi lavorati (Figura 55).

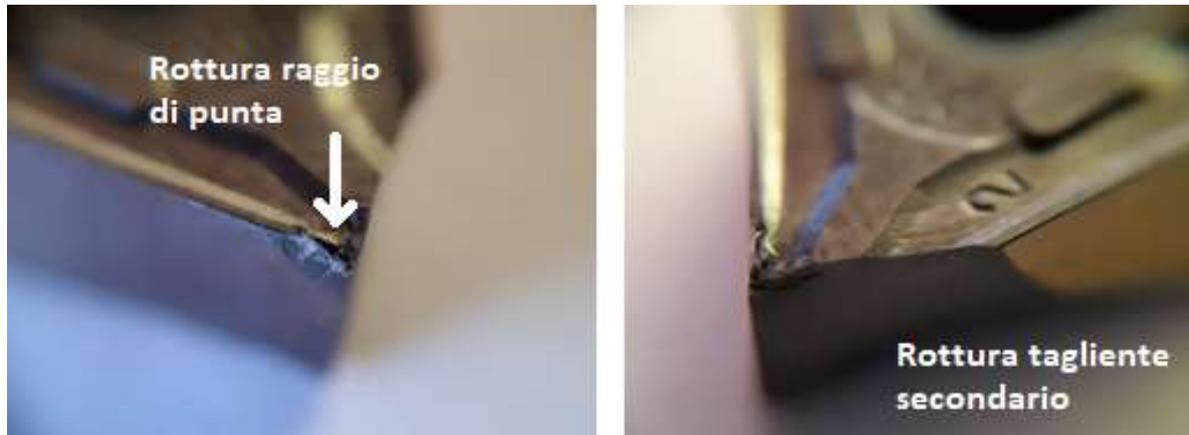


FIGURA 55 ROTTURA DEL DNMG 150608 PR 4415

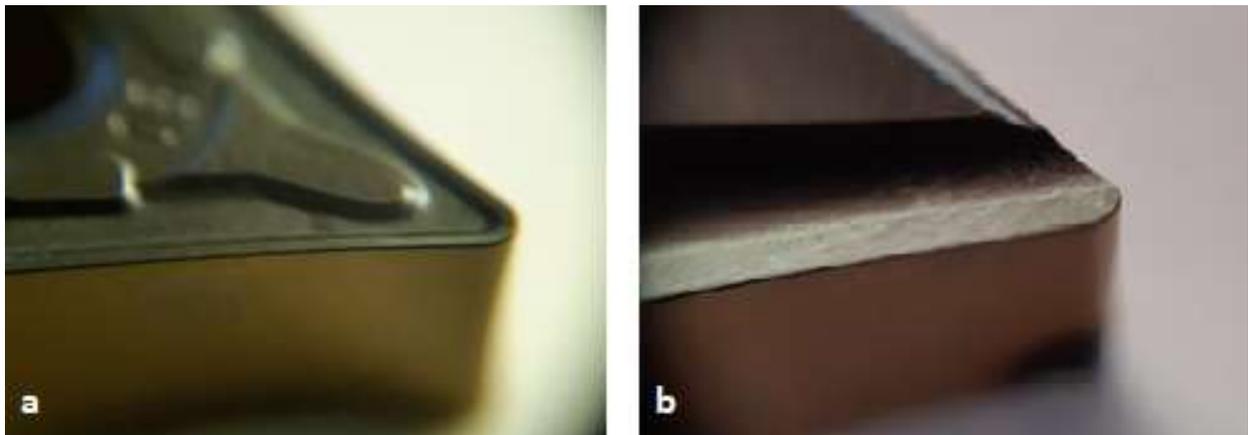


FIGURA 56 DIVERSA GEOMETRIA DEL ROMPI TRUCIOLO

5.2.4 CONCLUSIONI

Lo studio effettuato sull'usura riscontrata sugli inserti durante la fase di sgrossatura ha evidenziato come la velocità di taglio influenzi la genesi di fenomeni degradanti per gli utensili di tornitura.

Per i TaeguTec gli effetti osservati ad una v_c di 220m/min sono scheggiature, usura sul fianco e tagliente di riporto: la microsaldatura di truciolo sul petto dell'inserto è sconsigliata per evitare problemi relativi alla scorretta asportazione di materiale dal pezzo in lavorazione causando errori geometrici e dimensionali non previsti dalla quotatura riportata a disegno.

L'incremento della velocità di taglio aumenta la temperatura nella zona di taglio, diminuendo di conseguenza la durezza degli strati di materiale in lavorazione, e impedisce la formazione del tagliente di riporto poiché altrimenti composto da materiale meno duro di quello in lavorato.

Infatti, alla velocità di 260m/min è scomparso il tagliente di riporto ma si è generata una depressione parallela al tagliente principale tipica della craterizzazione, negativa per la formazione del truciolo: è necessario quindi lavorare ad una velocità intermedia tra i due valori.

L'inserto DNMG 150608 L-K 4415 della Sandvik nel primo test ha presentato gli stessi segni di usura del concorrente prodotto dalla casa coreana, ma ha evidenziato un'usura ad intaglio sul tagliente secondario, tipica di una differente durezza tra superficie e struttura interna del pezzo in lavorazione. Questa volta l'aumento di velocità di taglio non ha portato i benefici sperati poiché il tagliente di riporto si è ripresentato anche alla velocità di taglio di 260m/min: occorre incrementare ulteriormente questo parametro per ovviare a questo problema incorrendo però a possibili pericoli relativi allo sfilamento del pezzo dal sistema di bloccaggio con trascinatore.

Gli inserti caratterizzati dall'asterisco (*) hanno, durante i test di usura, rischiato di danneggiare l'attrezzatura CNC della macchina e sono preventivamente scartati dalla scelta per la fase di sgrossatura. Si sono osservati fenomeni quali usura sul fianco, tagliente di riporto e rottura del raggio di punta dopo pochi componenti lavorati, indice di non adeguata tenacità.

La diversa geometria del rompi truciolo ha decisamente penalizzato il DNMG 150608 PR 4415 che ha presentato una grave rottura dell'inserto per l'eccessiva pressione generata durante il taglio.

5.3 RUGOSITÀ

In questo paragrafo vengono presi in esame i finitori della TaeguTec e della Sandvik, precedentemente analizzati, con lo scopo di confrontare i risultati di rugosità superficiale ottenuti a due diverse velocità di taglio e di comprenderne l'effetto sul grado di finitura.

Le prove sperimentali vengono eseguite in un primo momento a 240m/min e successivamente ad un valore di v_c pari a 260m/min: da questo incremento è previsto un miglioramento del valore di R_a a causa della temperatura di lavoro più alta dell'inserto e una conseguente lavorazione più precisa.

Questo studio non comprende le rilevazioni degli inserti sgrossatori poiché il grado di rugosità misurato non è rilevante al fine del rispetto della tolleranza imposta da disegno pari a 6,3 μm .

5.3.1 ANALISI TEORICA

Il corretto funzionamento di un componente meccanico dipende dalla precisione dimensionale dei suoi elementi ma anche dagli errori geometrici presenti sulle superfici funzionali.

Gli strati superficiali del pezzo presentano un comportamento decisamente diverso a seconda del grado di rugosità e della morfologia della superficie a causa della usura in servizio degli organi delle macchine. La presenza di solcature o scalfitture, anche se microscopiche, che provocano concentrazione delle tensioni e riducono in maniera rilevante la resistenza alla fatica degli elementi meccanici: un elevato grado di finitura comporta una resistenza alla corrosione notevolmente superiore a quella di superfici con grado di rugosità più elevato [1] [12].

C'è da tenere in considerazione che l'aumento della precisione dimensionale, come quello del grado di finitura, causa rapide crescite nei costi di lavorazione. Talvolta è addirittura necessario, dal punto di vista funzionale, assegnare oltre al valore del grado massimo di rugosità anche il minimo al di sotto del quale non si deve assolutamente scendere.

Le dimensioni nominali così come le superfici ideali indicate sui disegni non sono ottenibili nei processi di fabbricazione perché rappresentano una geometria teoria: le lavorazioni ottenute dalle macchine utensili e da qualunque altro processo tecnologico consentono invece di realizzare superfici reali.

L'introduzione dell'argomento della misura del grado di finitura superficiali dei componenti meccanici necessita della descrizione di alcune definizioni fondamentali [1] [12]:

- la *superficie ideale* definisce idealmente il pezzo e lo rappresenta convenzionalmente sul disegno
- la *superficie reale* considera quella effettivamente ottenuta attraverso una lavorazione
- la *superficie misurata*, coincidente con quella reale, è quella rilevata dagli strumenti di misura microgeometrica
- la *superficie di riferimento* si utilizza per la misura degli errori geometrici e di solito è scelta per il grande raggio di curvatura
- la *superficie media* rappresenta la superficie con forma uguale a quella descritta dal pattino o a quella di riferimento con giacitura tale che la somma dei quadrati delle distanze dalla superficie normale sia minima
- la superficie normale o piano di rilievo è una sezione ortogonale alla superficie media

Le irregolarità sono contraddistinte da un orientamento, quando i solchi presentano una direzione predominante, e da un passo, definito come la distanza media tra le creste dei solchi rilevate con una certa periodicità. La sezione normale viene effettuata con giacitura normale a quella dei solchi prevalenti o con orientamento tale da mettere in evidenza la rugosità massima della superficie (Figura 57).

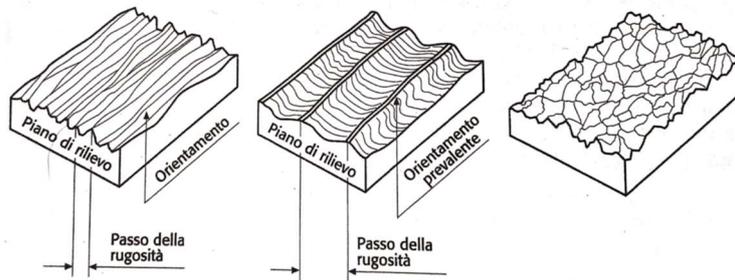


FIGURA 57 MODELLI DI RUGOSITÀ [1]

Gli errori macrogeometrici o di forma sono irregolarità di piccola ampiezza H_f e passo P_f molto grande, rappresentano la deviazione della superficie misurata dalla superficie media e sono da imputare alle imprecisioni e all'usura delle guide di scorrimento degli equipaggi della macchina.

La tessitura primaria, chiamata comunemente rugosità, deriva da imperfezioni microgeometriche di passo P_r ed ampiezza H_r molto piccoli causate dalle caratteristiche del materiale in lavorazione e dal moto di alimentazione dell'utensile.

Per tessitura secondaria si intendono le ondulazioni di ampiezza H_o e passo P_o maggiori derivanti dalle vibrazioni del sistema macchina-utensile-pezzo che possono essere innescate da diversi fattori: non corretta programmazione dei parametri fondamentali di taglio come velocità, profondità di passata ed avanzamento, sistematiche oscillazioni del pezzo in lavorazione, parametri degli inserti o degli utensili come angolo di registrazione e raggio di raccordo [1].

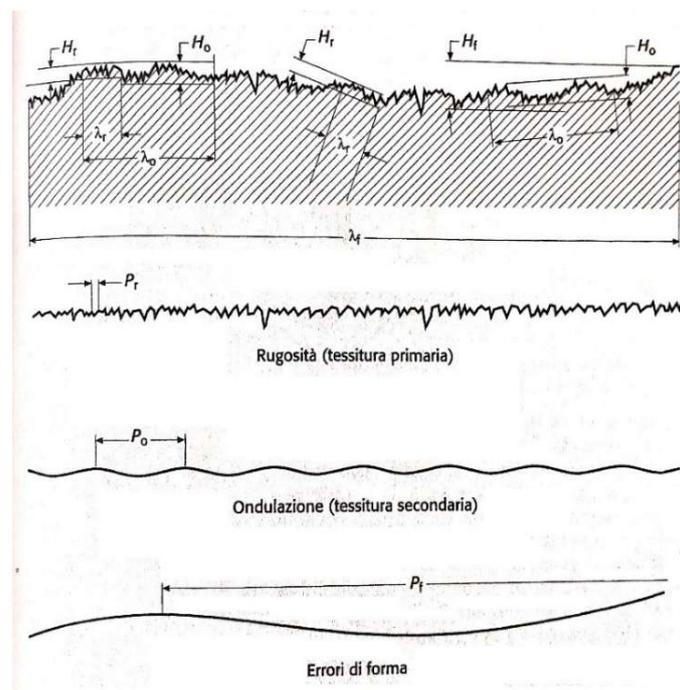


FIGURA 58 TESSITURA SUPERFICIALE [1]

La distinzione dei tipi di errori geometrici si esegue considerando il rapporto passo/ampiezza delle irregolarità, come mostrato nella tabella (6).

Tipi di irregolarità superficiali		Rapporto passo/ampiezza
Errori microgeometrici	Tessitura primaria/Rugosità	$0 < P_r/H_r \leq 50$
	Tessitura secondaria/Ondulazione	$50 < P_o/H_o \leq 1000$
Errori macrogeometrici	Errori di forma	$P_o/H_o > 1000$

TABELLA 6 VALORI INDICATIVI DEL RAPPORTO PASSO/AMPIEZZA DELLE IRREGOLARITÀ

5.3.2 SETUP SPERIMENTALE

Lo strumento per la misura degli errori microgeometrici utilizzato nelle procedure sperimentali è il rugosimetro MITUTOYO SurfTest SV 3100 Serie 178 (Figura 59); secondo la descrizione del catalogo, questo strumento offre elevata accuratezza, livelli di analisi molto approfonditi ed un'ampia gamma di funzioni nella misura della rugosità.

All'estremità dello stilo è montato un palpatore di diamante di forma conica o piramidale, il cui vertice è raccordato con un raggio di 2,5 μm , che rileva il profilo a contatto con il pezzo. Il moto verticale dello stile può essere riferito a due diversi sistemi.

Nel primo caso la posizione del palpatore è riferita ad una parte dello stilo chiamato pattino che si appoggia e scorre sulla superficie in esame; in alternativa lo stilo si muove rispetto ad un elemento che trasla secondo una linea orizzontale.

L'inclinazione della superficie da misurare rispetto alla linea di riferimento incide sul segnale ottenuto dal trasduttore che trasforma i movimenti dello stilo in segnali elettrici.

Gli assi X e Z2 sono datati di righe in cristallo ad alta accuratezza che garantiscono posizionamenti estremamente accurati poiché è importante che il moto dello stilo sia uniforme durante la rilevazione.



FIGURA 59 RUGOSIMETRO MITUTOYO

Un'unità motorizzata, controllata elettricamente, provvede a fare eseguire allo stilo la corsa di misura l_t costituita da:

- l_v tratto precedente alla corsa di misura
- l_n successivo alla misurazione
- l_m tratto di misura vero e proprio pari a cinque volte la lunghezza d'onda di taglio λ

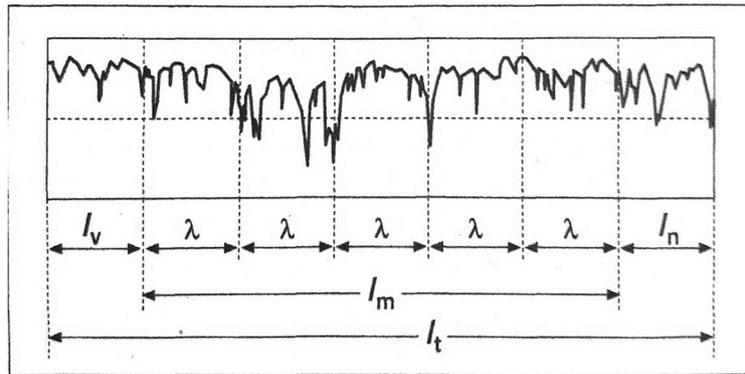


FIGURA 60 PROFILO MISURATO [1]

Un trasduttore e l'amplificatore consentono di trasformare il moto verticale dello stilo in segnale elettrico opportunamente amplificato; un convertitore A/D campiona in intervalli regolari il segnale e lo memorizza in una memoria RAM. Tramite un software si esegue un filtraggio digitale Gaussiano necessario a separare l'informazione della rugosità da quella relativa alla tessitura secondaria.

Le norme ISO hanno stabilito un certo numero di lunghezze di campionatura, diverse a seconda del tipo di lavorazione e dei parametri di taglio adottati, ritenute sufficienti per soddisfare le esigenze di analisi delle superfici lavorate [8]. Dall'indicazione presente nel cartiglio del disegno si estrapola il valore della rugosità R_z pari a $25 \mu\text{m}$ JIS che secondo le seguenti formule di conversione corrisponde al valore di rugosità media aritmetica R_a $6,3 \mu\text{m}$.

$$R_z = 4,47 \cdot R_a^{0,97} \quad (3)$$

$$R_a = 0,214 \cdot R_z^{1,03} \quad (4)$$

La tabella 7 riporta la lunghezza di campionatura minima in funzione del grado di rugosità e la rispettiva lunghezza di taglio da fissare per la rilevazione.

Rugosità profilo	Lunghezza di taglio (Cut off)	Lunghezza di campionamento
R_a [μm]	λ [mm]	l_m [mm]
$R_a \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a \leq 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a \leq 2$	0,8	4
$2 < R_a \leq 10$	2,5	12,5
$10 < R_a \leq 40$	8	40

TABELLA 7 LUNGHEZZA MINIMA DI CAMPIONATURA IN FUNZIONE DEL GRADO DI RUGOSITÀ [1]

Considerando il valore di rugosità R_a pari a $6,3 \mu\text{m}$, si sono scelti i seguenti parametri per la campionatura ed inseriti nel software SURFPAK-TC per l'inizio delle rilevazioni:

- $\lambda = 2,5 \text{ mm}$
- $l_m = 12,5 \text{ mm}$

	P_ISO	R_ISO	W_ISO	DF_ISO	RMOTIF_ISO	WMOTIF_ISO
λ	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5	8,0
n	1	2	3	4	5	
λ_c	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5	
λ_s	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8	

FILTER Gaussiano OFF

FIGURA 61 IMPOSTAZIONE PARAMETRI CAMPIONATURA

Le misurazioni vengono eseguite nella zona del tratto cilindrico di diametro $65,9 \pm 0,05 \text{ mm}$ prima dello spallamento $\varnothing 85 \text{ mm}$, come mostrato in figura (62).

Considerando un pre-corsa e un post corsa di $1,25 \text{ mm}$ e una lunghezza di misura pari a $10,0 \text{ mm}$, le condizioni di rilevazione della rugosità sono:

- Lunghezza di misura $12,5 \text{ mm}$
- Campo $2400,0 \mu\text{m}$
- Velocità pari a $1,0 \text{ mm/s}$
- Passo di misura $1,0 \mu\text{m}$
- Numero di punti 12500

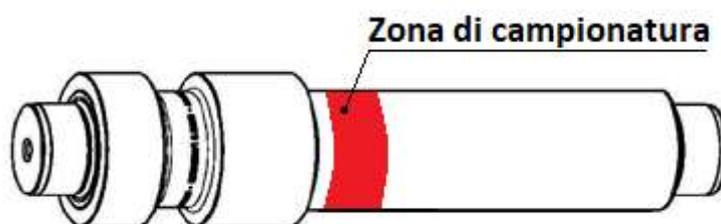


FIGURA 62 ZONA CAMPIONATURA

5.3.3 ANALISI SPERIMENTALE

- **TAEGUTEC: Finitore VNMG 160408 FC PV3010**

Il grado di finitura superficiale rilevato al momento della sostituzione dell'inserto finitore VNMG 160408 FC PV3010, dopo aver lavorato 52 pezzi, risulta essere 4,07 μm , mentre il valore medio di rugosità durante la lavorazione è di 3,46 μm , notevolmente inferiore rispetto alla richiesta del cliente di una R_a pari a 6,3 μm .

Questi risultati sono stati ottenuti adottando la velocità di taglio prevista dal programma ISO pari a 240m/min; considerando la distanza dalla rugosità indicata da disegno si è effettuato un ulteriore test aumentando la V_c a 260m/min al fine di osservarne l'influenza.

N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]	N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]
1	2,59	30	3,67
3	2,70	33	3,72
6	2,87	36	3,74
9	2,99	39	3,83
12	3,06	42	3,85
15	3,15	45	3,84
18	3,31	48	3,97
21	3,35	51	4,05
24	3,43	52	4,07
27	3,54	Rugosità media [μm]	3,46

TABELLA 8 VALORI RUGOSITÀ FINITORE CON V_c DI 240 M/MIN

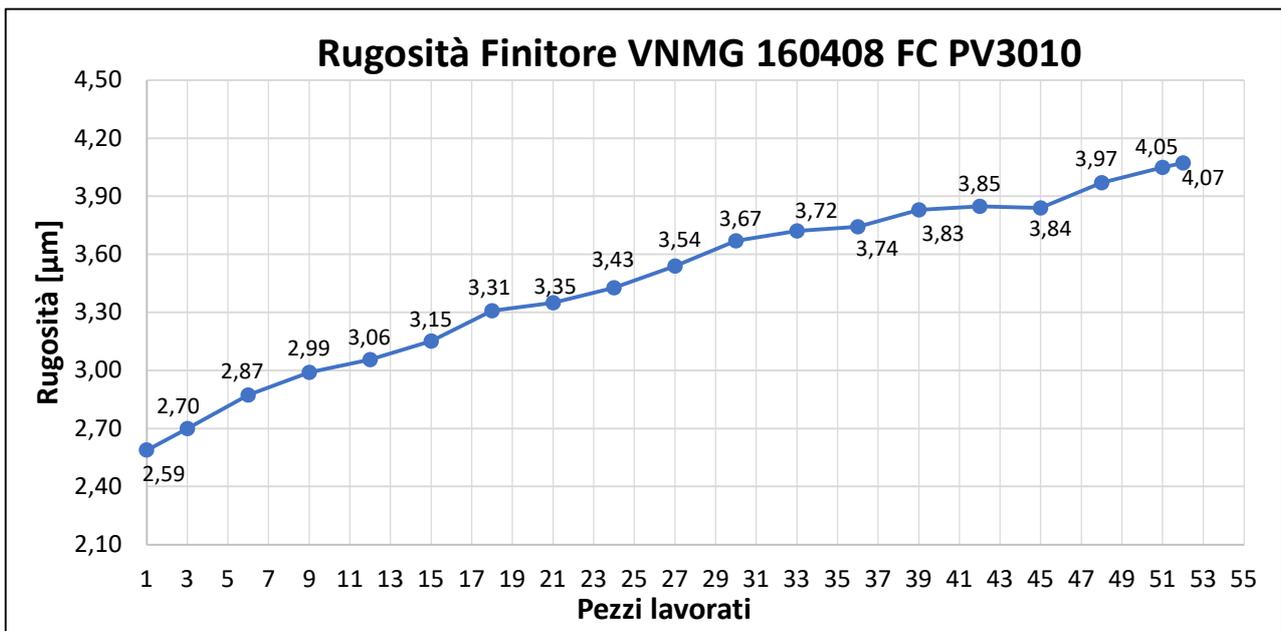


FIGURA 63 RUGOSITÀ FINITORE TAEGUTEC CON VELOCITÀ DI TAGLIO $V_c = 240 \text{ m/min}$

L'incremento della V_c a 260m/min ha consentito di rilevare il valore massimo di rugosità superficiale a fine vita (52 pezzi) corrispondente a 3,53 μm ed il valore medio è pari a 3,17 μm , inferiore sia al dato precedentemente misurato sia alla richiesta del cliente.

N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]	N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]
1	2,40	30	3,45
3	2,52	33	3,43
6	2,67	36	3,38
9	2,86	39	3,43
12	3,07	42	3,37
15	3,09	45	3,48
18	2,95	48	3,35
21	3,18	51	3,42
24	3,27	52	3,53
27	3,34	Rugosità media [μm]	3,17

TABELLA 9 RUGOSITÀ FINITORE CON VELOCITÀ DI TAGLIO $V_c=260$ M/MIN

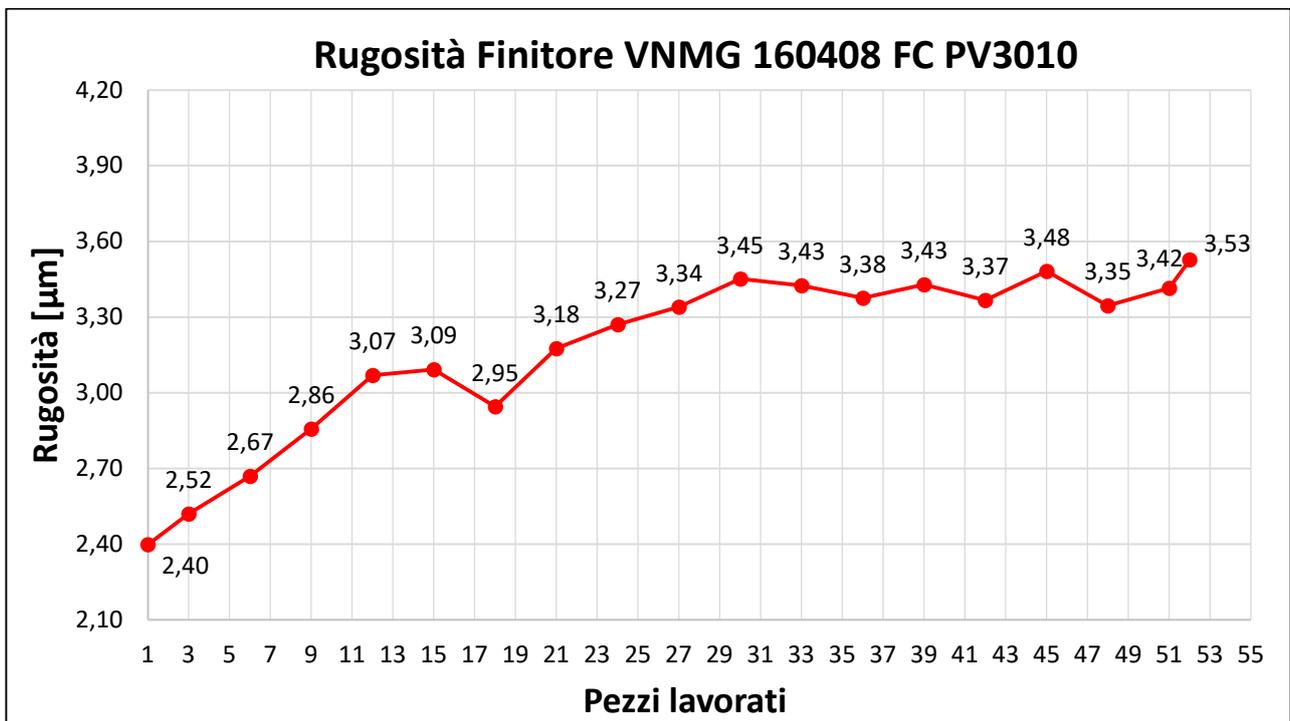


FIGURA 64 RUGOSITÀ FINITORE TAEGUTEC CON VELOCITÀ DI TAGLIO $V_c=260$ M/MIN

- **SANDVIK: Finitore VNMG 160408 QM 4315**

Dopo la lavorazione di 57 pezzi, il grado di finitura superficiale rilevato al momento della rimozione dell'inserto finitore VNMG 160408 QM 4315 risulta essere 3,56 μm , con un valore medio di 2,78 μm . Analizzando il grafico in Figura (65) si denota una crescita della rugosità che avanza di pari passo con il numero di articoli realizzati: è evidente dunque un'usura progressiva del raggio di punta dell'inserto che incide sulla qualità della lavorazione.

Come per gli inserti TaeguTec, i finitori Sandvik hanno operato con una velocità di taglio pari a 240 m/min nel primo test e successivamente aumenta a 260m/min, mantenendo la frequenza di acquisizione di un pezzo ogni 3.

N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]	N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]
1	2,04	33	2,89
3	2,16	36	3,04
6	2,20	39	3,02
9	2,32	42	2,91
12	2,32	45	3,00
15	2,54	48	3,19
18	2,61	51	3,25
21	2,69	54	3,49
24	2,75	57	3,56
27	2,73	Rugosità media [μm]	2,78
30	2,86		

TABELLA 10 VALORI RUGOSITÀ FINITORE CON V_c DI 240 M/MIN

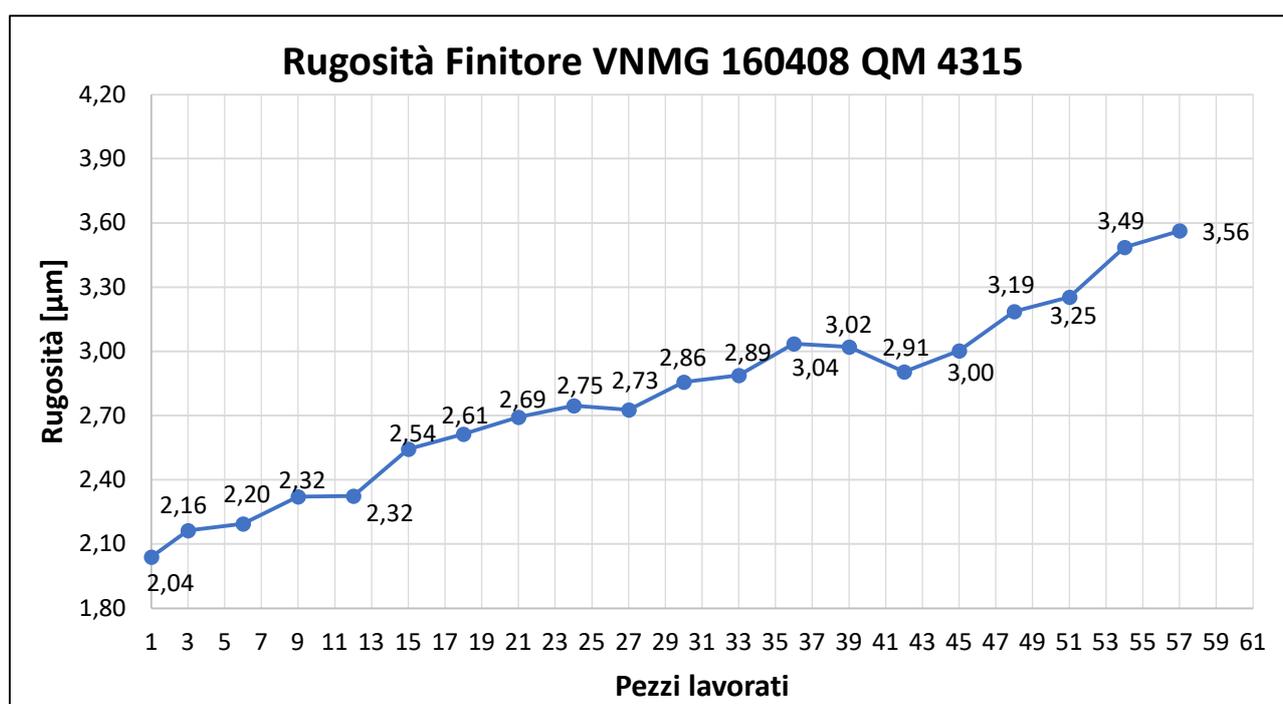


FIGURA 65 RUGOSITÀ FINITORE SANDVIK CON VELOCITÀ DI TAGLIO $V_c=240$ M/MIN

L'incremento della velocità di taglio mostra una rugosità massima di 3,17 μm e una media pari a 2,71 μm , con una riduzione della vita utile dell'inserto a 51 pezzi lavorati contro i 57 precedentemente ottenuti.

Rispetto all'altra casa produttrice di inserti, non si evidenzia una così netta differenza in termini di qualità superficiale ma, in compenso, si ha una diminuzione dei pezzi realizzati per tagliente.

N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]	N°PEZZO LAVORATO	RUGOSITÀ [μm]
1	2,07	30	2,83
3	2,11	33	2,78
6	2,27	36	2,94
9	2,35	39	2,91
12	2,44	42	2,95
15	2,63	45	3,08
18	2,76	48	3,17
21	2,87	51	3,14
24	2,79	Rugosità media [μm]	2,71
27	2,68		

TABELLA 11 VALORI RUGOSITÀ FINITORE CON V_c DI 260 M/MIN

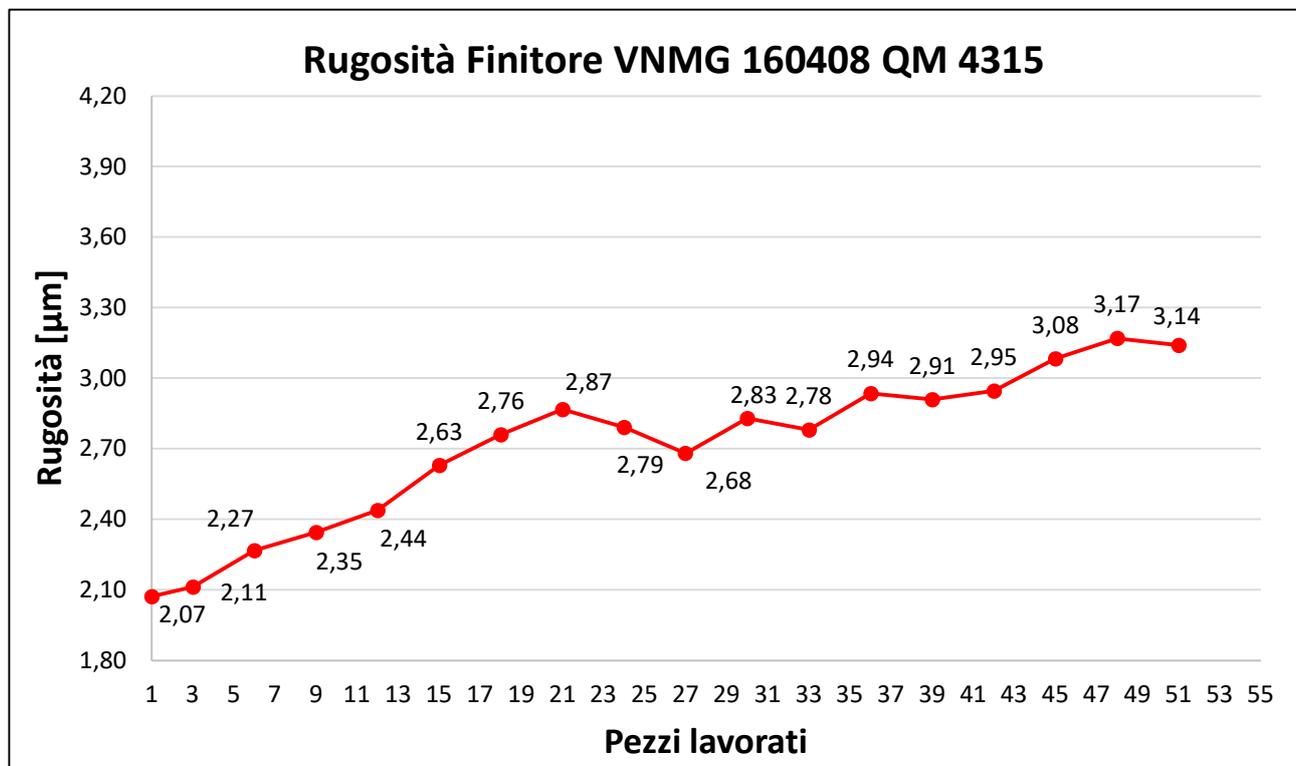


TABELLA 12 RUGOSITÀ FINITORE SANDVIK CON VELOCITÀ DI TAGLIO $V_c=260$ M/MIN

5.3.4 CONCLUSIONI

Le procedure sperimentali descritte nel paragrafo precedente permettono di confrontare i risultati di rugosità superficiale ottenuti a due diverse velocità di taglio dei finitori della TaeguTec e della Sandvik e di comprenderne l'effetto sul grado di finitura.

Una prima analisi consente di osservare la rugosità superficiale del finitore TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010 alla v_c di 240m/min e 260m/min: l'aumento di velocità ha comportato una riduzione della R_a al termine della vita utile dell'utensile.

Portare gli inserti ad una velocità di taglio maggiore consente di raggiungere più rapidamente la temperatura ottimale di lavoro ed ottenere un grado di finitura migliore [11].

Lavorare ad una velocità di taglio maggiore consente di ridurre il tempo macchina di circa 15 secondi, portandolo a 6'15", e di aumentare a livello teorico la produzione di pezzi per turno, realizzati sul un tornio, da 50 a 53 unità.

TAEGUTEC VNMG 160408 FC PV3010					
<i>Velocità di taglio = 240m/min</i>			<i>Velocità di taglio = 260m/min</i>		
Rugosità max [μm]	Rugosità media [μm]	Pezzi lavorati	Rugosità max [μm]	Rugosità media [μm]	Pezzi lavorati
4,07	3,46	52	3,53	3,17	52

TABELLA 13 CONFRONTO PRESTAZIONI TAEGUTEC A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO

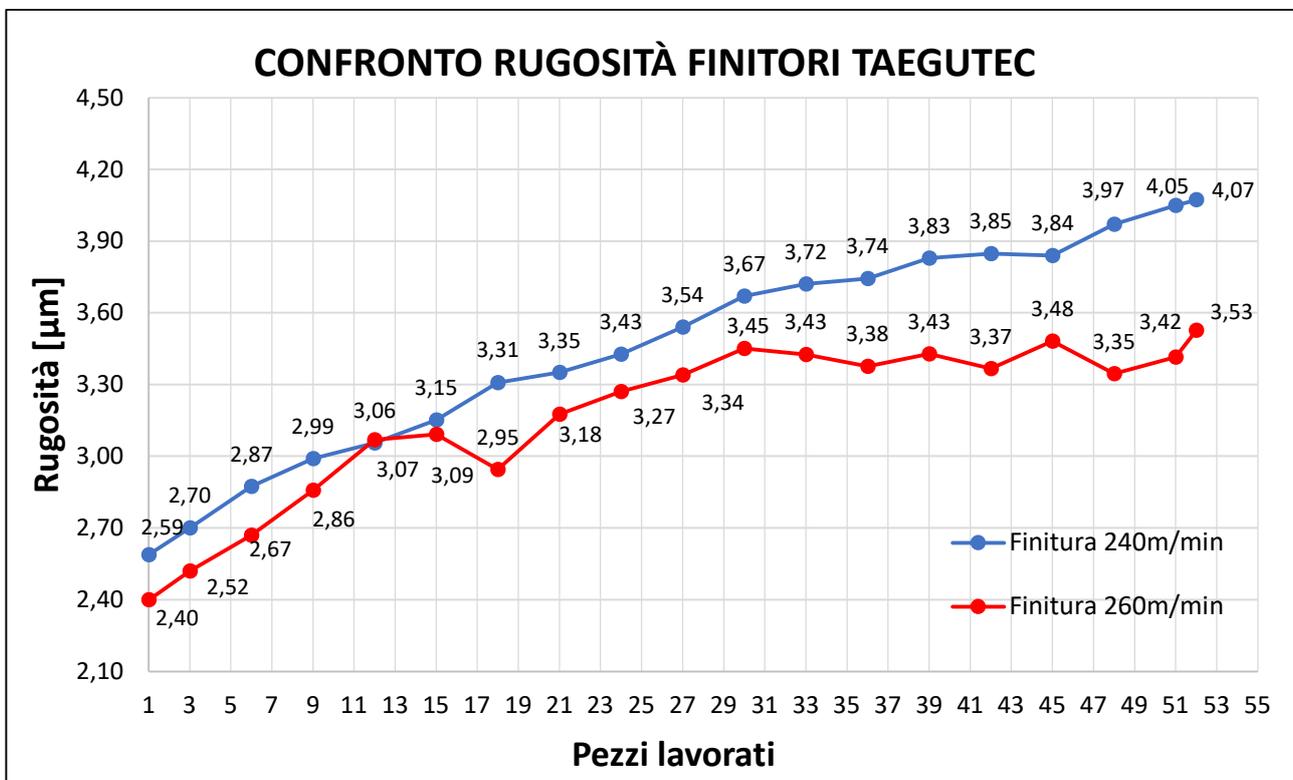


FIGURA 66 CONFRONTO RUGOSITÀ FINITORE TAEGUTEC A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO

Il grafico di confronto tra le due velocità di taglio del finitore Sandvik VNMG 160408 QM 4315 evidenzia un andamento simile della R_a durante l'intera vita utile dell'inserto; alla v_c minore si nota un incremento di rugosità, a fine vita dell'inserto, dovuto al maggior numero di pezzi lavorati, 57, rispetto ai 51 realizzati alla velocità di taglio di 260m/min. Come per gli inserti Taegutec, i valori di rugosità massima e media non presentano notevoli variazioni.

Rispetto al caso precedente, è più complesso determinare quale sia la scelta ottimale da adottare per migliorare la lavorazione: l'aumento della velocità di taglio riduce la durata dell'inserto, come analizzato nel paragrafo relativo alla vita utile, ma migliora la finitura superficiale.

Considerando la distanza dal limite imposto da disegno di R_a pari a $6,3 \mu\text{m}$, i parametri da selezionare per decidere le procedure da seguire sono la produttività ed il tempo di cambio inserto.

Una v_c più alta comporta, a livello teorico, un aumento di produzione di pezzi per turno, ma obbliga a sostituire con maggior frequenza l'inserto, vista la minor vita utile. I vantaggi non sono dunque così evidenti da comportare un cambiamento dei parametri di lavoro del tornio soprattutto perché pesano i 6 pezzi in meno lavorati per tagliante.

SANDVICK VNMG 160408 QM 4315					
<i>Velocità di taglio = 240m/min</i>			<i>Velocità di taglio = 260m/min</i>		
Rugosità max [μm]	Rugosità media [μm]	Pezzi lavorati	Rugosità max [μm]	Rugosità media [μm]	Pezzi lavorati
3,56	2,78	57	3,17	2,71	51

TABELLA 14 CONFRONTO PRESTAZIONI SANDVIK A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO

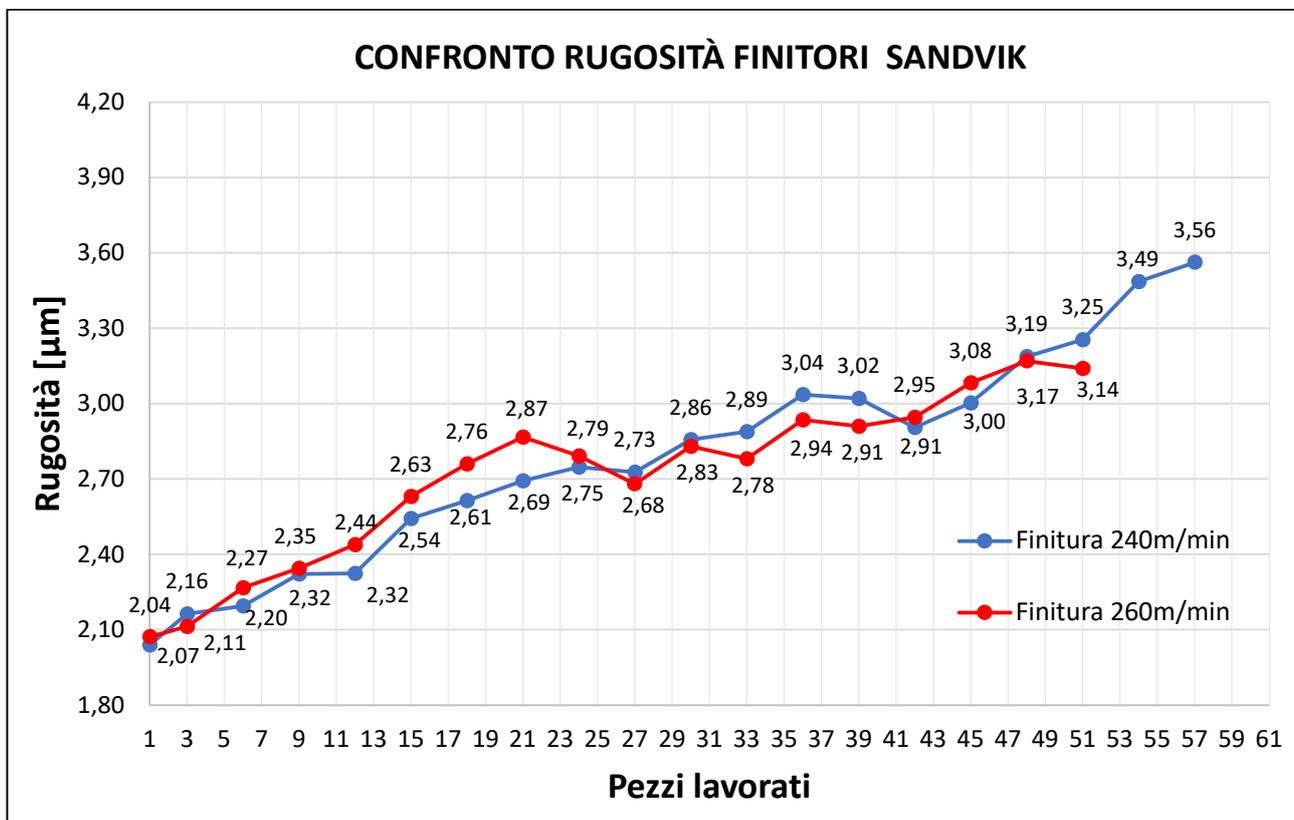


TABELLA 15 CONFRONTO RUGOSITÀ FINITORE SANDVIK A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO

Il seguente grafico pone a confronto i finitori della TaeguTec e della Sandvik sulla base della rugosità superficiale media a differenti velocità di taglio.

Nonostante l'ampio margine dalla tolleranza richiesta dal cliente, pari a $6,3\mu\text{m}$, e un grado di finitura superficiale medio ottenuto dal finitore Sandvik, la scelta su quali inserti adottare in macchina ricade i finitori della TaeguTec poiché risultano essere più economici ed il cambio non porterebbe benefici così evidenti da giustificare un costo più elevato.

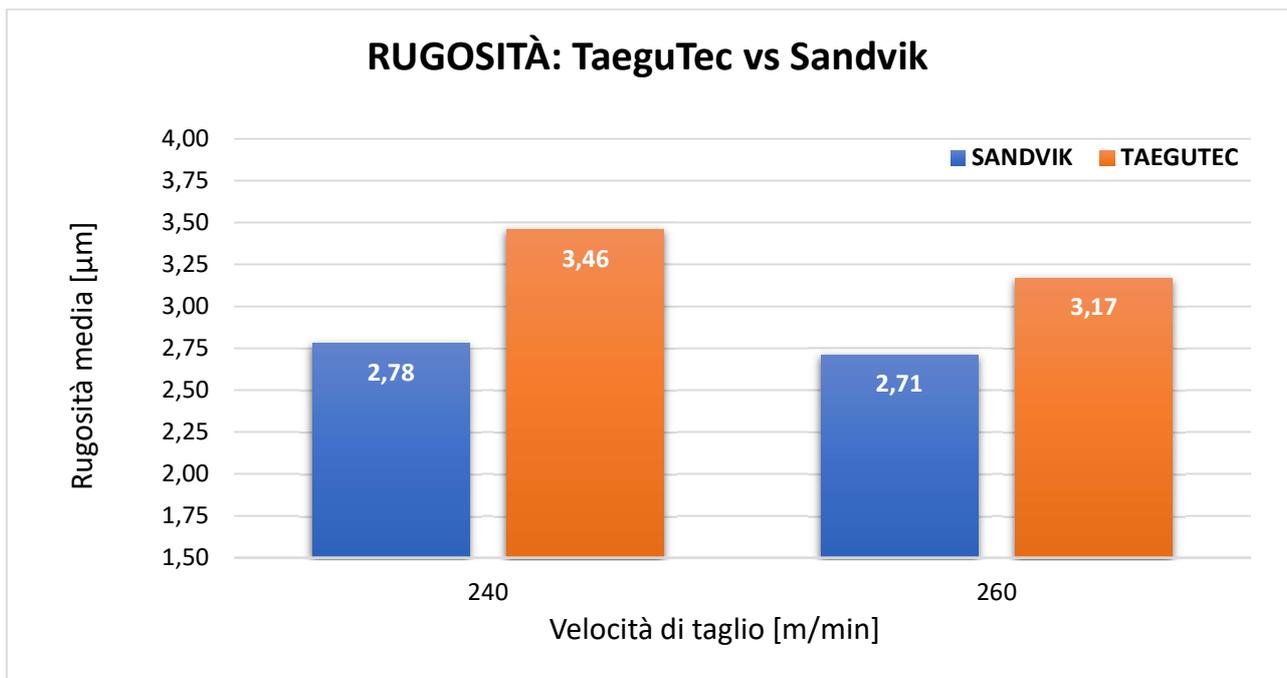


TABELLA 16 RUGOSITÀ: TAEGUTEC E SANDVIK A CONFRONTO

5.4 CONTROLLO DIMENSIONALE SU DIAMETRI E RASAMENTI

L'obiettivo di questa prova sperimentale è di analizzare, attraverso le carte di controllo, gli andamenti dimensionali dei diametri e dei rasamenti dell'albero di trasmissione ZF e di comprendere l'influenza della velocità di taglio sulla variazione delle quote rilevate con il calibro ottico a scansione.

Lo studio viene condotto sul processo di finitura ponendo l'attenzione sugli inserti della TaeguTec e della Sandvik, gli stessi adottati per le procedure precedentemente descritte. Si cerca di definire la frequenza con cui vengono effettuate le correzioni a bordo macchina per mantenere il componente meccanico nel campo di tolleranza e di individuare la cause scatenanti di tali modifiche.

5.4.1 ANALISI TEORICA

Le quote o dimensioni nominali assegnate dal progettista ad un componente meccanico sono riferite a superfici ideali, la cui realizzazione esatta non risulta possibile nemmeno ricorrendo a lavorazioni di grande precisione ed accuratezza. Assegnare un semplice valore numerico ad una quota non ha alcun significato perché risulta materialmente impossibile replicare tale dato a causa di inevitabili errori delle macchine utensili e strumenti di misura.

Errori dimensionali e di forma originati dalle condizioni di lavoro delle usuali lavorazioni meccaniche portano ad ottenere pezzi con dimensioni e forme reali, discordi dalle dimensioni nominali ipotizzate [12].

Esiste dunque la necessità di precisare nel disegno i limiti, che dipendono dalla funzione che deve assolvere il componente in esame, entro i quali sono accettabili le inesattezze dimensionali. Fissare la variazione ammessa tra la dimensione nominale e quella reale, significa accettare che ogni dimensione prefissata sia contenuta entro due dimensioni limite, la cui differenza, in valore assoluto, costituisce la tolleranza.

La scelta della tolleranza è strettamente legata agli impieghi specifici del pezzo e viene stabilita dal progettista in base a criteri di funzionalità ed economicità, tenendo presente che il costo della lavorazione aumenta esponenzialmente con la precisione richiesta.

Si definisce scostamento superiore la differenza tra la dimensione limite superiore e la dimensione nominale; la differenza tra la dimensione limite inferiore e la dimensione nominale fornisce il valore assoluto e il segno dello scostamento inferiore.

L'errore può essere rilevato non solo sulle dimensioni, ma anche sulle geometrie e sulle posizioni relative alle superfici degli organi meccanici [1]:

- *Errori dimensionali*: deviazioni delle dimensioni reali dalle nominali
- *Errori geometrici*: deviazioni delle superfici reali da quelle nominali

Gli errori geometrici si possono a loro volta classificare in microgeometrici, di cui si è discusso nel paragrafo precedente, e macrogeometrici, cioè scostamenti delle superfici dalla forma e dalle posizioni geometriche ideali.

Il rispetto delle tolleranze proposte da disegno è normalmente affidato al reparto collaudo il quale si occupa della misurazione dei pezzi del lotto di prototipazione, antecedente alla produzione in serie.

La procedura per l'ottenimento del benessere del componente meccanico consiste nella compilazione di documentazione tecnica tra cui la tabella digitale del pallinato con rilievi sul campione (PSW), la traduzione in valori numerici delle possibili variabili di ogni lavorazione (FMEA), ed il ciclo di lavorazione del pezzo (Flow Chart).

Terminata questa fase viene stilata una scheda di autocontrollo relativa alle quote ritenute critiche che devono essere controllate, in base alla frequenza indicata, dall'operatore a bordo macchina con gli strumenti di misura in dotazione. Qualora vengano riscontrati degli errori dimensionali si eseguono le relative correzioni modificando i parametri di taglio della macchina e successivamente misurando il risultato ottenuto [10].

Intraprendere un'azione di monitoraggio della variabilità del processo produttivo, intesa come fluttuazione dei valori misurati attorno alla media, può essere determinante per ottenere livelli di qualità accettabili: un'eccessiva variazione può comportare una mancata corrispondenza del prodotto alle sue caratteristiche funzionali.

Ogni processo industriale presenta una variabilità intrinseca, detta naturale, originata da una serie di flussi interni al processo e non dipendente da cause esterne; è il risultato di numerose piccole cause che operano casualmente all'interno del sistema di produzione e che non possono essere attribuite ad esempio a dipendenti o fornitori, a macchine. Un processo produttivo, la cui fonte di variabilità è imputabile esclusivamente a questo tipo di cause, è prevedibile "*sotto controllo statistico*" e può essere descritto mediante leggi statistiche.

Fattori esterni possono però intervenire alterando la variabilità naturale e generando una variabilità non prevedibile che disturba il funzionamento del processo. Tali elementi, denominati cause speciali di variazione, rappresentano grandi fluttuazioni nei dati, non imputabili al processo oggetto di analisi, e possono indicare il verificarsi di problemi oppure, al contrario, l'insorgere di novità interessanti da esplorare.

Esempi di fattori di variabilità speciali possono essere: scarsa esperienza e professionalità del personale, utilizzo di metodologie produttive non appropriate, sistemi di produzione non adeguati. Un processo la cui variabilità risente oltre che di cause comuni anche di cause speciali di variazione ha un andamento imprevedibile o "*fuori controllo statistico*".

Saper distinguere fra le due cause di variabilità è essenziale, in quanto mentre le cause speciali di variazione possono essere corrette, se necessario, senza apportare modifiche al processo, le cause ordinarie di variazione, essendo fluttuazioni intrinseche al sistema produttivo, possono essere ridotte solo cambiando il medesimo.

La *carta di controllo* consente di individuare il processo fuori controllo ed evitare di interpretare una causa comune di variazione come una causa straordinaria, eseguendo un'azione correttiva che porta ad aumentare il campo di variabilità; nel caso in cui una variazione straordinaria venga erroneamente

assimilata come comune, si può intervenire prontamente per modificare il sistema, evitando di commettere un errore speculare.

Una volta definiti i limiti di controllo, plottando i dati all'interno del grafico, la carta ci consente di individuare eventuali andamenti sistematici (pattern) dei valori che rappresentano il processo nel tempo e di stabilire se ciascun punto cade all'interno o all'esterno dei limiti imposti. L'interpretazione dei valori esterni alle linee di controllo inferiore e superiore è simile a quella di un generico test statistico di ipotesi, indicando come statisticamente significativi i valori che sono fuori controllo e dunque individuando un processo non omogeneo o che comunque produce output sensibilmente diversi da quelli di riferimento [1].

Le carte di controllo rappresentano uno dei metodi più utilizzati per il controllo statistico e la diagnosi dei processi produttivi. Le tre linee orizzontali continue chiamate linea centrale (CL), limite superiore di controllo (UCL) e limite inferiore di controllo (LCL) definiscono la tendenza centrale e un range di variazione naturale per i valori riportati sul grafico (Figura 67).

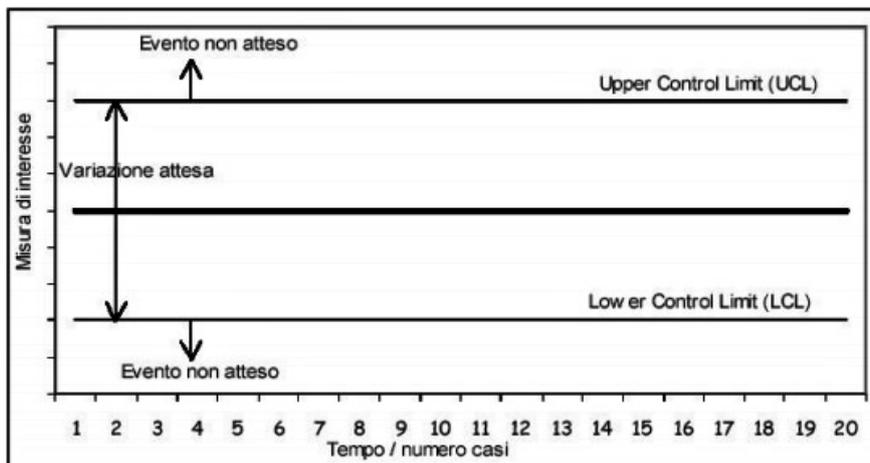


FIGURA 67 ESEMPIO CARTA DI CONTROLLO [1]

5.4.2 SETUP SPERIMENTALE

Per questo caso di studio, vengono utilizzate le *carte di controllo per variabili* perché la rispondenza della caratteristica del prodotto è espressa attraverso la misura dei diametri e dei rasamenti dell'albero di trasmissione ZF e si analizza l'andamento delle rilevazioni all'interno del campo di tolleranza e le eventuali anomali variazionali [4].

Le rilevazioni dei quote di interesse vengono ottenute con il calibro ottico HOMMEL OPTIC CONTOUR 814 di misura di alberi senza contatto.

Il sistema con telecamera è composto da almeno un sensore lineare CCD ad alta risoluzione, da una sorgente luminosa a LED e da lenti telecentriche di elevata qualità adeguate all'intero sistema.

L'elettronica sofisticata ed il software intelligente assicurano una elevata e sicura cadenza dei controlli.

L'oggetto da misurare viene automaticamente sottoposto a una scansione optoelettronica, ad alta risoluzione e precisione, con il rilievo del profilo esterno. Per le misure dinamiche, i dati del profilo esterno del pezzo vengono rilevati durante il movimento di rotazione dello stesso.

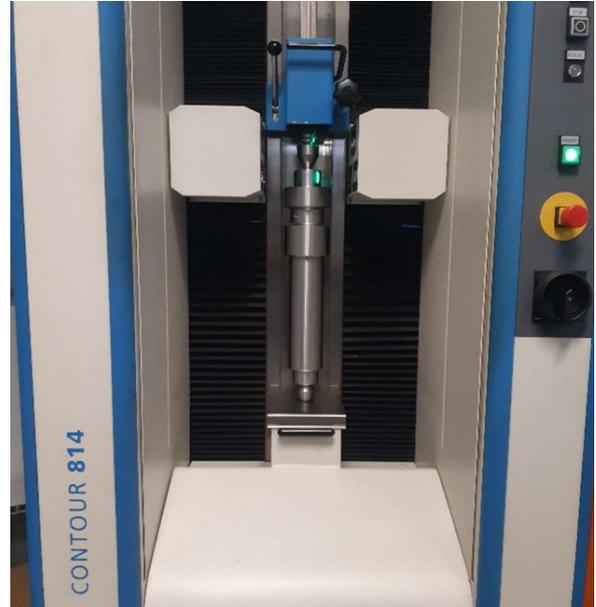


FIGURA 68 HOMMEL OPTIC CONTOUR 814

I sistemi di misura di alberi della serie CONTOUR 814 sono indicati per pezzi con diametri fino a 140 mm, lunghezza fino a 850 mm e peso fino a 20 kg. Mediante barriere fotoelettriche, il dispositivo di sicurezza integrato consente veloci operazioni di carico e scarico garantendo contemporaneamente il massimo della sicurezza durante la misurazione.

Il software TURBO OPTIC contiene in pratica tutti gli strumenti per l'analisi dei risultati e dei dati e, se necessario, è possibile analizzare i risultati della misura rilevati attraverso il sistema.

Le quote di interesse per il controllo sono le seguenti:

- Diametro D15-4: $\varnothing 65,9 \pm 0,05\text{mm}$
- Rasamento L4: $216,0 \pm 0,05\text{mm}$

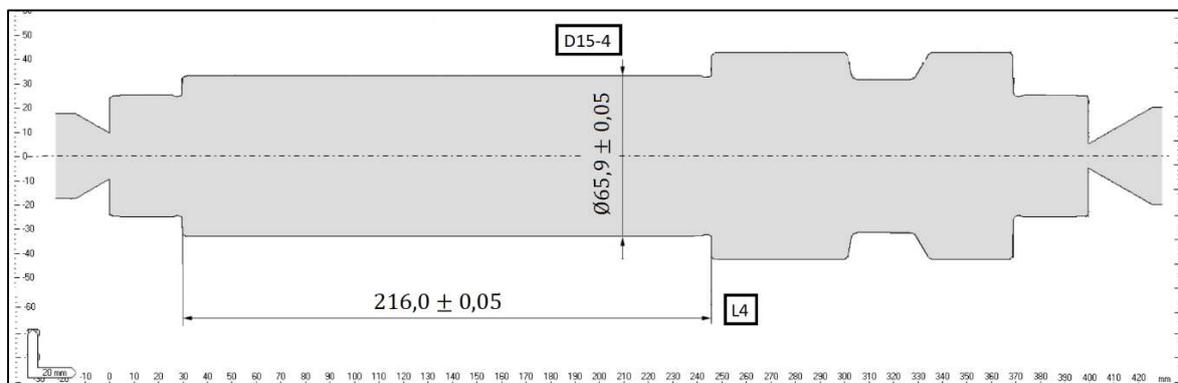


FIGURA 69 SCANSIONE TRAMITE TURBO OPTIC DELL'ALBERO DI TRASMISSIONE ZF

Le carte di controllo, realizzate sulla misurazione di 20 campioni con una frequenza di 3 pezzi lavorati, presentano come valore della linea centrale (CL) la quota nominale riportata da disegno e come limiti di controllo (UCL) e (LCL) gli scostamenti superiori ed inferiori del campo di tolleranza, come mostra la figura di esempio dei diametri (figure 70) [1].

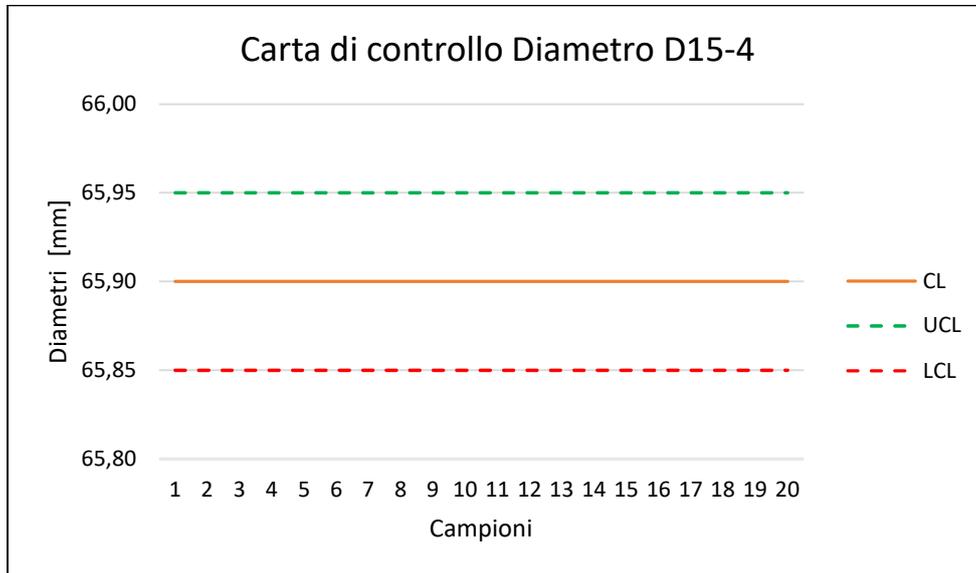


FIGURA 70 CARTA DI CONTROLLO DIAMETRO D15-4

5.4.3 ANALISI SPERIMENTALE

- **TAEGUTEC: Finitore VNMG 160408 FC PV3010**

Il primo monitoraggio delle misure riguarda il diametro $\varnothing 65,9 \pm 0,05\text{mm}$ (D15-4) dell'albero di trasmissione ZF e viene eseguito con l'inserto finitore della TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010 ad una velocità di taglio pari a 240m/min e poi alla v_c di 260m/mm.

TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010								$v_c = 240\text{m/min}$		
Campione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diametro [mm]	65,89	65,91	65,91	65,91	65,89	65,91	65,91	65,90	65,90	65,90
Campione	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Diametro [mm]	65,90	65,90	65,90	65,90	65,91	65,91	65,90	65,89	65,90	65,91

TABELLA 17 DIAMETRI A 240M/MIN

Nella carta riportata (Figura 71) si osserva la vicinanza dei valori rilevati alla linea centrale e un'assenza di punti fuori dal campo di tendenza delineato, sintomo di una buona e corretta lavorazione; si possono notare le correzioni eseguite dall'operato nei tratti di discesa in cui la linea tende verso LCL: questi eventi derivano dall'usura progressiva del raggio e del fianco dell'inserto.

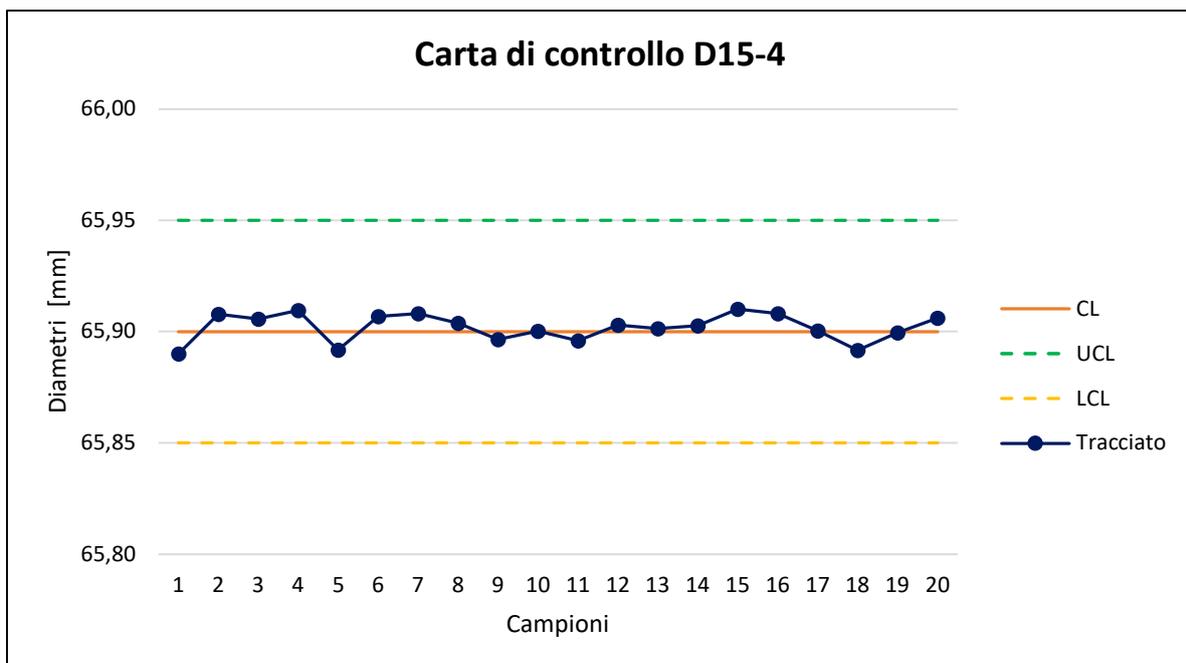


FIGURA 71 CARTA DI CONTROLLO DIAMETRI A 240M/MIN

La tabella 17 mostra i dati ottenuti aumentando la velocità di taglio a 260m/min:

TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010								$v_c = 260m/min$		
Campione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diametro [mm]	65,91	65,91	65,90	65,90	65,90	65,90	65,91	65,91	65,91	65,91
Campione	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Diametro [mm]	65,92	65,91	65,91	65,91	65,91	65,91	65,92	65,92	65,92	65,93

TABELLA 18 DIAMETRI A 260M/MIN

Osservando il grafico 72 si osserva invece come l'aumento della velocità di taglio incida sulla lavorazione e l'andamento crescente della quota misurata tenga a crescere, allontanandosi dalla CL ma rimanendo in tolleranza sotto la UCL, nonostante le correzioni effettuate dall'operatore a bordo macchina.

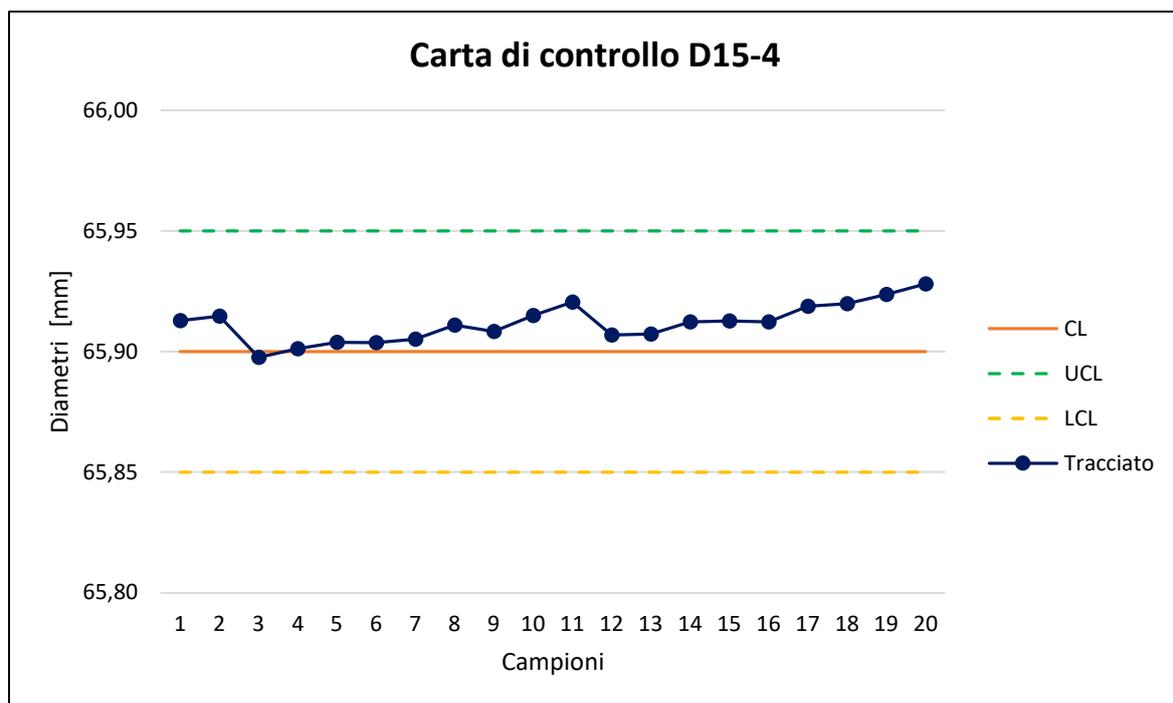


FIGURA 72 CARTA DI CONTROLLO DIAMETRI A 260M/MIN

Il secondo controllo viene effettuato sul rasamento $216,0 \pm 0,05 \text{ mm}$ (L4) dell'albero di trasmissione ZF e viene eseguito sempre con l'inserto finitore della TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010 alle due diverse velocità di taglio, come nel caso dei diametri.

La prima rilevazione viene effettuata con il parametro di v_c impostato a bordo macchina di 240m/min:

TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010								$v_c = 240\text{m/min}$		
Campione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rasamento [mm]	216,00	215,99	216,00	216,00	216,00	216,02	216,00	215,99	216,00	215,99
Campione	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rasamento [mm]	215,99	215,99	216,00	215,99	216,00	215,99	216,00	215,99	215,99	215,98

TABELLA 19 RASAMENTI A 240M/MIN

L'andamento del grafico (Figura 73) è molto irregolare attorno alla linea arancione CL, probabilmente per la consistente correzione fornita dall'operatore dopo il sesto campione lavorato. Comunque, la quota del rasamento rimane ampiamente all'interno del campo di tolleranza richiesto.

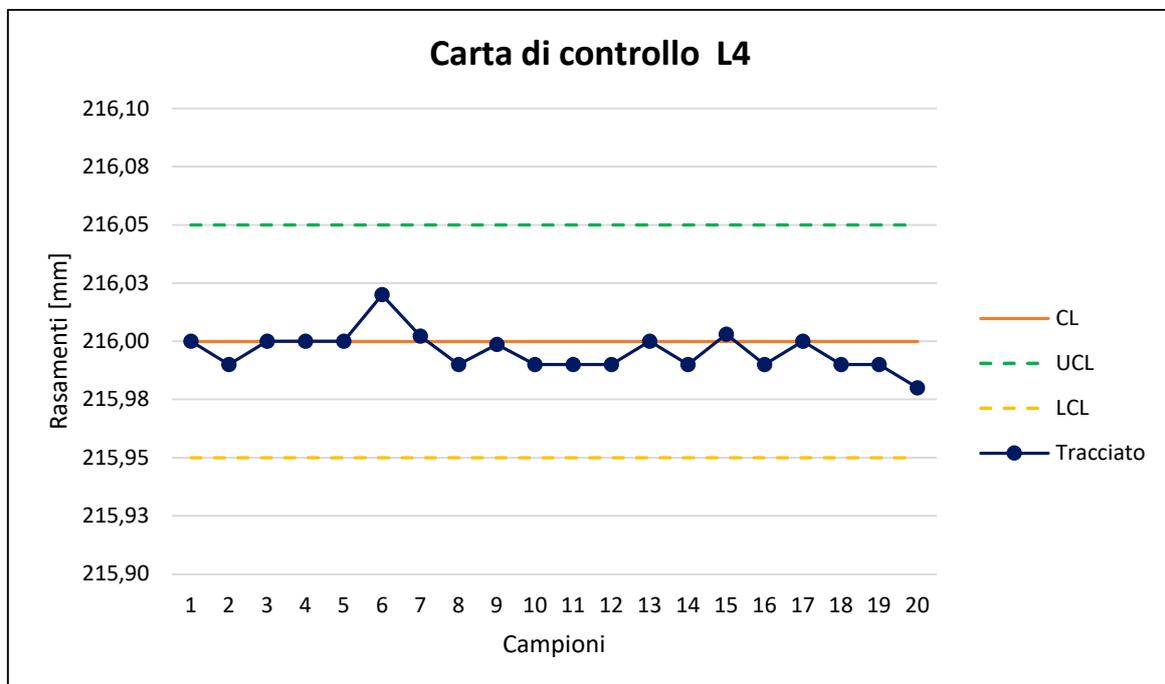


FIGURA 73 CARTA DI CONTROLLO RASAMENTI A 240M/MIN

I dati relativi all'aumento della velocità di taglio sono raccolti nella tabella 20:

TaeguTec VNMG 160408 FC PV3010								$v_c = 260m/min$		
Campione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rasamento [mm]	216,00	215,99	216,00	216,00	216,00	216,02	216,00	215,99	216,00	215,99
Campione	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rasamento [mm]	215,99	215,99	216,00	215,99	216,00	215,99	216,00	215,99	215,99	215,98

TABELLA 20 RASAMENTI A 260M/MIN

Rispetto al caso precedente l'andamento risulta essere crescente nella zona compresa tra CL e UCL, segno di aumento dell'usura dell'inserto finitore a causa della velocità di taglio superiore.

Il settimo campione presenta una correzione verso la condizione di minimo materiale, rappresentata dalla LCL.

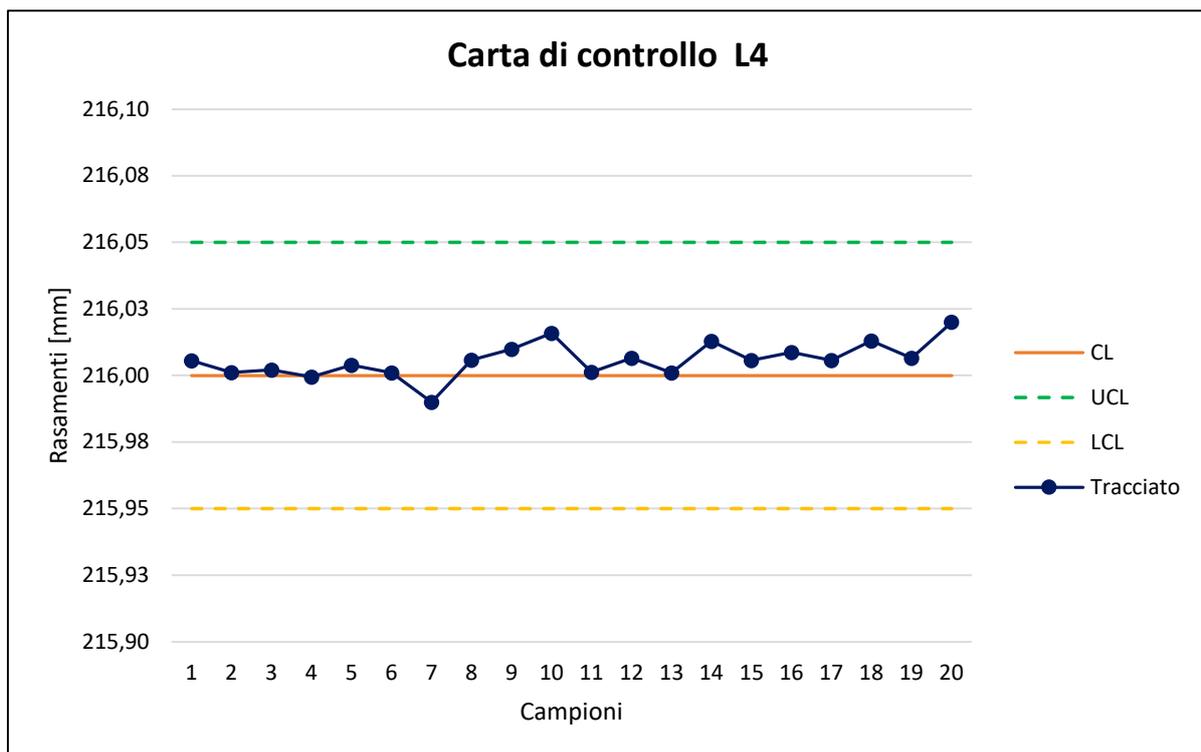


FIGURA 74 CARTA DI CONTROLLO RASAMENTI A 260M/MIN

- **SANDVIK: Finitore VNMG 160408 QM 4315**

Come per l'inserto finitore TaeguTec, il primo monitoraggio riguarda il diametro $\varnothing 65,9 \pm 0,05\text{mm}$ (D15-4), dell'albero di trasmissione ZF, e viene eseguito con l'inserto VNMG 160408 QM 4315, prima alla velocità di taglio pari a 240m/min e poi alla v_c di 260m/mm.

Sandvik VNMG 160408 QM 4315								$v_c = 240\text{m/min}$		
<i>Campione</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Diametro [mm]</i>	65,91	65,91	65,90	65,90	65,90	65,90	65,91	65,91	65,91	65,91
<i>Campione</i>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Diametro [mm]</i>	65,92	65,91	65,91	65,91	65,91	65,91	65,92	65,92	65,92	65,93

TABELLA 21 DIAMETRI A 240M/MIN

La carta di controllo (Figura 75) mostra l'andamento del finitore prevalentemente nella zona compresa tra CL e ULC, indice che l'operatore ha prevalentemente lavorato in condizione di massimo materiale.

Dal 14esimo campione si denota una correzione che ha portato la curva verso il limite LCL, senza però mai raggiungerlo.

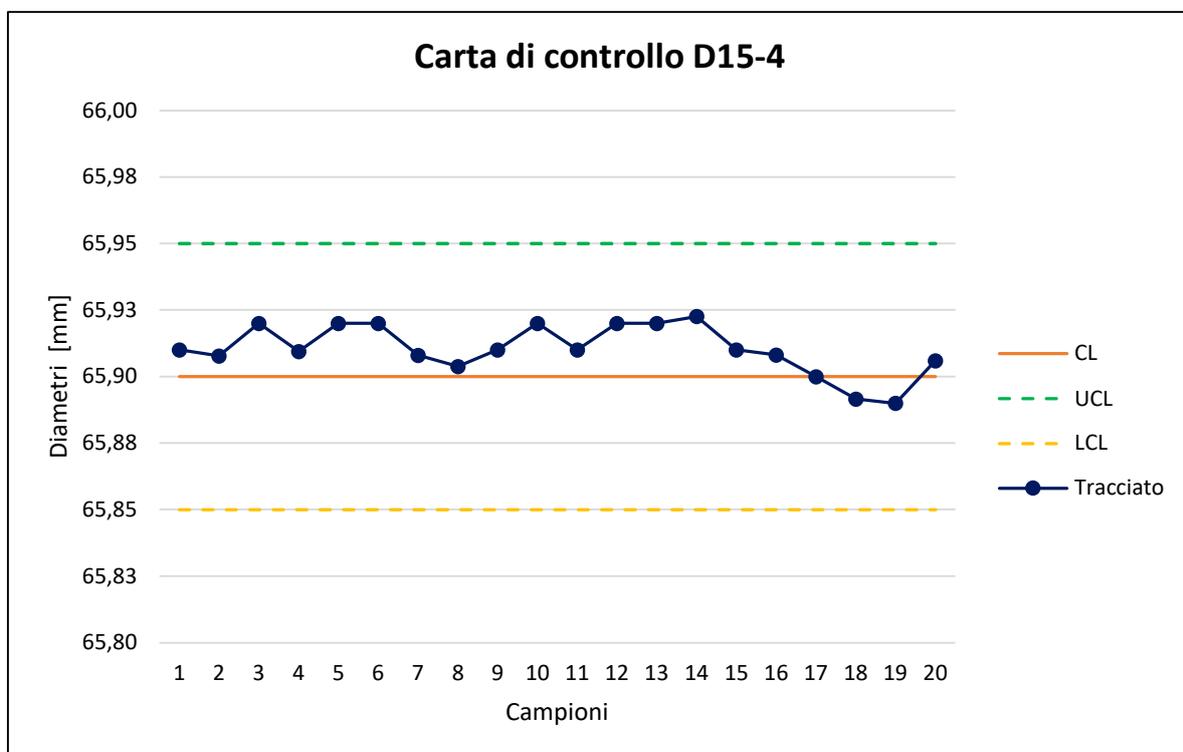


FIGURA 75 CARTA DI CONTROLLO DIAMETRI A 240M/MIN

Nella tabella 22 sono presenti i valori delle quote rilevate con una velocità di taglio imposta a 260m/min:

Sandvik VNMG 160408 QM 4315								$v_c = 260m/min$		
<i>Campione</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Diametro [mm]</i>	65,90	65,90	65,90	65,90	65,90	65,91	65,90	65,90	65,90	65,92
<i>Campione</i>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Diametro [mm]</i>	65,91	65,91	65,90	65,90	65,90	65,90	65,90	65,90	65,91	65,92

TABELLA 22 DIAMETRI A 260M/MIN

Aumentando la velocità di taglio è evidente come il valore del diametro D15-4 rimanga molto vicino al valore centrale; solo verso la fine della rilevazione si osserva un leggero incremento verso UCL ma rimanendo sempre distanti dal limite imposto.

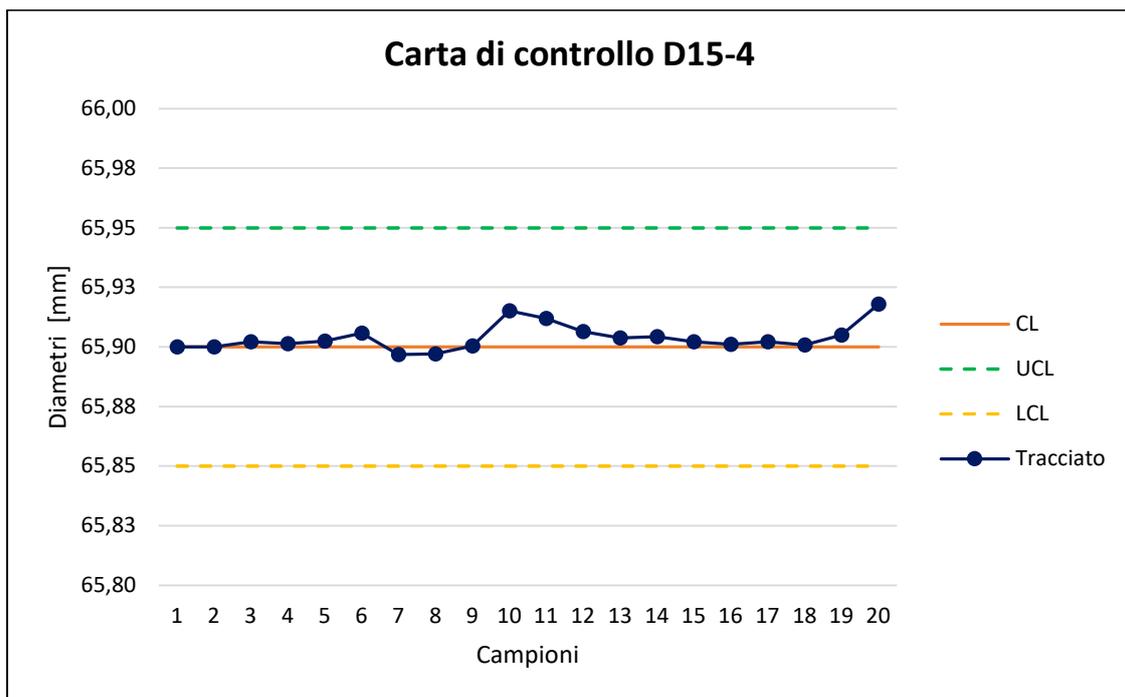


FIGURA 76 CARTA DI CONTROLLO DIAMETRI A 260M/MIN

Il secondo monitoraggio pone l'attenzione sul rasamento $216,0 \pm 0,05 \text{ mm}$ (L4) dell'albero di trasmissione ZF e viene eseguito sempre con l'inserto finitore della Sandvik VNMG 160408 QM 4315 alle due diverse velocità di taglio, come nel caso dei diametri.

La prima rilevazione viene effettuata con il parametro di v_c impostato a bordo macchina di 240m/min:

Sandvik VNMG 160408 QM 4315								$v_c = 240\text{m/min}$		
Campione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rasamento [mm]	215,98	215,99	216,00	215,99	215,99	216,00	216,00	215,99	216,00	215,99
Campione	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rasamento [mm]	v	215,99	216,00	215,99	216,00	215,99	216,00	215,99	215,99	215,98

TABELLA 23 RASAMENTI A 240M/MM

L'andamento della quota del rasamento risulta altalenante intorno al valore centrale ma si osserva un maggior numero di dati nella zona sottostante al valore centrale, rimanendo sempre a distanza da limite LCL.

Il 17esimo campione si avvicina comunque molto allo scostamento inferiore del campo di tolleranza e fornisce un segnale di allarme all'operatore, costringendolo a immettere una correzione in macchina.

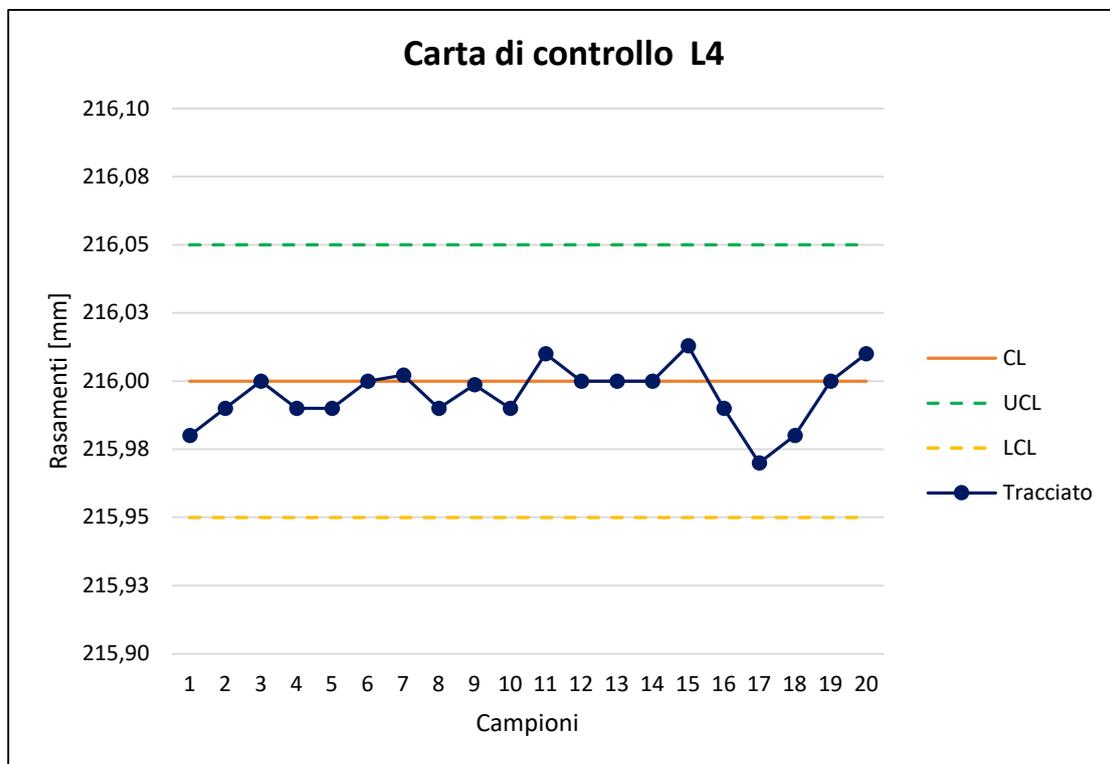


FIGURA 77 CARTA DI CONTROLLO RASAMENTI A 240M/MIN

L'ultima rilevazione viene effettuata sui rasamenti L4 ad una velocità di taglio pari a 260m/min :

Sandvik VNMG 160408 QM 4315								$v_c = 260m/min$		
Campione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rasamento [mm]	216,01	216,02	216,00	216,01	215,99	216,00	216,01	216,00	216,00	216,01
Campione	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rasamento [mm]	215,99	216,00	216,01	216,02	216,00	216,01	216,01	216,01	216,01	216,02

TABELLA 24 RASAMENTI A 260M/MM

L'andamento alla velocità di taglio 260m/min mostra una vicinanza dei rasamenti misurati al valore centrale, mentre da 14esimo campione si osserva una crescita verso lo scostamento superiore del campo di tolleranza.

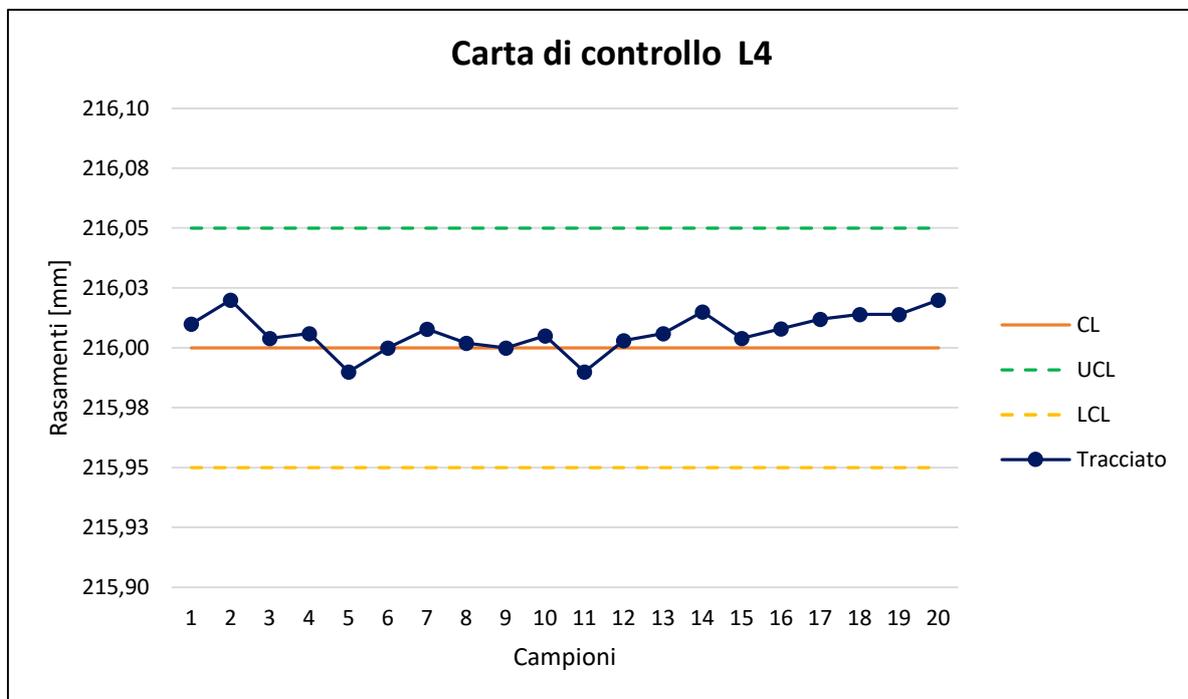


FIGURA 78 CARTA DI CONTROLLO RASAMENTI A 260M/MIN

5.4.4 CONCLUSIONI

Le procedure sperimentali effettuate hanno permesso di confrontare l'andamento dimensionale dei diametri e dei rasamenti e analizzare l'influenza della variazione della velocità di taglio degli inserti finitori sul controllo dimensionale. L'ampio campo di tolleranza, $\pm 0,05\text{mm}$, delle quote analizzate ha concesso di rispettare ampiamente le richieste imposte dal disegno e l'aumento della v_c non ha particolarmente inciso sulla geometria finale degli alberi di trasmissione ZF.

La Figura 79 mette in evidenza come alla velocità inferiore si abbia un andamento delle dimensioni del diametro più vicine al valore centrale rispetto i dati raccolti a 260m/min; il comportamento del finitore Sandvik rispetto al rasamento L4, Figura 80, mostra invece che a 260m/min non si ha avuto nessun significativo allontanamento al di sotto del valore centrale, situazione di minimo materiale sconsigliata nelle lavorazioni di asportazione di materiale per impossibilità di eseguire correzione nel caso di superamento dello scostamento inferiore.

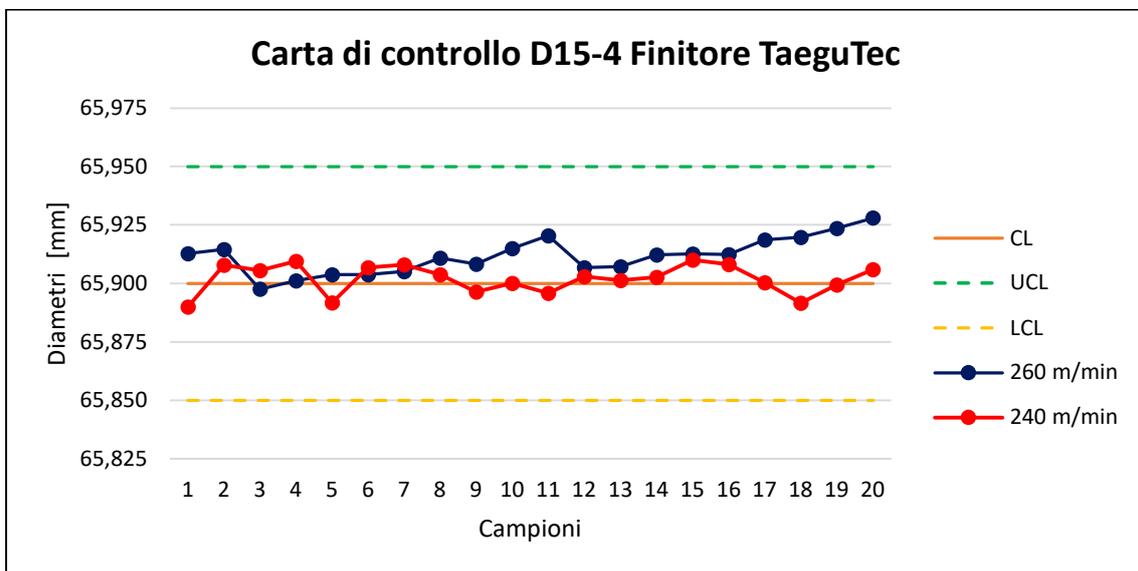


FIGURA 79 CONFRONTO DIAMETRI A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO CON FINITORI TAEGUTEC

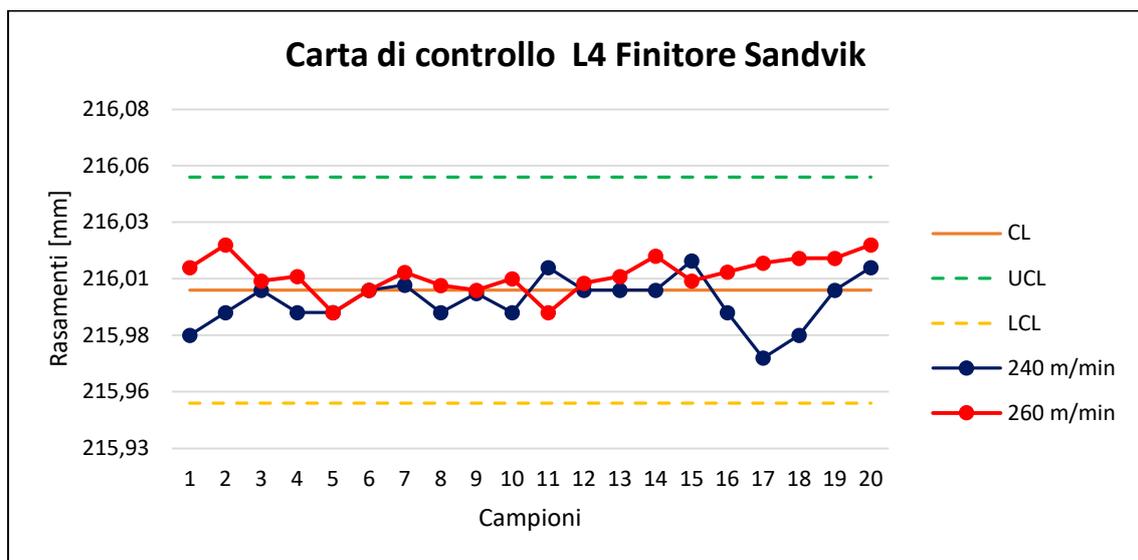


FIGURA 80 CONFRONTO DIAMETRI A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO CON FINITORI SANDVIK

6 CONCLUSIONI FINALI

L'analisi del processo di tornitura esterna ha permesso di comprendere le modalità di programmazione del ciclo di lavoro e le conseguenze derivanti da determinate scelte riguardo la tipologia di bloccaggio del pezzo, l'angolo di registrazione degli utensili, le operazioni da eseguire a bordo macchina e l'influenza dei parametri di taglio sulla lavorazione.

In particolar modo, in questo elaborato di Tesi Magistrale, si sono esaminati gli effetti della variazione della velocità di taglio sulla vita utile degli inserti, calcolata come pezzi lavorati per tagliente, su grado di finitura superficiale e sul rispetto delle tolleranze richieste per diametri e rasamenti.

Lo scopo secondario di questo studio è stato di confrontare il comportamento degli inserti TaeguTec, montati in macchina prima dei test, con quelli della Sandvik e di osservare i risultati ottenuti dalle procedure sperimentali per selezionare i più adatti alla fase di tornitura.

• VITA UTILE DEGLI INSERTI

Le prove sperimentali relative alla stima della vita utile degli inserti, espressa come numero di pezzi lavorati per tagliente, hanno riportato i risultati attesi ovvero l'aumento della velocità di taglio comporta una diminuzione di componenti meccanici realizzati per profilo.

Questa considerazione deriva dal fatto che a velocità maggiori si raggiungono temperature tra pezzo e utensile molto più elevate che facilitano i fenomeni di usura e di degradazione del tagliente.

Per gli sgrossatori di entrambe le case costruttrici si può osservare un riduzione del 36,5% di alberi di trasmissione ZF prodotti, passando da una media di circa 50 pezzi ad una trentina (Figura 81).

I due sgrossatori messi a confronto sono:

- TaeguTec: DNMG 150608 L-VF TT8125
- Sandvik: DNMG 150608 L-K 4415

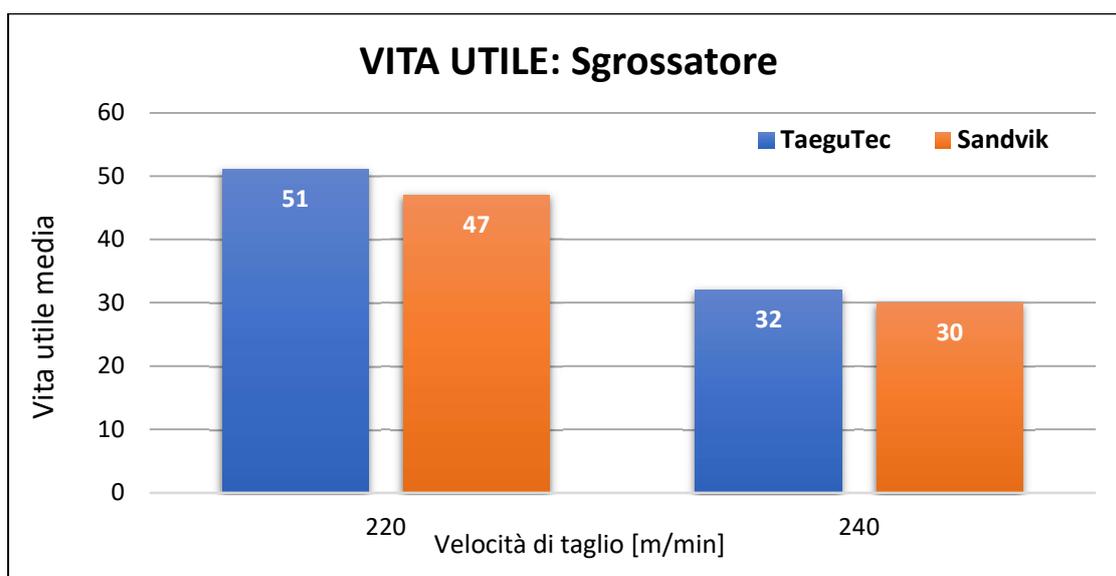


FIGURA 81 CONFRONTO VITA UTILE SGROSSATORI A V_c DIVERSE

I finitori risentono in maniera lieve la variazione della velocità di taglio con un calo nella produzione inferiore al 10% (Figura 82). La causa di questo comportamento è la differente profondità di passata a cui le due tipologie di inserti sono sottoposti durante la lavorazione: la sgrossatura impone la rimozione del sovrametallo in modo piuttosto grossolano e profondo, la finitura porta a misura il pezzo rispettando le tolleranze dimensionali, geometriche e di rugosità richieste da disegno.

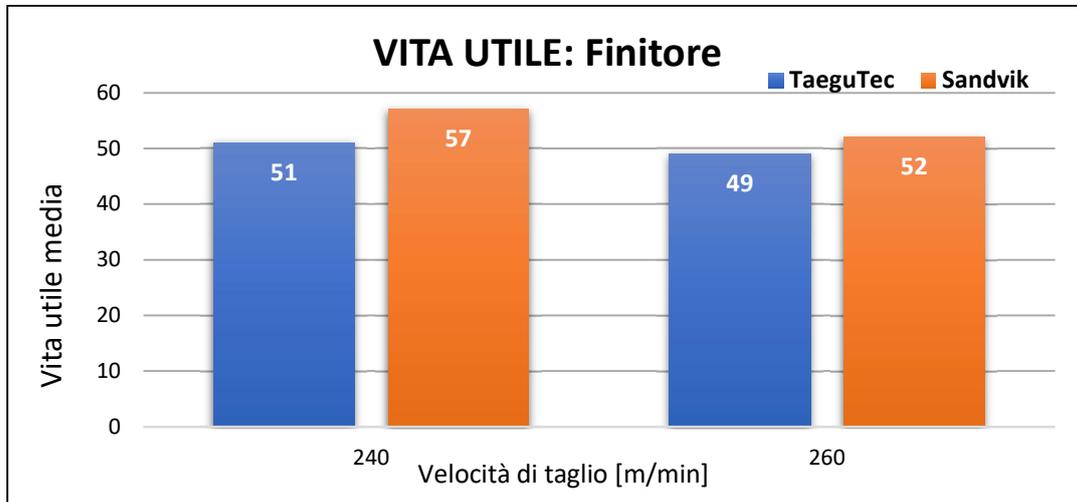


FIGURA 82 CONFRONTO VITA UTILE FINITORI A V_c DIVERSE

- **USURA DEI TAGLIANTI**

L'attenzione è posta sugli inserti sgrossatori poiché sottoposti a un'elevata azione di asportazione di materiale, con importanti profondità di passata, e dunque più soggetti a fenomeni di usura ed eventuale rottura.

La variazione della velocità di taglio ha permesso di studiare l'influenza di questo parametro sulle varie tipologie di degradazione ottenute nel corso della sperimentazione.

Alla velocità predefinita di 220m/min, decisa dal codice ISO in fase di programmazione del ciclo di lavoro, si è osservato la comparsa del tagliante di riporto, fenomeno caratteristico di lavorazioni a velocità di taglio basse [15].



FIGURA 83 USURA A 220M/MIN: DNMG 150608 L-VF TT8125 (TAEGUTEC)

Anche per lo sgrossatore DNMG 150608 L-K della Sandvik si ripresenta il tagliente di riporto oltre che ai fenomeni di scheggiatura in prossimità del raggio di punta dell'inserto e usura ad intaglio sul tagliente secondario, indice di diversa durezza tra superficie e struttura interna del pezzo in lavorazione [14].

La presenza del tagliente di riporto segnala una velocità di taglio non sufficientemente elevata, parametro dunque da aumentare al fine di evitare errori geometrici e dimensionali durante l'operazione di sgrossatura e nella successiva fase di finitura.



FIGURA 84 USURA A 220M/MIN: DNMG 150608 L-K 4415 (SANDVIK)

Per lo sgrossatore Taegutec, l'incremento a 260m/min ha comportato la craterizzazione sul petto dell'inserto in prossimità del raggio di punta, segnalando un indebolimento del tagliente e influenzando negativamente la formazione del truciolo; è necessario quindi impostare il parametro della macchina ad una velocità di 240m/min e, se possibile, aumentare l'avanzamento.



FIGURA 85 USURA A 260M/MIN: DNMG 150608 L-VF TT8125 (TAEGUTEC)

Lo sgrossatore della Sandvik ha riportato nuovamente il tagliente il riporto e quindi, per evitare questa formazione nociva per la lavorazione, è necessario incrementare ulteriormente la velocità di taglio andando però incontro al rischio di sfilare il pezzo durante la lavorazione e danneggiare irreparabilmente le attrezzature a bordo macchina.

Il cambio di geometria del rompi truciolo dello sgrossatore DNMG 150608 PR 4415 (a), differente rispetto agli altri inserti (b) e privo dello scanalato di invito, ha comportato uno scorretto avanzamento dell'inserto lungo il pezzo ed una pericolosa rottura del tagliente secondario dopo appena 35 pezzi lavorati (Figura 86).



FIGURA 86 ROTTURA DEL DNMG 150608 PR 4415

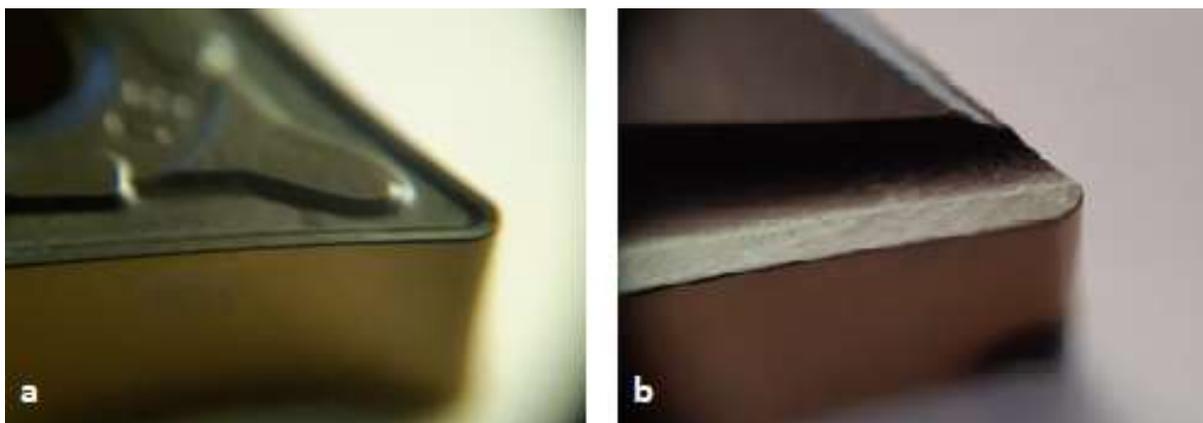


FIGURA 87 CONFRONTO GEOMETRIA ROMPI TRUCIOLO

- **RUGOSITÀ**

Per l'analisi del grado di rugosità sono stati presi in esame i finitori della TaeguTec e della Sandvik con lo scopo di confrontare i risultati ottenuti a due diverse velocità di taglio e di comprenderne l'effetto sul grado di finitura.

Questo studio non ha compreso le rilevazioni degli inserti sgrossatori poiché il grado di rugosità misurato non è rilevante al fine del rispetto della tolleranza imposta da disegno pari a $6,3 \mu\text{m}$.

Le prove sperimentali vengono eseguite in un primo momento a $240\text{m}/\text{min}$ e successivamente ad un valore di v_c pari a $260\text{m}/\text{min}$: da questo incremento è previsto un miglioramento del valore di R_a a causa della temperatura di lavoro più alta dell'inserto e una conseguente lavorazione più precisa.

Gli inserti finitori adottati sono:

- TaeguTec: VNMG 160408 FC PV3010
- Sandvik: VNMG 160408 QM 4315

Il grafico (Figura 88) confronta l'andamento della rugosità alla velocità di taglio di $240\text{m}/\text{min}$ dei rispettivi finitori della TaeguTec e Sandvik: la finitura superficiale migliore è quella del finitore della casa svedese, curva arancione, durante l'intera vita utile dell'inserto.

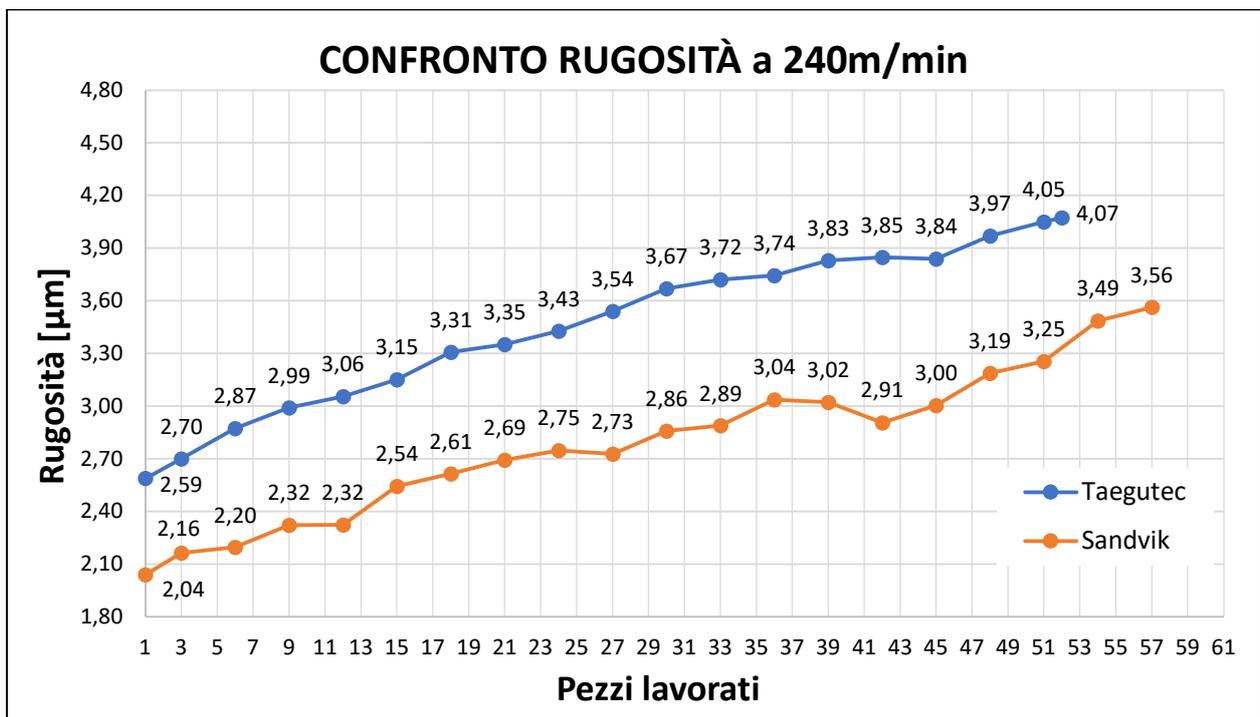


FIGURA 88 CONFRONTO RUGOSITÀ ALLA v_c DI $240\text{M}/\text{MIN}$

Anche alla velocità di 260m/min il finitore Sandvik risulta performare e presentare un grado di finitura superficiale migliore durante il processo di tornitura. L'incremento della velocità di taglio ha permesso di raggiungere temperature più elevate rispetto al caso precedente e arrivare alla temperatura di lavoro più velocemente, ottenendo una qualità migliore [2].

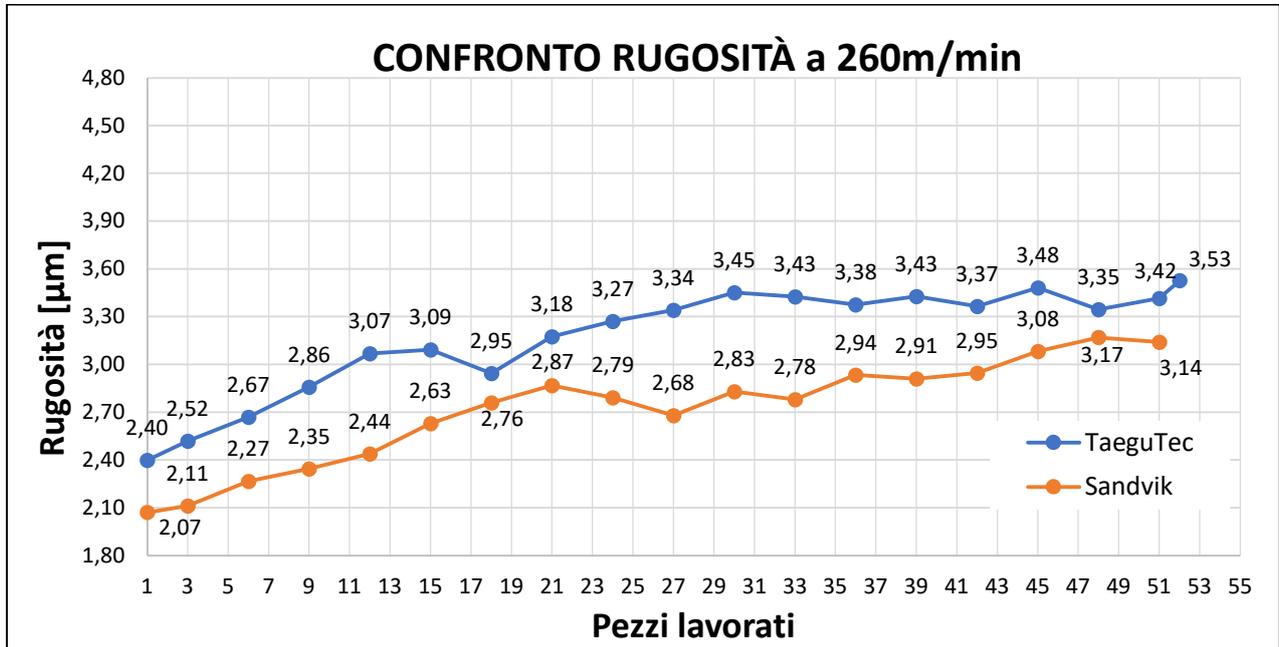


FIGURA 89 CONFRONTO RUGOSITÀ ALLA v_c DI 260M/MIN

Il seguente grafico pone a confronto i finitori della TaeguTec e della Sandvik sulla base della rugosità superficiale media a differenti velocità di taglio. Nonostante l'ampio margine dalla tolleranza richiesta dal cliente, pari a $6,3\mu\text{m}$, e il grado di finitura superficiale medio ottenuto dal finitore Sandvik, la scelta sugli inserti da adottare in macchina ricade i finitori della TaeguTec poiché risultano essere più economici ed il cambio non porterebbe benefici così evidenti da giustificare un costo più elevato.

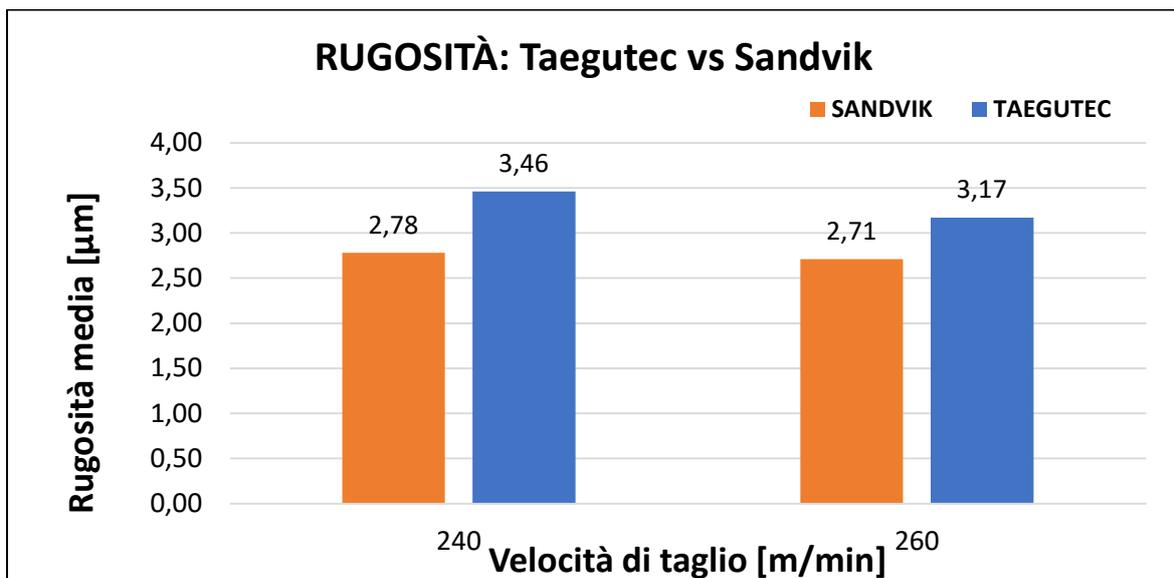


FIGURA 90 RUGOSITÀ MEDIA: TAEGUTEC E SANDVIK A CONFRONTO

- **CONTROLLO DIMENSIONALE**

Le procedure sperimentali effettuate hanno permesso mi confrontare l'andamento dimensionale dei diametri e dei rasamenti e analizzare l'influenza della variazione della velocità di taglio degli inserti finitori sul controllo dimensionale. L'ampio campo di tolleranza, $\pm 0,05\text{mm}$, delle quote analizzate ha concesso di rispettare ampiamente le richieste imposte dal disegno e l'aumento della v_c non ha particolarmente inciso sulla geometria finale degli alberi di trasmissione ZF.

La Figura 91 mette in evidenza come alla velocità inferiore si abbia un andamento delle dimensioni del diametro più vicine al valore centrale rispetto i dati raccolti a 260m/min; il comportamento del finitore Sandvik rispetto al rasamento L4, Figura 92 mostra invece che a 260m/min non si ha avuto nessun significativo allontanamento al di sotto del valore centrale, situazione di minimo materiale sconsigliata nelle lavorazioni di asportazione di materiale per impossibilità di eseguire correzione nel caso di superamento dello scostamento inferiore.

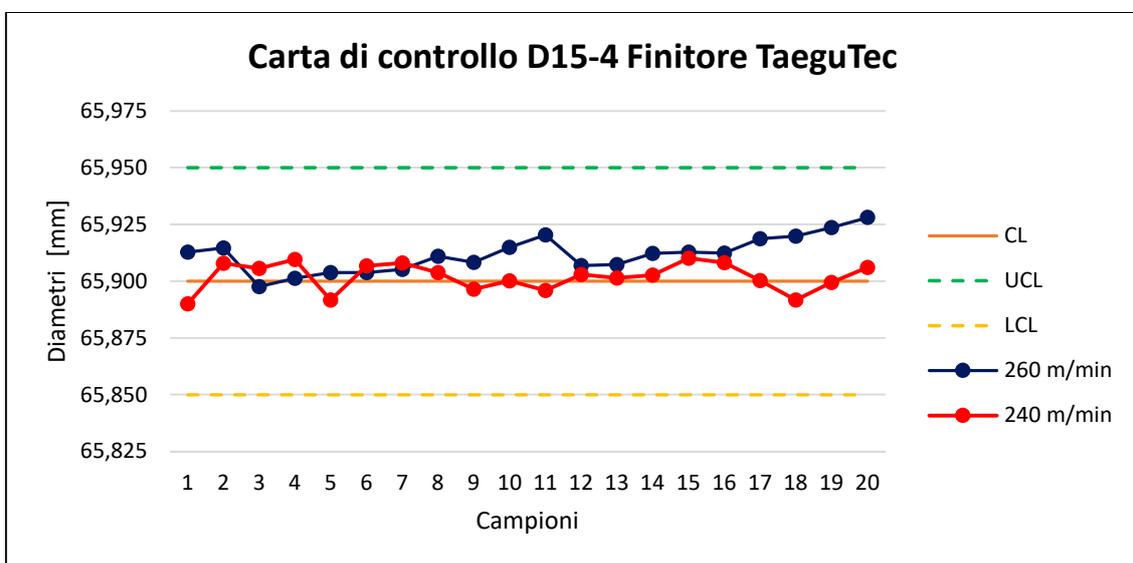


FIGURA 91 CONFRONTO DIAMETRI A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO CON FINITORI TAEGUTEC

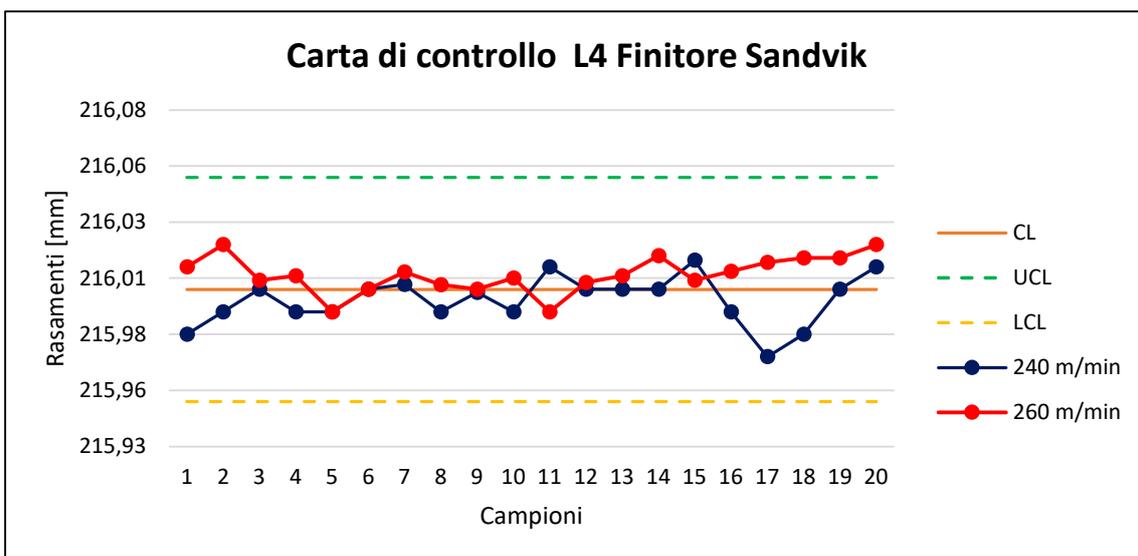


FIGURA 92 CONFRONTO DIAMETRI A DIVERSE VELOCITÀ DI TAGLIO CON FINITORI SANDVIK

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] M.Santochi, F. Giusti, *Tecnologia Meccanica e studi di fabbricazione*, 2nd ed., vol. 1, no. 1. 2000.
- [2] J. Salguero and P. Davim, "TAYLOR'S MODEL BASED ANALYSIS OF TURNING INSERTS TOOL-LIFE IN THE DRY TURNING OF UNS R56400 ALLOY," 2014.
- [3] C. Agrawal, J. Wadhwa, A. Pitroda, C. I. Pruncu, M. Sarikaya, and N. Khanna, "Comprehensive analysis of tool wear, tool life, surface roughness, costing and carbon emissions in turning Ti-6Al-4V titanium alloy: Cryogenic versus wet machining," *Tribol. Int.*, vol. 153, no. June 2020, p. 106597, 2021, doi: 10.1016/j.triboint.2020.106597.
- [4] R. Çakıroğlu and M. Günay, "Comprehensive analysis of material removal rate, tool wear and surface roughness in electrical discharge turning of L2 tool steel," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 7305–7317, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.04.060.
- [5] M. Wang, T. Ken, S. Du, and L. Xi, "Tool wear monitoring of wiper inserts in multi-insert face milling using three-dimensional surface form indicators," *J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME*, vol. 137, no. 3, pp. 1–8, 2015, doi: 10.1115/1.4028924.
- [6] M. Dhananchezian and K. Rajkumar, "Comparative Study of Cutting Insert Wear and Roughness Parameter (Ra) while turning Nimonic 90 and Hastelloy C-276 by Coated Carbide Inserts," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, pp. 1409–1416, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.484.
- [7] T. Misaka *et al.*, "Prediction of surface roughness in CNC turning by model-assisted response surface method," *Precis. Eng.*, vol. 62, no. December 2019, pp. 196–203, 2020, doi: 10.1016/j.precisioneng.2019.12.004.
- [8] B. Toubhans, G. Fromentin, F. Viprey, H. Karaouni, and T. Dorlin, "Machinability of inconel 718 during turning: Cutting force model considering tool wear, influence on surface integrity," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 285, no. June, p. 116809, 2020, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2020.116809.
- [9] P. Waydande, N. Ambhore, and S. Chinchankar, "A Review on Tool Wear Monitoring System," *Mech. Eng. Autom.*, vol. 6, no. 5A, pp. 49–53, 2016, doi: 10.5923/c.jmea.201601.09.
- [10] A. K. Kaminise, G. Guimaraes, and M. B. Da Silva, "Influence of tool holder material on interfacial, insert and tool holder temperatures during turning operation of gray iron," *ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo. Proc.*, vol. 3, no. PARTS A, B, AND C, pp. 1987–1995, 2012, doi: 10.1115/IMECE2012-87959.
- [11] N. K. Sahu and A. B. Andhare, "Optimization of surface roughness in turning of Ti-6Al-4V using response surface methodology and TLBO," *Proc. ASME Des. Eng. Tech. Conf.*, vol. 4, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1115/DETC2015-47123.
- [12] C. Physique, A. Oscillateurs, S. Tsati, W. On, and R. Positive, "On-line Tool Monitoring of Tool Wear, Chipping/Breakage and Temperature Using Ultrasonic Sensor," pp. 2–5, 1997.
- [13] C. Emilio and T. Stefano, *Disegno Tecnico Industriale 2*, Il Capitell., vol. 2. 2010.
- [14] Catalogo Sandvik "Utensili da taglio una selezione di utensili da taglio ", 2019.
- [15] Catalogo Generale TaeguTec "Non Rotating", 2020-2021.
- [16] Norme ISO e UNI