

UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in INGEGNERIA MECCANICA

Studio del ciclo di fabbricazione di un particolare realizzato mediante tornitura destinato al settore automotive

Study of the manufacturing cycle of a part made by turning for the automotive industry

Relatore: Chiar.mo Tesi di Laurea di:

Prof. Forcellese Archimede Brandolini Federico

A.A. 2021 / 2022

Sommario

Ir	troduzione	1
C	ontesto aziendale	2
1.	Ciclo di lavorazione	3
	1.1 Informazioni di partenza	6
	1.2 Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza delle fasi	8
	1.3 Raggruppamento delle operazioni in sottofasi	. 11
	1.4 Scelta della sequenza di operazioni	. 12
	1.5 Scelta degli utensili	. 14
	1.6 Scelta dei parametri di taglio	. 17
	1.7 Scelta delle procedure di controllo	. 18
	1.8 Calcolo dei tempi e dei costi	. 18
2.	Lavorazioni per asportazione di truciolo	. 20
	2.1 Principi del processo di taglio	. 20
	2.2 Taglio libero ortogonale	. 21
	2.3 Modello di formazione del truciolo di Pijspanen	. 22
	2.4 Modello a zona di deformazione	. 23
	2.5 Tipologia di truciolo	. 24
	2.6 Tagliente di riporto	. 25
	2.7 Forze di taglio	. 26
	2.8 Potenza assorbita dal taglio	. 27
	2.9 Aspetti termici nel taglio	. 27
	2.10 Taglio tridimensionale	. 28
	2.11 Tornitura	. 29
	2.12 Usura degli utensili da taglio	. 32
3.	Caso di studio	. 37
	3.1 Introduzione al problema	. 37
	3.2 Analisi dei costi e preventivo	. 38
	3.2.1 Materia prima	. 40
	3.2.2 Energia elettrica	. 41
	3.2.3 Manodopera	. 42
	3.2.4 Utensili	. 42
	3.2.5 Zincatura e spedizione	. 43
	3.2.6 Costo finale	. 43
	3.3 Ordine e gestione approvvigionamenti	. 44

3.3.1 Certificazioni dei materiali
3.4 Creazione disegno
3.5 Informazioni di partenza
3.6 Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza delle fasi
3.7 Creazione cicli alternativi
3.8 Scelta della macchina e creazione part program
3.9 Scelta utensili
3.10 Parametri di taglio
3.11 Calcolo dei tempi
3.12 Scheda di lavoro 67
3.13 Control plan
3.14 Flow chart
3.15 Produzione
3.16 Usura inserti
4. Conclusioni
Bibliografia

Elenco figure

Figura	1: Logo GF SRL	. 2
Figura	2: Esempio di ciclo di lavorazione	. 5
	3: Superfici da lavorare	
Figura	4: Esempio di precedenza di tipo economico	12
Figura	5: Esempio di precedenza di tipo dimensionale	13
Figura	6: Esempio di precedenza di tipo tecnologico	13
Figura	7: Angoli di profilo	15
Figura	8: Esempio di forma dell'inserto	15
Figura	9: Dimensioni inserto	16
Figura	10: Raggio di raccordo tra i taglienti	16
Figura	11: Portautensile	16
Figura	12: calcolo tempi attivi per tornitura(a), foratura(b) e fresatura(c)	19
Figura	13: Principi del processo di taglio	20
Figura	14: Taglio libero ortogonale	21
Figura	15: Modello di Pijspanen	22
Figura	16: Modello a zona di deformazione	23
Figura	17: Truciolo continuo	24
Figura	18: Truciolo discontinuo	24
Figura	19: Tagliente di riporto	25
Figura	20: Schema forze di taglio	26
Figura	21: Cerchio di Merchant	26
Figura	22: Potenza assorbita dal taglio	27
Figura	23: Aspetti termici nel taglio	27
Figura	24: Taglio tridimensionale	28
Figura	25: Tornitura	29
Figura	26: Alcune operazioni realizzabili al tornio	30
Figura	27: Geometria di un utensile da tornitura	31
Figura	28: Effetto del raggio di punta sulla finitura del pezzo	31
Figura	29: Usura sul fianco	33
Figura	30: Cratere d'usura	33
Figura	31: Tagliente di riporto	34
Figura	32: Scheggiatura sul tagliente	34
Figura	33: Rottura da shock termico	34
Figura	34: Deformazione del tagliente	35
Figura	35: Usura ad intaglio	35
Figura	36: Frattura meccanica	36
Figura	37: Rendering del particolare da realizzare	37
Figura	38: Certificato materiale 3.1 di un acciaio 39NiCrMo3	46
Figura	39: Messa in tavola del particolare	47
Figura	40: Superfici da lavorare	50
Figura	41: Mandrino e torretta di un Nlx 2000	52
Figura	42: Mandrino, contromandrino e torrette di un WT150	52
Figura	43: Interfaccia principale del software CAM	55
_	44: Catalogo utensili su CAM	
_	45: Interfaccia dedicata alla fresatura	
Figura	46: Scarico pezzo	56

Figura 47: F	Frame tratti dalla simulazione	57
	Frammento di part program	
Figura 49: I	nserto e portainserto WNMG	60
Figura 50: 0	Geometria di un WNMG	60
Figura 51: 0	Geometria di un VBMT	60
	nserto e portainserti VBMT	
	Geometria di un CCMT	
Figura 54: 0	CCMT e relativo portainserti	61
_	nserto per filettature e relativo portainserti	
Figura 56: 1	Troncatore e relativo portainserti	62
Figura 57: F	Punta D14	62
Figura 58: F	Fresa a disco	63
Figura 59: F	Fresa a candela D16	63
Figura 60: S	Scheda di lavoro	67
Figura 61: 0	Control plan	69
Figura 62: F	Flow Chart di processo	71
Figura 63: N	Misure con calibro a corsoio	72
Figura 64: 0	Calibro a tampone filettato	72
Figura 65: N	Macchina di misura StarLite	73
Figura 66: E	Esempio di rilevazioni alla macchina di misura	73
•	Benestare di produzione	
Figura 68: 0	Cratere di usura su sgrossatore	75
•	Usura su sgrossatore	
Figura 70: A	Analisi sul software Imagej	75
Figura 71: A	Andamento del cratere di usura su sgrossatore	76
Figura 72: l	Usura su finitore	77
-	Andamento del cratere di usura su finitore	
Figura 74: l	Usura su inserto per bareno	78
Figura 75: A	Andamento del cratere di usura su bareno	78
Figura 76: F	Fresa a disco dopo aver lavorato 1000 pezzi	79
Figura 77: F	Fresa a disco dopo aver lavorato 1300 pezzi	79
	Fresa a disco dopo aver lavorato 1500 pezzi	
Figura 79 F	Finitura del pezzo con fresa usurata	80
Figura 80: l	Usura della punta per forare, rispettivamente 1000, 1500 e 2000 pezzi lavorati	80

Elenco tabelle

Tabella 1: Superfici da lavorare	8
Tabella 2: Processi per superficie	8
Tabella 3: Ciclo di lavorazione A	9
Tabella 4: Ciclo di lavorazione B	10
Tabella 5: Costi materia prima	40
Tabella 6: Costi energia elettrica	41
Tabella 7: Costi manodopera	42
Tabella 8: Costo per inserto	42
Tabella 9: Costo utensili	42
Tabella 10: Costi zincatura e spedizione	43
Tabella 11: Costo totale	43
Tabella 12: Superfici da lavorare	50
Tabella 13: Ciclo di lavorazione su Nlx2000	53
Tabella 14: Ciclo di lavorazione su Wt150	54
Tabella 15: Parametri di taglio	64
Tabella 16: Velocità di avanzamento	65
Tabella 17: Tempi di lavorazione attivi	66
Tabella 18: Tempi passivi	66
Tabella 19: Usura su sgrossatore	76
Tabella 20: Usura su finitore	77
Tabella 21: Usura bareno	78

Introduzione

L'innovazione tecnologica avanza di giorno in giorno e le lavorazioni per l'asportazione di truciolo, presenti già da migliaia di anni, hanno visto diverse evoluzioni, essendo queste utilizzate per la realizzazione di componenti di altissima precisione.

La tornitura è una delle lavorazioni meccaniche più importanti e versatili e permette di creare pezzi già finiti di molteplice aspetto con un alto grado di precisione, senza imperfezione. Il progresso tecnologico ha portato alla tornitura CNC ("controllo numerico computerizzato"), automazione dell'antico processo di tornitura e all'invenzione dei centri di tornitura in grado di svolgere diverse funzioni su più assi e quindi non solo l'operazione suddetta, ma anche quella di fresatura.

Con l'ausilio di sistemi CAD e CAM si descrivono le lavorazioni da far poi eseguire alla macchina, in modo tale che l'operatore si limiti ad inserire i dati di progetto nel programma ed intervenire perciò solo in caso di guasti: diminuiscono così i costi di produzione, garantendo maggiore puntualità nella consegna. La lavorazione inoltre viene costantemente monitorata da sensori in modo da poter rispettare tolleranze di centesimi o anche millesimi di millimetro.

In questa tesi si riporta l'attività di tirocinio svolta presso la torneria automatica di precisione GF SRL, con sede a Mosciano Sant'Angelo (TE).

Il lavoro svolto riguarda lo studio del ciclo di fabbricazione di un particolare realizzato per tornitura e destinato al settore automotive.

Nel presente elaborato viene inizialmente descritta la realizzazione di un ciclo di lavorazione passando poi alle lavorazioni di tornitura, viene esposto successivamente il lavoro svolto, un'analisi completa di tutte le fasi del processo, con un focus sui costi per la realizzazione di un componente e dell'intero lotto. Segue una valutazione del miglior ciclo di lavorazione e la scelta del centro di tornitura da utilizzare. Si illustra come avviene la scelta degli utensili e dei parametri di taglio per poi spiegare i metodi utilizzati per le analisi dimensionali dei pezzi. Infine, si può apprezzare un'analisi degli inserti usurati.

L'ultimo capitolo riguarda, invece, l'esposizione dei risultati e delle conclusioni.

Contesto aziendale

La torneria GF opera nel campo della tornitura realizzando particolari meccanici di precisione su disegno del cliente. Nata nel 1993, nel giro di pochi anni ha raggiunto traguardi importanti grazie alla propensione all'innovazione che da sempre motivano il titolare Fabrizio Giorgini, alla costante ricerca delle migliori soluzioni tecnologiche e qualitative.

Il parco macchine, inizialmente costituito da torni automatici a camme, è stato gradualmente rinnovato e ad oggi è formato esclusivamente da macchine a controllo numerico.



Figura 1: Logo GF SRL

1. Ciclo di lavorazione

Con il termine ciclo di lavorazione si intende l'insieme di operazioni necessarie a fabbricare un singolo elemento attraverso una successione di processi tecnologici (fusione, stampaggio, lavorazioni per asportazione di truciolo ecc.).

Vengono qui analizzati i vari aspetti che caratterizzano lo studio del ciclo di lavorazione relativo ai processi per asportazione di truciolo che consentono ad un pezzo greggio (di fusione, di stampaggio, ecc.) o a un semilavorato (barra, lamiera, ecc.) di raggiungere una predeterminata geometria finale. Una pianificazione oculata e razionale del ciclo di lavorazione rappresenta un fattore di estrema importanza per la produttività e competitività di un'industria meccanica, la scelta appropriata e razionale delle macchine, degli utensili, delle procedure tecnologiche necessarie per lavorare l'elemento greggio, incidono fortemente sulla qualità e sul costo del prodotto finale.

Lo studio e l'impostazione di un efficiente ciclo di lavorazione è un problema estremamente complesso che coinvolge tutti gli aspetti inerenti alla tecnologia meccanica: sono necessarie quindi conoscenze tecnologiche approfondite in merito ai diversi procedimenti di lavorazione, alle macchine, agli utensili, alle attrezzature e alle apparecchiature di controllo disponibili.

La stesura del ciclo di lavorazione può avere diverse soluzioni al fine di portare un elemento dal suo stato iniziale alla configurazione finale. Si possono utilizzare svariate sequenze di operazioni e diverse metodologie tecnologiche. Sta quindi all'abilità e alle conoscenze di colui che è stato preposto alla compilazione del ciclo la scelta dei processi più opportuni, le macchine più idonee, la sequenza ottimale di lavorazione, gli utensili e i parametri di taglio da adottare.

Tuttavia, in questo campo non è possibile individuare una teoria in grado di essere accettata e applicata univocamente ed è per questo motivo che nell'azienda capita spesso che molte decisioni in questo campo siano affidate all'esperienza degli addetti ai lavori.

La stesura di un ciclo è inoltre influenzata dall'abitudine consolidata in un'azienda di risolvere determinati problemi tecnologici con procedure ormai standardizzate, affinate in svariati anni di lavoro, oppure consultando la vasta letteratura tecnica presente in materia così come le indicazioni riportate sui manuali e/o le raccomandazioni prescritte dai costruttori di macchine e utensili.

Definire un ciclo di lavorazione significa stabilire un insieme ordinato di operazioni che permettono a un pezzo greggio o semi-lavorato di raggiungere, attraverso passi successivi, la forma finale.

Nel caso di un elemento meccanico, di cui sia stato precedentemente preparato il disegno costruttivo e che debba essere lavorato per asportazione di truciolo, la stesura del ciclo di fabbricazione può essere suddivisa nei seguenti punti:

- Analisi critica del disegno di progetto e valutazione dei dati di partenza;
- Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza delle fasi;
- Raggruppamento delle operazioni in sottofasi;
- Scelta della sequenza delle operazioni;
- Scelta degli utensili;
- Scelta dei parametri di taglio;
- Scelta o progettazione delle attrezzature;
- Scelta degli strumenti e procedure di controllo;
- Calcolo dei tempi e dei costi;
- Stesura dei fogli di lavorazione e del part-program, nel caso in cui siano impiegate macchine utensili a controllo numerico.

Tutti questi punti sono strettamente interconnessi tra loro e non possono essere analizzati in modo puramente sequenziale, ma devono essere sviluppati tenendo conto dell'influenza su di essi esercitata dai parametri e dalle variabili che caratterizzano i rimanenti punti.

Nella terminologia sopra impiegata, è stato fatto riferimento alle seguenti definizioni convenzionali:

- Fase: con questo termine si intende l'insieme ordinato di operazioni realizzate presso un medesimo posto di lavoro con o senza lo smontaggio e riposizionamento del pezzo. Per esempio, l'insieme delle lavorazioni eseguite su un tornio sono indicate con il termine fase di tornitura.
- Sotto-fase: con questo termine si intende l'insieme ordinato di operazioni realizzate presso un medesimo posto di lavoro e con un medesimo posizionamento del pezzo. Quindi se durante una fase il pezzo deve essere successivamente posizionato per eseguire tutte le lavorazioni previste, la fase stessa si decompone in tante sottofasi quanti sono i posizionamenti del pezzo.
- Operazione elementare: con questo termine si intende la lavorazione di una superficie elementare realizzata con un unico utensile. Alcuni esempi di operazioni elementari sono: tornitura cilindrica, tornitura conica, scanalatura, spianatura.

Un ciclo di lavorazione è quindi costituito in generale da una o più fasi, ciascuna relativa a un posto di lavoro impiegato; ciascuna fase a sua volta, può essere composta da più sotto-fasi, ciascuna per ogni posizionamento del pezzo nell'ambito del posto di lavoro; infine, la singola sotto-fase può essere caratterizzata da una sequenza di operazioni elementari necessarie a lavorare il pezzo in quel dato posizionamento.

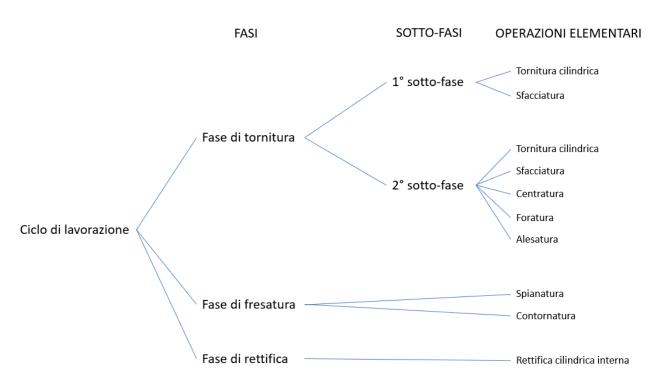


Figura 2: Esempio di ciclo di lavorazione

1.1 Informazioni di partenza

Il punto di partenza per la stesura del ciclo di lavorazione può essere considerato il disegno dell'elemento, dal quale è possibile rilevare i seguenti dati fondamentali:

- Dimensioni: da esse dipendono ovviamente le dimensioni delle macchine utensili e delle attrezzature da impiegare.
- Tolleranze dimensionali e di forma: influenzano sia la scelta delle macchine, degli utensili
 e dei processi tecnologici da impiegare, sia il posizionamento del pezzo durante la
 lavorazione;
- Qualità superficiale: anche questo fattore influenza la scelta del processo di taglio e di tutti
 i parametri ad esso associati.
- Trattamenti termici, giunti saldati, chiodati e accoppiamenti forzati: la loro esecuzione
 modifica sensibilmente il ciclo, poiché è richiesto che essi occupino una opportuna
 posizione tra le varie fasi di lavorazione (di solito dopo una fase di sgrossatura e prima di
 una fase di finitura).
- Connessione con altri elementi: alcuni accoppiamenti possono richiedere la lavorazione
 contemporanea di più particolari. È il caso, ad esempio, di un collegamento realizzato con
 spine di riferimento in cui le alesature dei fori delle spine devono essere eseguite dopo aver
 accoppiato i due elementi.
- Materiale: gli angoli caratteristici e il materiale dell'utensile, i parametri di taglio e gli
 accorgimenti da adottare per il bloccaggio del pezzo dipendono anche dalle caratteristiche
 meccaniche del materiale dell'elemento da lavorare.
- Tipo di greggio: la conoscenza del greggio di partenza è fondamentale per determinare le
 operazioni preliminare da eseguire, le superfici iniziali di riferimento e di bloccaggio e i
 sovrametalli da asportare. Questo può essere una barra (laminata, trafilata, rettificata,
 ecc.), può essere ricavato per fusione, per fucinatura, per stampaggio a caldo, per
 tranciatura o per piegatura di lamiere.
- Quantità di pezzi da produrre: questo aspetto condiziona tutta l'impostazione del ciclo, che varia considerevolmente a seconda che siano realizzati pochi esemplari, oppure una quantità rilevante.
- Regime di produzione: aspetto che influenza la scelta dei mezzi di produzione e il calcolo
 dei parametri di taglio. Se si adotta un regime economico, il ciclo deve essere ottimizzato
 in modo da ottenere il minimo costo di lavorazione; se si adotta un regime produttivo,
 allora il ciclo deve essere impostato per l'ottenimento di un dato volume di produzione,

senza considerare gli aspetti economici. Questo ultimo regime è da adottare quando sia necessario sopperire a particolari situazioni organizzative come ritardi nelle consegne o ordini imprevisti.

- Disponibilità di mezzi e macchine: la disponibilità di macchine, attrezzature, utensili, calibri, ecc. e la possibilità di ulteriori acquisti devono essere presi in debita considerazione nella stesura del ciclo, in modo da sfruttare al meglio le risorse dell'azienda.
- Ubicazione del macchinario: nel caso di produzioni di serie, un ciclo di lavorazione razionale
 ed efficiente deve tenere conto anche della disposizione del macchinario all'interno
 dell'azienda, allo scopo di ridurre al minimo i tempi necessari al trasporto degli elementi da
 un posto di lavoro al successivo.
- Professionalità del personale e automazione delle macchine: anche questo aspetto influenza indirettamente la scelta dei processi di fabbricazione.

1.2 Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza delle fasi

Primo passo: individuare le superfici che devono essere lavorate e in base alla loro forma, posizione, precisione dimensionale e finitura superficiale, ipotizzare i possibili processi di lavorazione da usare.

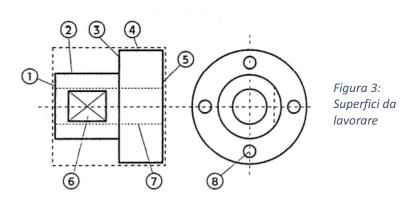


Tabella 1: Superfici da lavorare

N. SUPERFICIE	TIPOLOGIA	PROCESSI POSSIBILI
2, 4	Cilindriche esterne coassiali	Tornitura
1, 3, 5	Piane ortogonali all'asse delle 2, 4	Tornitura, fresatura
7	Cilindrica interna coassiale alle 2,	Foratura
	4	
8	Cilindrica interna	Foratura
6	Piana	Fresatura

Secondo passo: si raggruppano le superficie secondo il principio di poter lavorare il maggior numero di superfici con il medesimo processo (stessa fase) e possibilmente con lo stesso piazzamento (stessa sottofase).

Tabella 2: Processi per superficie

N. SUPERFICIE	PROCESSO
1, 2, 3, 4, 5	Tornitura
7, 8	Foratura
6	Fresatura

È necessario anche controllare se esistono fori coassiali a superfici esterne eseguibili con tornitura, nel nostro caso il foro 7 è di questo tipo, quindi, la foratura della 7 sarà da eseguirsi nella fase di tornitura insieme alle 1, 2,3,4,5.

Terzo passo: una volta fissati i processi necessari, cioè le fasi, si devono di controllare i vincoli di precedenza tra di esse. La sequenza con cui si succedono le fasi deve essere impostata affinché siano eseguite per prime quelle lavorazioni che si rendono indispensabili per poter correttamente realizzare le successive.

Nel caso in esame la fresatura della superficie 6 e la foratura dei fori 8 devono essere eseguite dopo la tornitura, a seguito delle lavorazioni delle superfici 2 e 4.

Se non sussistono vincoli di carattere geometrico o tecnologico tra i gruppi di superfici realizzate presso i diversi posti di lavoro, diventa importante la disposizione delle macchine all'interno del reparto produttivo. In questo caso la successione delle fasi deve essere scelta con lo scopo di ridurre al minimo le perdite di tempo dovute al trasporto dei pezzi tra una stazione di lavoro e la successiva. Una scelta accurata delle fasi di lavorazione prevede un'approfondita conoscenza delle macchine utensili disponibili e delle loro prestazioni.

Quarto passo: si ipotizzano dei cicli alternativi che utilizzino diverse combinazioni di macchine, comparandoli successivamente in base ai tempi e ai costi di lavorazione; si deve verificare se è possibile eseguire le lavorazioni o se è necessario acquistare nuove macchine.

Si possono realizzare due cicli:

CICLO A

Tabella 3: Ciclo di lavorazione A

FASE	OPERAZIONI	MACCHINA
10	Tornitura 1, 2, 3, 4, 5	Tornio parallelo
	Foratura 7	
20	Fresatura 6	Fresatrice
30	Tracciatura 8	Banco di tracciatura
40	Foratura 8	trapano

Essendo impostato su macchine a basso grado di automazione e su operazioni manuali quale la tracciatura, questo ciclo richiede tempi elevati, elevato costo della manodopera, bassi costi di ammortamento macchine. Tale ciclo può andare bene per realizzare un numero limitato di pezzi.

CICLO B

Tabella 4: Ciclo di lavorazione B

FASE	OPERAZIONI	MACCHINA
10	Tornitura 1, 2, 3, 4, 5	Centro di tornitura con utensili
	Foratura 7, 8	motorizzati in torretta
	Fresatura 6	

Questo secondo ciclo realizzato su una moderna macchina altamente automatizzata richiede tempi brevi, basso costo di manodopera, elevati costi di ammortamento macchina. Potrebbe andare bene per la produzione di un elevato numero di pezzi, dove gli elevati costi iniziali sono bilanciati da un basso costo di lavorazione.

1.3 Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

Nell'ambito di ogni fase è necessario controllare se tutte le superfici che si devono realizzare possono essere lavorate con lo stesso piazzamento del pezzo, cioè nella stessa sottofase. Questa è sicuramente la soluzione preferibile, infatti, la variazione della posizione del pezzo sulla macchina necessita di un intervento che comporta perdita di tempo oltre ad un aumento del rischio di errore. Nel caso in cui non fosse possibile avere una singola sottofase, occorre suddividere le varie operazioni in due o più sottofasi, con l'accortezza di lavorare nella stessa sottofase (se ciò è possibile) le superfici legate alle tolleranze di posizione.

Riprendendo in esame il ciclo A e supponendo che il grezzo di partenza sia uno spezzone di barra cilindrica, è facile verificare che non è possibile lavorare il pezzo, nella fase di tornitura in una sola sottofase, una possibile struttura della fase 10 di tornitura è la seguente:

Sottofase a) Tornitura 4, 5

Foratura 7

Sottofase b) Tornitura 1, 2, 3

Se nel disegno fosse presente una tolleranza di coassialità tra la 7 e la 1 sarebbe invece preferibile spostare la foratura della 7 nella seconda sottofase.

In mancanza di altre considerazioni l'ordine delle sottofasi è indifferente, occorre tuttavia ritornare eventualmente su queste decisioni dopo aver visto la corretta sequenza di operazioni.

1.4 Scelta della sequenza di operazioni

Per la scelta della sequenza di operazioni nell'ambito della stessa sottofase, esistono prima di tutto regole ovvie che riguardano la stessa superficie: ad esempio, per ottenere un foro filettato occorre eseguire prima la foratura e successivamente la filettatura.

Negli altri casi occorre verificare l'esistenza di eventuali relazioni di precedenza tra un'operazione e l'altra.

Tali relazioni possono nascere principalmente dalle seguenti esigenze:

Lesigenze economiche: un esempio di questo tipo è la necessità di minimizzare il percorso utensile e i cambi degli stessi in funzione del grado di automazione posseduto dalla macchina. Si supponga ad esempio di dover eseguire una serie di fori uguali su una superficie, se si utilizza un macchina a comando prevalentemente manuale, la sequenza delle operazioni deve essere impostata in modo da minimizzare i moti di appostamento dell'utensile, anche se ciò comporta un maggior numero di cambio degli utensili stessi (in questo caso per ciascun foro sono consecutivamente realizzate le operazioni di centratura, foratura e allargatura); se si utilizza una macchina a controllo numerico, la sequenza deve essere impostata in modo da minimizzare il numero di cambi utensili, poiché il riposizionamento sull'asse del foro è in questo particolarmente rapido e preciso (sono realizzate prima tutte le centrature, poi tutte le forature e infine tutte le allargature).

Un altro esempio, illustrato in figura 4, dove la cava indicata con 1 viene effettuata con una fresa cilindrico frontale a codolo di 30 mm, mentre le due cave indicate con 2 sono realizzate con una fresa cilindrico frontale a codolo di 5 mm.

Da un punto di vista economico conviene eseguire prima la cava 1 e successivamente le

cave 2. Procedendo in modo opposto, la fresa da 5 mm dovrebbe lavorare in una o più passate, ma con basso avanzamento data la rigidezza flessionale di molto inferiore alla fresa da 30 mm e ciò comporterebbe tempi più elevati rispetto alla soluzione scelta.

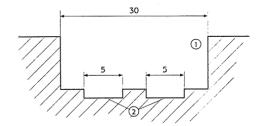


Figura 4: Esempio di precedenza di tipo economico

Esigenze dimensionali: nel pezzo rappresentato in figura 5, la superficie 2 deve rimanere grezza, mentre la 1 e la 3 devono essere lavorate. La sequenza più corretta prevede la lavorazione della 3 seguita dalla lavorazione della 1, in caso contrario, un errore di lavorazione della 1

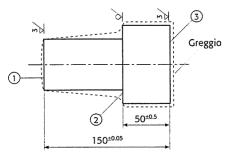


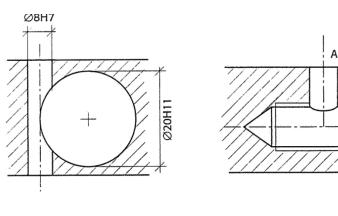
Figura 5: Esempio di precedenza di tipo dimensionale

potrebbe non permette una corretta esecuzione della 3, nel rispetto della tolleranza più ristretta, dato che non si deve lavorare la 2.

• Esigenze tecnologiche: con riferimento ai tre disegni riportati in figura 6, nel caso dei due fori di diverso diametro e precisione che si intersecano, è preferibile eseguire per primo il foro di minor diametro e maggior precisione, perché in caso contrario, la punta di piccolo diametro, incontrando in modo asimmetrico una discontinuità costituita dall'altro foro, potrebbe deviare dalla sua direzione e la precisione del foro non sarebbe garantita.

Nel caso di un foro A che interseca un altro foro B filettato, la filettatura dovrebbe essere eseguita dopo l'esecuzione del foro A in quanto in caso contrario l'esecuzione del foro A potrebbe danneggiare la filettatura.

Figura 6: Esempio di precedenza di tipo tecnologico



Infine, nel caso di un foro B con asse inclinato, è preferibile eseguire prima la fresatura delle superfici A, in modo da evitare deviazioni indesiderate della punta, specie se di piccolo diametro.

В

1.5 Scelta degli utensili

La scelta degli utensili è un fattore importante nella stesura del ciclo di lavorazione: da esso, infatti, dipende la qualità e l'economicità della produzione.

Scegliere un utensile idoneo al tipo di macchina impiegata e alla superficie da realizzare significa determinare esattamente la geometria di taglio, il materiale del tagliente, la forma dello stelo o del portautensile.

La *geometria di taglio*, assieme ai parametri di lavorazione, governa il processo di formazione del truciolo e quindi deve essere scelta in modo da soddisfare esigenze di carattere tecnologico ed economico.

Fondamentalmente dipende da:

- Materiale del pezzo;
- Materiale dell'utensile;
- Tipo di lavorazione (finitura, sgrossatura, ecc.);
- Geometria del pezzo;
- Condizioni di lavoro;
- Stabilità della lavorazione;

La scelta del materiale del tagliente è realizzata sulla base delle:

- Caratteristiche meccaniche del materiale da lavorare;
- Condizioni di lavoro (taglio interrotto, taglio su crosta di fusione, presenza di fluido lubrorefrigerante, ecc.);
- Parametri di taglio adottati;

La forma e le dimensioni del portautensili e dello stelo dipendono da:

- Geometria delle superfici da lavorare;
- Valore della forza di taglio;
- Macchina utensile impiegata;

Nella scelta dell'utensile e del materiale del tagliente subentrano anche problematiche di carattere economico (costo del portautensile e della placchetta, costo di allestimento e di pre-setting dell'utensile) e di disponibilità dei medesimi in magazzino con valutazione della possibilità di nuovi acquisti.

La scelta di un utensile viene quasi sempre effettuata sulla base di quelli disponibili sul mercato, a meno che non sia strettamente indispensabile ed economicamente giustificato progettare e produrre utensili specifici. Ogni costruttore di utensili mette a disposizione del cliente cataloghi, software e informazioni tecniche sufficienti per una scelta corretta. Il caso di scelta più complesso è quello relativo a operazioni di tornitura, infatti nonostante la relativa semplicità di questi utensili, la combinazione dei possibili parametri in gioco e il numero elevato di varianti prodotte da ogni costruttore, rende questa scelta non banale.

Di seguito viene suggerito il metodo di scelta degli utensili da un catalogo, ricordando che in tornitura si deve scegliere sia l'utensile che il porta utensile e che devono essere compatibili tra loro.

Scelta degli angoli di profilo: gli angoli ψ e ψ' vengono scelti in modo che l'utensile abbia, in ogni zona del pezzo che deve lavorare, degli angoli di registrazione positivi, pari ad almeno 3 °.

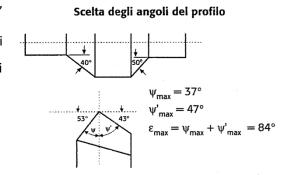


Figura 7: Angoli di profilo

Scelta del materiale dell'inserto: questa scelta è fatta, in funzione del materiale del pezzo e del tipo di operazioni che si desidera eseguire, distinguendo tra una sgrossatura pesante, una sgrossatura leggera, una finitura, ecc. Eventualmente è opportuno ritornare su questo punto della scelta dopo aver selezionato i parametri di taglio.

Scelta della forma dell'inserto: tale scelta viene effettuata tenendo conto degli angoli del profilo ammissibili già determinati e delle forme disponibili nel catalogo per materiale selezionato, seguendo il principio della massima robustezza dell'utensile, cioè dell'angolo ε massimo.

Ad ogni lettera è associata una forma diversa dell'inserto.



Figura 8: Esempio di forma dell'inserto

Scelta delle dimensioni dell'inserto (lato e spessore): viene fatta sulla base della massima profondità di passata che si intende usare (pertanto conviene ritornare su questo punto dopo aver scelto i parametri di taglio) e dell'eventuale presenza di situazioni di collisione con altre superfici lavorate, occorre comunque considerare l'aumento del costo dell'inserto con

Scelta della dimensione dell'inserto

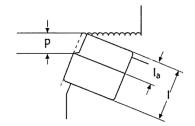


Figura 9: Dimensioni inserto

l'aumentare delle dimensioni. Lo spessore è in generale conseguenza della scelta delle dimensioni del lato.

Scelta del raggio di raccordo tra i taglienti: se si tratta di operazioni di finitura la scelta dipende dalla rugosità desiderata e dall'avanzamento, se si tratta di sgrossatura si cerca di scegliere il raggio di raccordo massimo tra quelli disponibili per ragioni di resistenza meccanica della punta, tenendo comunque presente il rischio di

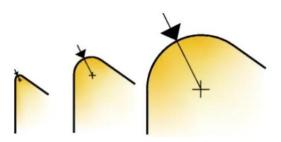


Figura 10: Raggio di raccordo tra i taglienti

vibrazioni per valori troppo elevati del raggio. I valori più usati in questo caso sono 1,2 mm e 1,6 mm.

Scelta del portautensile: il portautensile, oltre a essere compatibile con l'inserto scelto, deve a questo punto garantire che non si superino gli angoli ψ e ψ' massimi ammissibili. Inoltre, la sezione resistente del portainserti deve essere adatta al tipo di operazione in termini di rigidezza flessionale e di problemi di ingombro.

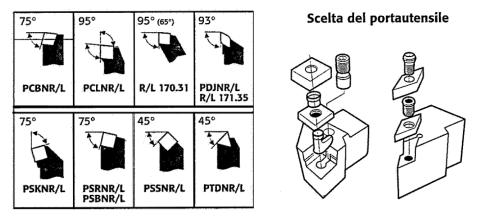


Figura 11: Portautensile

1.6 Scelta dei parametri di taglio

Una scelta ottimale dei parametri di taglio (velocità di taglio, avanzamento e profondità di passata) consente di ottimizzare le varie operazioni previste nel ciclo.

In generale la scelta dei parametri di taglio è legata strettamente ai seguenti aspetti: durata del tagliente, materiale dell'utensile, materiale del pezzo, condizioni di taglio, geometria dell'utensile, stabilità della lavorazione, vibrazioni, sovrametalli da asportare.

Qualunque sia la strategia di scelta dei parametri, occorre verificare che non siano superati i limiti tecnologici e in particolare: insorgenza di vibrazioni, eccessive deformazioni del pezzo e dell'utensile, massima rugosità ammissibile, problemi di controllo del truciolo, massima potenza disponibile al mandrino, massima velocità angolare del mandrino e massimo avanzamento disponibile. Esistono anche dei limiti inferiori, in particolare per quanto riguarda la velocità di taglio (tagliente di riporto) e l'avanzamento (rifiuto del tagliente).

Solitamente i produttori di utensili mettono a disposizione informazioni riguardanti i parametri consigliati in base al materiale che si deve lavorare.

un esempio può essere la scelta per l'operazione di sgrossatura al tornio:

- si sceglie prima di tutto la profondità di passata, ponendola inizialmente uguale allo spessore del soprametallo da asportare, se tale valore supera i limiti legati all'insorgenza di vibrazioni si adotta un valore di profondità di passata pari alla metà del soprametallo, si usano cioè due passate invece di una sola;
- si sceglie l'avanzamento massimo consentito dai limiti tecnologici superiori: eccessiva velocità di usura dell'utensile, deformazione del pezzo pari alla tolleranza ammessa sul diametro, massima rugosità ammessa in sgrossatura, massima deformazione ammissibile sullo stelo dell'utensile, possibilità di controllo truciolo, avanzamento massimo consentito dal raggio di raccordo tra i taglienti;
- si sceglie la velocità di taglio corrispondente alla durata di minimo costo o massima produttività o comunque compresa tra le due. A questo punto si valuta se la combinazione dei parametri scelti causa un assorbimento di potenza di taglio superiore a quello disponibile al mandrino della macchina se ciò accade occorre diminuire i valori dei parametri scelti con questo ordine: avanzamento, velocità di taglio, profondità di passata. Spesso limitate riduzioni dei primi due parametri possono permettere l'operazione, mentre la riduzione della profondità di passata comporta un numero di passate maggiori quindi un aumento sensibile dei tempi.

1.7 Scelta delle procedure di controllo

La verifica delle quote lavorate è un aspetto di fondamentale importanza in un qualsiasi processo produttivo. Per qualunque superficie lavorata devono essere verificate le sue dimensioni e la sua posizione rispetto all'ente geometrico preso come riferimento. Se, inoltre, nel disegno costruttivo sono riportate indicazioni circa la qualità superficiale o le tolleranze dimensionali o di forma queste devono essere controllate con idonei strumenti. Nel ciclo di lavorazione devono quindi essere specificate le procedure di controllo delle superfici lavorate e gli strumenti da utilizzare. La scelta, frutto di considerazioni economiche e di difficoltà tecniche di misura, è tra strumenti manuali (calibro a corsoio, micrometri, comparatori) o strumenti speciali (attrezzature di misura realizzate espressamente per ogni pezzo e dotate di comparatori meccanici o elettronici), oppure macchine di misura controllo numerico, molto più flessibili e versatili.

1.8 Calcolo dei tempi e dei costi

Il calcolo dei tempi di lavorazione e dei costi di produzione influenza direttamente o indirettamente tutte le scelte che devono essere intraprese per completare la pianificazione del ciclo di fabbricazione. L'analisi di questi due parametri permette di scegliere il ciclo migliore tra più soluzioni alternative, di individuare le macchine e le attrezzature da utilizzare e di selezionare la combinazione ottimale dei parametri di taglio.

I tempi necessari all'esecuzione di un ciclo di lavorazione, calcolati durante la stesura del ciclo possono essere classificati in:

- Tempi attivi: sono i tempi durante i quali avviene il movimento relativo tra utensile e pezzo
 per ottenere l'asportazione del truciolo, sono quindi funzione della velocità di taglio,
 dell'avanzamento e della lunghezza della superficie da lavorare;
- Tempi passivi: sono quei tempi del ciclo nei quali non avviene la lavorazione, sono necessari
 per lo svolgimento di operazioni quali montaggio e smontaggio degli utensili o del pezzo,
 manovre sui comandi macchina, controlli, avvicinamento e allontanamento dell'utensile
 dalla superficie lavorata, avviamento e arresto della macchina;
- Tempi di preparazione: sono costituiti dai tempi necessari alla preparazione della macchina, al prelievo dal magazzino di utensili e strumenti di controllo e all'interpretazione del foglio di ciclo da parte dell'operatore.

In quest'ottica i tempi attivi sono deducibili dalla conoscenza dei parametri di taglio e dall'estensione della superficie da lavorare.

Per operazioni di tornitura, il tempo attivo è calcolato con la formula:

$$t = \frac{L+e}{a*n} \text{ (min)}$$

Dove L è la lunghezza della superficie o la profondità del foro in mm, $e=e_i+e_u$ è l'extracorsa in mm all'inizio e alla fine della lavorazione, a è l'avanzamento in mm/giro e n è la velocità di rotazione del mandrino in giri/min.

Per le lavorazioni di fresatura, il tempo attivo è calcolato con la formula:

$$t = (L' + e)/Va \text{ (min)}$$

Dove L^I rappresenta la corsa in mm dell'asse della fresa necessaria per compiere la fresatura di lunghezza L e V_a la velocità di avanzamento in mm/min.

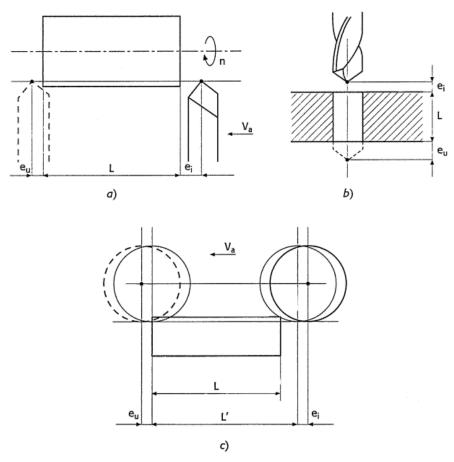


Figura 12: calcolo tempi attivi per tornitura(a), foratura(b) e fresatura(c)

Il calcolo dei tempi passivi e di preparazione richiede metodi di rilevamento diretto o di preventivazione attraverso l'analisi dei movimenti elementari compiuti dall'operatore. In particolare, la preventivazione consiste nel confrontare l'operazione da analizzare con altre standardizzate per le quali sia già previsto il relativo tempo di esecuzione.

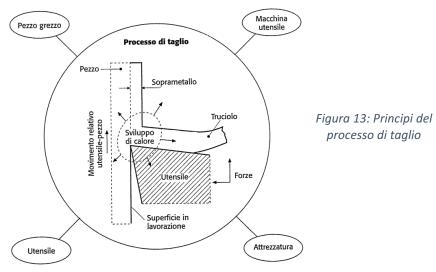
2. Lavorazioni per asportazione di truciolo

2.1 Principi del processo di taglio

Il processo di taglio è un processo di deformazione plastica nel quale un utensile, dotato di moto relativo rispetto a un pezzo, ne asporta lo strato superficiale detto soprametallo trasformandolo in truciolo, generando una superficie con caratteristiche di precisione e rugosità specifiche.

L'output della lavorazione sarà quindi una superficie, il truciolo sarà solo lo scarto di tale lavorazione, il processo avviene grazie a uno o più moti forniti dalla macchina autentica.

La lavorazione è caratterizzata dallo sviluppo di calore dal lavoro di deformazione plastica dovuto alle forze di attrito che porta all'innalzamento di temperatura del pezzo, dell'utensile e del truciolo.



L'utensile caratterizzato da opportuna geometria e durezza, deve mantenere queste caratteristiche anche ad elevate temperature, deve essere costruito con materiali adatti.

La deformazione plastica che forma il truciolo tende anche a muovere e deformare il pezzo in lavorazione, per evitare ciò si usa un'attrezzatura, il processo di taglio sarà quindi composto da quattro elementi:

- pezzo grezzo: generalmente un grezzo di fusione o un semilavorato laminato;
- macchina utensile: genera i moti relativi pezzo-utensile e le forze necessarie per l'azione di taglio;
- utensile: di opportuna geometria e durezza, esegue l'azione di taglio vera e propria;
- attrezzature: serie di dispositivi mediante i quali il pezzo viene fissato alla macchina utensile, il loro scopo è anche quello di ricevere e reagire alle forze di taglio e fare in modo che il pezzo non si muova o si deformi durante la lavorazione (piattaforme autocentranti, morse, contropunte).

2.2 Taglio libero ortogonale

Ipotesi:

Per studiare la meccanica di formazione del truciolo è conveniente riferirsi al caso particolarmente semplice di taglio libero ortogonale, ovvero quello in cui il tagliente è rettilineo, parallelo alla superficie in lavorazione ed orientato perpendicolarmente alla direzione di avanzamento.

- utensile più largo del pezzo, truciolo vincolato su un solo lato;
- lo spessore del truciolo è costante;
- assenza di contatto utensile-superficie lavorata;
- assenza di deformazione nel truciolo lungo la direzione del tagliente;
- velocità di taglio costante.

Lo studio dei fenomeni può essere perciò ricondotto ad un caso bidimensionale.

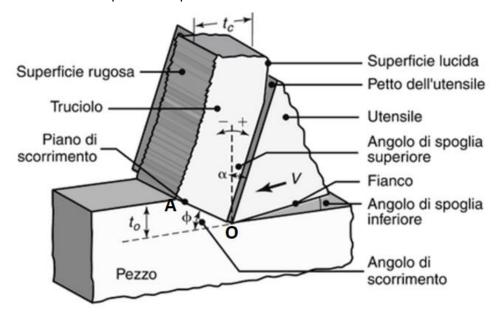


Figura 14: Taglio libero ortogonale

Il processo di taglio può essere schematizzato nel modo seguente:

- Il tagliente penetra nello spessore t0 del materiale in lavorazione;
- le forze di compressione che si generano portano alla deformazione plastica per scorrimento del materiale lungo il piano OA;
- distacco dello strato metallico sotto l'azione dell'utensile, con conseguente formazione del truciolo;
- scorrimento del truciolo lungo il petto dell'utensile.

2.3 Modello di formazione del truciolo di Pijspanen

Questo modello considera il materiale come è costituito da una serie di lamelle di spessore finito, ogni lamella viene spinta in avanti dall'avanzamento dell'utensile che la obbliga a scorrere sulla successiva, la forza esercitata dall'utensile è tale da generare scorrimento relativo tra due lamelle a contatto.

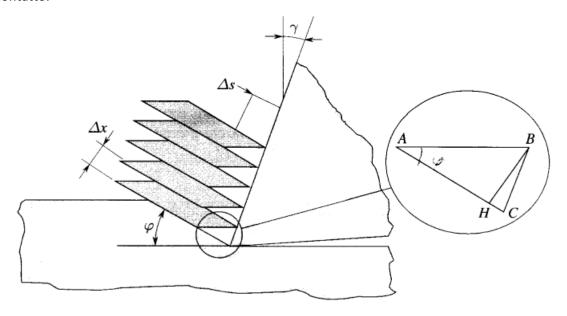


Figura 15: Modello di Pijspanen

Problematiche:

- l'estremità di ciascuna lamella è a contatto con l'utensile e soggetta all'appiattimento a causa della pressione esercitata dall'utensile;
- l'estremità opposta rimane libera ed è indeformata;
- il piano di scorrimento non è unico, la zona di scorrimento è formata da diversi piani;
- le linee di scorrimento non sono parallele, ma formano un piccolo angolo.

Approssimazione migliorata con il modello a zona di deformazione.

2.4 Modello a zona di deformazione

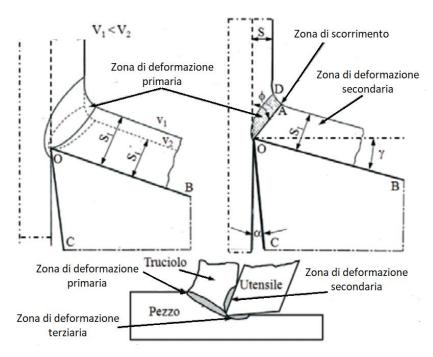


Figura 16: Modello a zona di deformazione

Il modello a zona di deformazione considera una deformazione graduale nella zona di transizione tra materiale indeformato (pezzo) e deformato (truciolo), questa zona viene chiamata zona di deformazione primaria.

Al crescere della velocità di taglio si ha una riduzione dell'estensione della zona di deformazione primaria, per le normali Vt delle lavorazioni industriali questa zona può essere approssimata ad una zona compresa tra due piani paralleli al piano di scorrimento.

La zona di deformazione secondaria è invece posizionata sulla superficie di contatto tra truciolo e petto, zona in cui si ha adesione all'interfaccia truciolo-petto, il moto è prodotto dallo scorrimento relativo tra i piani cristallini nella zona sotto-superficiale.

La zona di deformazione terziaria viene prodotta dallo strisciamento della superficie dorsale dell'utensile sulla superficie lavorata, questa è causata dall'arrotondamento del tagliente e dal ritorno elastico del materiale lavorato. La presenza della zona di deformazione terziaria porta all'usura del dorso dell'utensile e all'incrudimento della superficie lavorata.

2.5 Tipologia di truciolo

La tipologia di truciolo generato dalla lavorazione per asportazione di truciolo dipende dalle caratteristiche meccaniche e metallurgiche del materiale lavorato, dal tipo di operazione, dagli angoli di taglio, dai parametri di taglio e dalle condizioni di lubrificazione all'interfaccia pettotruciolo.

Il truciolo può essere di due tipologie:

- truciolo continuo (fluente);
- truciolo discontinuo (frammentato).

Nella prima tipologia è mantenuta la continuità del materiale ed è ottenuto in condizioni di taglio stazionario e su materiali duttili con elevati valori di velocità di taglio e/o angolo di spoglia frontale. Nel caso di truciolo continuo la lavorazione è caratterizzata da una buona finitura superficiale e dalla tendenza del truciolo ad avvolgersi intorno all'utensile e alle attrezzature.

La tipologia di truciolo discontinuo è invece costituita da particelle metalliche completamente distaccate tra loro, è tipico di lavorazioni:

- taglio interrotto (es. fresatura);
- di taglio stazionario su materiali fragili (es. ghisa);
- su materiali con inclusioni dure e impurezze;
- con Vt molto alte o con elevati valori di profondità di passata e bassi valori di angolo di spoglia frontale.

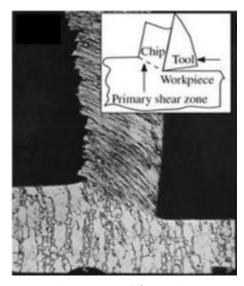


Figura 17: Truciolo continuo

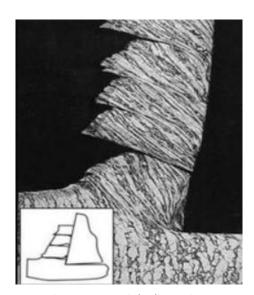


Figura 18: Truciolo discontinuo

2.6 Tagliente di riporto

Il tagliente di riporto è costituito da strati di metallo fortemente incrudito adagiati sul petto in prossimità del tagliente, il numero di strati cresce con il progredire della formazione del truciolo. Il fenomeno si sviluppa con:

- Vt medie o basse;
- materiali con forte tendenza all'incrudimento;
- valori dell'angolo di spoglia frontale piccoli.

È un fenomeno presente sia con truciolo continuo che discontinuo.

il tagliente di riporto non è stabile, si forma e successivamente si distrugge, saldandosi in parte al pezzo lavorato e in parte al truciolo.

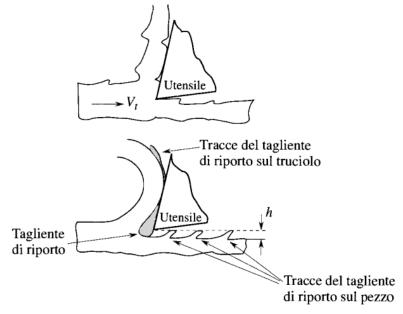


Figura 19: Tagliente di riporto

La presenza di queste particelle nel truciolo, porta all'usura del petto dell'utensile, mentre le particelle presenti sulla superficie lavorata ne aumentano la rugosità superficiale e danneggiano gli utensili usati nelle lavorazioni successive.

Il fenomeno non è completamente spiegato, è certo che al di sotto di una certa temperatura per la zona di contatto truciolo-utensile esso non si forma, in queste condizioni il materiale costituente il truciolo è ancora poco deformabile e il truciolo tende a segmentare, invece che a deformarsi plasticamente.

Aumentando la temperatura nella zona di lavoro (ad esempio aumentando la velocità di taglio), da una parte aumenta la deformabilità del materiale nella zona di lavoro (scompare la segmentazione del truciolo), dall'altra si creano le condizioni adatte a che il truciolo si saldi al petto dell'utensile dando luogo al tagliente di riporto.

Un ulteriore aumento della temperatura porta alla crescita della deformabilità del materiale e alla diminuzione del BUE fino alla sua scomparsa.

2.7 Forze di taglio

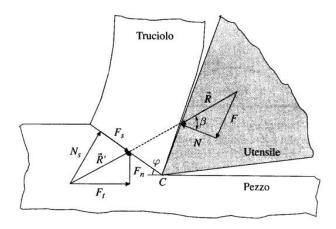


Figura 20: Schema forze di taglio

In condizioni di taglio libero e ortogonale, il truciolo può essere considerato come un corpo libero in equilibrio sotto l'azione di due forze (R e R') applicate nella zona di contatto con il materiale e con l'utensile.

Per la condizione di equilibrio R=R', il punto di applicazione delle due forze risulta essere prossimo al punto C, si trascurano gli effetti del momento flettente sulla distribuzione di tensioni nella zona di scorrimento.

La risultante R puo essere scomposta in 3 gruppi di componenti:

- F_t e F_n (parallela e perpendicolare al moto di taglio), F_t (forza principale di taglio) permette la valutazione della potenza assorbita dal taglio;
- F e N (parallela e perpendicolare alla faccia del petto), consentono la determinazione delle condizioni di attrito all'Ointerfaccai truciolo-petto utensile;
- F_s e N_s (parallela e perpendicolare al piano di scorrimento), importanti per determinare lo stato di sollecitazione a cui è sottoposto il materiale nella zona di scorrimento.

$$F_t = R \cdot \cos(\beta - \gamma)$$

$$F_n = R \cdot \sin(\beta - \gamma)$$

$$F_s = R \cdot \cos(\varphi + \beta - \gamma)$$

$$N_s = R \cdot \sin(\varphi + \beta - \gamma)$$

$$F = R \cdot \sin\beta$$

$$N = R \cdot \cos\beta$$

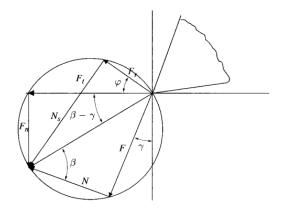


Figura 21: Cerchio di Merchant

2.8 Potenza assorbita dal taglio

la potenza di taglio viene calcolata considerando le seguenti componenti della forza risultante:

- Ft: forza di taglio;
- Fa: resistenza all'avanzamento;
- Fr: forza di repulsione.

$$Wt = Ft * vt + Fa * va + Fr * vr$$

Dato che:

- F_t > F_a
- v_t >> v_a
- v_r = 0

Si può semplificare il calcolo della potenza, avremo quindi:

$$Wt = Ft * vt$$

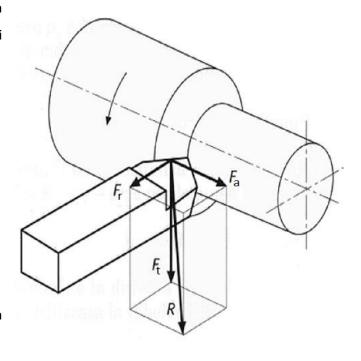


Figura 22: Potenza assorbita dal taglio

2.9 Aspetti termici nel taglio

Quasi tutta l'energia assorbita nel taglio viene trasformata in calore che si sviluppa entro un volume molto limitato, si devono sommare a questi anche gli effetti termici dell'attrito, nella zona di taglio

si hanno notevoli aumenti di temperatura che influenzano la resistenza meccanica e all'usura dell'utensile e l'accuratezza della lavorazione a causa delle deformazioni termiche.

Il calore prodotto dalla trasformazione dell'energia non è distribuito equamente tra pezzo, truciolo e utensile, la valutazione delle temperature è possibile solo utilizzando tecniche FEM.

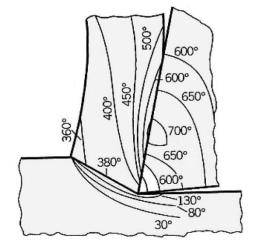


Figura 23: Aspetti termici nel taglio

2.10 Taglio tridimensionale

Il taglio libero e ortogonale dove il tagliente è normale alla direzione di taglio viene rispettato nella brocciatura, fresatura piana, troncatura al tornio, nella maggior parte delle lavorazioni di taglio si ha il taglio obliquo, si ha formazione del truciolo tridimensionale.

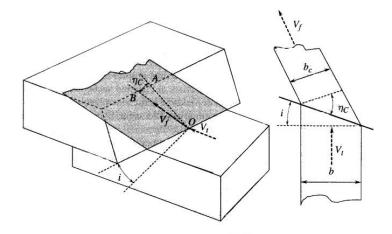


Figura 24: Taglio tridimensionale

L'angolo i prende il nome di angolo di inclinazione, il tagliente non è più perpendicolare alla direzione della velocità di taglio e di conseguenza la velocità di flusso del truciolo formerà con la perpendicolare al tagliente (giacente sulla faccia di taglio) un angolo $\eta_{\rm c}$.

Tracciato un piano che contiene i vettori della velocità di taglio e della velocità di flusso, il modello di formazione del truciolo su questo piano potrà essere ricondotto a un modello bidimensionale. L'angolo di spoglia effettivo (γ_e) risulta diverso da quello caratteristico della geometria dell'utensile (γ), per un dato valore di angolo di spoglia frontale, all'aumento dell'angolo di inclinazione i corrisponde un incremento dell'angolo di spoglia frontale effettivo, ciò porta alla riduzione della forza di taglio Ft senza alcuna incidenza sulla resistenza dell'utensile.

2.11 Tornitura

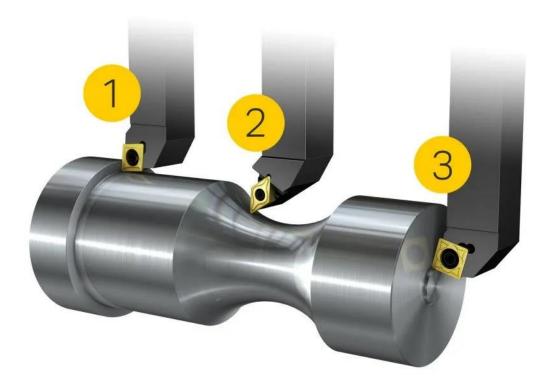


Figura 25: Tornitura

La figura 24 riporta lo schema elementare di un processo di tornitura, il pezzo è in rotazione intornio al proprio asse, mentre l'utensile avanza a velocità costante lungo una direzione parallela (nella tornitura longitudinale) all'asse del pezzo.

In ogni operazione per asportazione di truciolo sarà possibile distinguere tre moti fondamentali che caratterizzano il processo: il moto di taglio, il moto di avanzamento e il moto di registrazione. Nel caso della tornitura, il moto di taglio è rotatorio ed è posseduto dal pezzo ed è definito dalla velocità di rotazione (n):

$$Vt = \omega * r = \frac{\pi*n*D}{1000}$$
 (m/min)

Il moto di avanzamento è invece definito mediante l'avanzamento dell'utensile per ogni rotazione completa del pezzo, indicato con a e misurato in mm/giro.

Il moto di registrazione è impresso dall'utensile in direzione perpendicolare al moto di avanzamento e comprende tutte quelle operazioni eseguite preliminarmente al taglio con le quali la posizione dell'utensile è registrata rispetto al pezzo ed è stabilita l'entità del sovrametallo p, detto profondità di passata, che verrà asportato nella lavorazione.

La tornitura è una lavorazione versatile che permette di ottenere qualsiasi solido di rivoluzione dato che le macchine sono controllate dal controllo numerico, si possono quindi assegnare movimenti complessi.

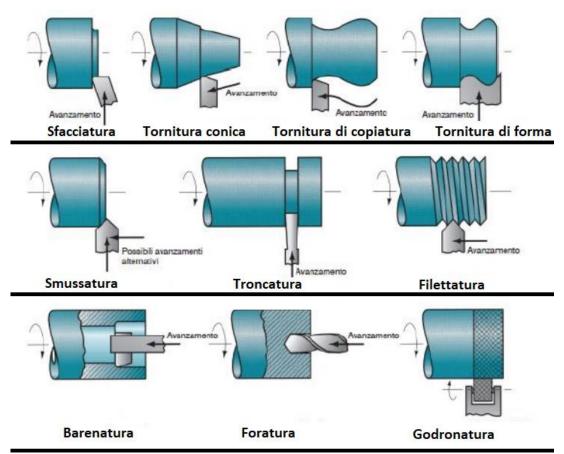


Figura 26: Alcune operazioni realizzabili al tornio

Sfacciatura: l'utensile avanza radialmente per creare una superficie piana.

Tornitura conica: l'utensile avanza secondo la direzione angolata rispetto al pezzo creando una forma conica.

Contornatura: l'utensile segue un contorno sagomato.

Tornitura di forma (formatura): l'utensile impartisce la propria forma al pezzo mediante un moto radiale.

Smussatura: si usa lo spigolo tagliente per eliminare l'angolo sul bordo.

Troncatura (cut off): serve per tagliare un'estremità.

Filettatura: l'utensile avanza linearmente per creare la filettatura sul pezzo.

Barenatura: l'utensileria avanza linearmente sul diametro interno di un foro preesistente.

Foratura: si fa avanzare una punta per forare il pezzo in rotazione.

Godronatura: usata per produrre zigrinatura sulla superficie del pezzo.

La figura 27 riporta la geometria completa di un utensile per operazioni di tornitura, definito mediante i seguenti angoli:

Angolo di spoglia frontale principale γ, influenza il processo di formazione del truciolo e determina la direzione del flusso del materiale oltre ad influenzare il valore dell'angolo di scorrimento;

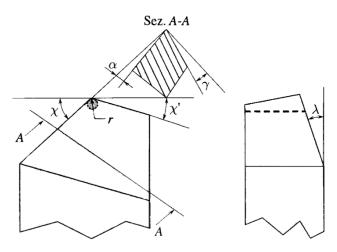
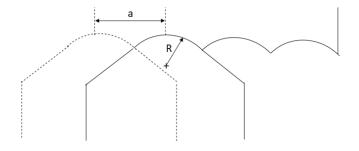


Figura 27: Geometria di un utensile da tornitura

- ullet Angolo di spoglia dorsale principale lpha, impedisce il "tallonamento", lo strisciamento del fianco principale sulla superficie lavorata;
- Angolo principale di attacco χ , ha lo scopo di distribuire la forza di taglio su una lunghezza maggiore del tagliente, permettendo di asportare sezioni più elevate di truciolo;
- L'angolo di attacco secondario χ' , che ha lo scopo di impedire che il tagliente secondario strisci sulla superficie lavorata;
- L'angolo di inclinazione λ , che ha il compito di portare il truciolo fuori dalla zona di lavoro.

Ai precedenti elementi va aggiunto il raggio di raccordo tra i due taglienti, valore fondamentale ai fini della rugosità del pezzo lavorato. Tale circostanza è evidente tenendo in considerazione che il moto relativo dell'utensile rispetto al pezzo nasce dalla composizione di una rotazione e di una traslazione secondo un asse parallelo a quello di rotazione ed è pertanto elicoidale (il passo dell'elica coincide con l'avanzamento per giro dell'utensile).

Nella figura 28 si può notare l'estremità dell'utensile in tre posizioni successive, distanziate di un passo tra di loro, l'inviluppo delle tre posizioni determina la rugosità della superficie lavorata, di altezza massima R_t .



All'aumentare dell'avanzamento aumenterà la rugosità, in quanto

Figura 28: Effetto del raggio di punta sulla finitura del pezzo

aumenta la distanza tra una cresta e la successiva.

2.12 Usura degli utensili da taglio

Usura per abrasione: prodotto dallo scorrimento sulla superficie dell'utensile di particelle dure e abrasive presenti nei materiali in lavorazione, si manifesta con grande evidenza sullo spigolo tagliente e sul fianco.

Usura per adesione: originata dalle elevate pressioni di contatto e temperature che provocano delle microsaldature localizzate tra truciolo e petto, strappamento dei micro-giunti allo scorrimento del truciolo sul petto con conseguente asportazione di materiale.

Usura per diffusione: originata da processi di mutua solubilità fra alcuni componenti di due materiali a contatto ed è accelerata dalle elevate temperature. Si manifesta con migrazione di atomi attraverso l'interfaccia utensile truciolo, tipica nella lavorazione di acciai austenitici con carburi di W (passaggio di C da utensile a truciolo e di Fe da truciolo all'utensile).

Usura per ossidazione: causato dalla combinazione dell'ossigeno atmosferico con alcuni elementi dell'utensile (W e CO, formazione di ossidi facilmente asportabili dal truciolo).

Usura per fatica termomeccanica: provocata da sollecitazioni termo-meccaniche cicliche sull'utensile, presente nei processi caratterizzati da continue variazioni di temperatura e forza di taglio (taglio interrotto), formazione di cricche che conducono alla rapida frattura del tagliente.

Scheggiatura: asportazione di particelle metalliche in prossimità del tagliente per effetto di urti o pressioni eccessive.

Deformazione plastica: si manifesta quando la temperatura della zona di taglio raggiunge valori tali da causare una riduzione della tensione del materiale dell'utensile.

Usura sul fianco

Classica usura dell'utensile con qualsiasi tipo di materiale, è la tipologia di usura meno problematica, si verifica infatti in modo uniforme e nel tempo, in quanto il materiale in lavorazione usura il tagliente, similmente alla perdita dell'affilatura di una lama di coltello.

La rapida usura sul fianco si manifesta esattamente come normale usura. Per correggere questo problema è fondamentale scegliere una qualità dell'inserto più resistente all'usura, più dura o rivestita ed assicurarsi che il refrigerante venga applicato correttamente. La riduzione del tempo di taglio non rappresenterebbe una soluzione efficace e risulterebbe oltretutto controproducente.



Figura 29: Usura sul fianco

Cratere d'usura

Il cratere di usura si verifica spesso durante la lavorazione ad alta velocità di leghe ferrose o a base di titanio ed è un problema termico/chimico, in cui l'inserto si dissolve nei trucioli del pezzo in lavorazione, è causata dalla combinazione di diffusione e usura abrasiva. In presenza di ferro o titanio, il calore nel truciolo del pezzo in lavorazione consente ai componenti del metallo duro di dissolversi e diffondersi nel truciolo, creando un



Figura 30: Cratere d'usura

"cratere" in cima all'inserto. Tale cratere potrebbe diventare grande abbastanza da causare la scheggiatura o la deformazione del fianco dell'inserto o anche la rapida usura sul fianco.

Tagliente di riporto

Il tagliente di riporto si crea quando frammenti del pezzo in lavorazione si saldano per pressione al tagliente, per effetto dell'affinità chimica, dell'alta pressione e di una temperatura sufficientemente alta nella zona di taglio, il tagliente di riporto poi si rompe, portando con sé anche pezzi dell'inserto e causando quindi scheggiature e rapida usura sul fianco.

Questo tipo di problema si verifica generalmente con materiali duttili, basse velocità, leghe per alte temperature, acciaio inossidabile e materiali non ferrosi, nonché durante operazioni di filettatura

e foratura. Il tagliente di riporto si riconosce da alterazioni nella dimensione o nella finitura del pezzo e da materiale lucido visibile in cima o sul fianco del tagliente dell'inserto.

Il tagliente di riporto può essere controllato aumentando le velocità di taglio e gli avanzamenti, utilizzando inserti con rivestimento TiN (nitruro di titanio), applicando correttamente il refrigerante (ad esempio aumentandone la concentrazione) e scegliendo inserti con geometrie per sforzi di taglio ridotti e/o superfici più lisce.



Figura 31: Tagliente di riporto

Scheggiatura

La scheggiatura è causata dall'instabilità meccanica spesso creata da configurazioni non rigide, cuscinetti in cattive condizioni o mandrini usurati, zone indurite nei materiali in lavorazione o taglio interrotto. A volte si verifica in zone inaspettate, ad esempio durante la lavorazione di materiali da metallurgia delle polveri in cui la porosità dei componenti viene intenzionalmente mantenuta. Le inclusioni dure nella superficie del materiale ed i

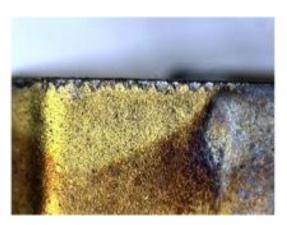


Figura 32: Scheggiatura sul tagliente

tagli interrotti causano sollecitazioni concentrate localmente e possono causare scheggiature. Quando si verifica questo tipo di problema, le scheggiature lungo il tagliente dell'inserto sono notevolmente visibili. Per impedire la scheggiatura occorre garantire la corretta impostazione in macchina, ridurre al minimo la flessione, utilizzare inserti arrotondati, controllare il tagliente di riporto e impiegare inserti di qualità più tenace e/o geometrie più robuste.

Rottura da shock termico

Fluttuazioni rapide della temperatura combinate a shock meccanici possono causare problemi termomeccanici. Lungo il tagliente dell'inserto si creano cricche da sollecitazione, che possono causare l'eventuale esposizione delle sezioni di metallo duro e causarne la scheggiatura.



Figura 33: Rottura da shock termico

I problemi termo-meccanici sono i più diffusi nella fresatura e, a volte, anche nelle operazioni di tornitura con taglio interrotto, di sfacciatura su lotti grandi e in operazioni con flusso di refrigerante intermittente. I danni causati da problemi termo-meccanici si riconoscono da cricche multiple perpendicolari al tagliente. È importante identificare questo tipo di problema prima che degeneri in scheggiatura.

È possibile prevenire i problemi termo-meccanici applicando correttamente il refrigerante, o meglio ancora eliminandolo completamente, impiegando una qualità maggiormente resistente alle sollecitazioni, utilizzando una geometria che genera meno calore oppure riducendo l'avanzamento.

Deformazione del tagliente

Il calore eccessivo combinato con il carico meccanico sono le cause principali della deformazione del tagliente; spesso si riscontra a velocità ed avanzamenti elevati oppure durante la lavorazione di acciaio temprato, superfici trattate e leghe per alte temperature.

Il calore eccessivo causa l'ammorbidimento del legante (cobalto) del metallo duro presente nell'inserto. Il carico meccanico si causa quando la



Figura 34: Deformazione del tagliente

pressione dell'inserto contro il pezzo in lavorazione deforma l'inserto o lo curva sulla punta, eventualmente rompendola o causando la rapida usura sul fianco.

Questo problema si riconosce dalla deformazione sul tagliente e dalle dimensioni finali del pezzo in lavorazione non corrispondenti alle specifiche richieste. È possibile controllare la deformazione del tagliente applicando correttamente il refrigerante, utilizzando una qualità maggiormente resistente all'usura con un minor contenuto di legante, riducendo velocità ed avanzamenti ed impiegando una geometria per sforzi di taglio ridotti.

Usura ad intaglio

L'usura ad intaglio si verifica quando la superficie abrasiva di un pezzo in lavorazione raschia o scheggia l'utensile lungo la profondità di taglio. Superfici colate, ossidate, autotemprate o irregolari possono causare intagli. Oltre all'abrasione, che rappresenta la causa principale, in quest'area possono verificarsi anche scheggiature. In un



Figura 35: Usura ad intaglio

inserto, lungo la profondità della linea di taglio sono spesso presenti sollecitazioni di trazione che lo rendono quindi sensibile agli impatti.

Questo problema si riconosce quando lungo la profondità di taglio dell'inserto iniziano a evidenziarsi usura ad intaglio e scheggiature. Per prevenire l'usura ad intaglio è importante variare la profondità di taglio in caso di passate multiple, utilizzare un utensile con un angolo di imbocco maggiore, aumentare le velocità di taglio durante la lavorazione di leghe per alte temperature, ridurre gli avanzamenti, aumentare con cautela l'arrotondamento nell'area della profondità di taglio e prevenire la formazione del tagliente di riporto, specialmente su acciaio inossidabile e leghe per alte temperature.

Frattura meccanica

La frattura meccanica di un inserto si verifica quando la forza imposta supera la resistenza intrinseca del tagliente.

Le azioni correttive efficaci sono: utilizzare una qualità maggiormente resistente alle sollecitazioni, scegliere inserti con geometria più robusta, utilizzare inserti di spessore maggiore, diminuire gli avanzamenti e/o ridurre la profondità di taglio, verificare la rigidità della configurazione e



Figura 36: Frattura meccanica

controllare il pezzo in lavorazione per rilevare eventuali inclusioni di parti dure o difficoltà all'ingresso.

3. Caso di studio

3.1 Introduzione al problema

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato la realizzazione di un lotto di componenti destinati al settore automotive (figura 37) mediante processi di tornitura, rispettando le esigenze del cliente e le specifiche imposte dal disegno tecnico.

Il lotto da realizzare è di 7000 unità, i pezzi verranno realizzati con materiale 39NiCrMo3 (commercialmente chiamato Rb2), un acciaio bonificato che dovrà essere successivamente zincato.

Lo studio riguarderà l'intero ciclo produttivo Figura 37: Rendering del particolare da realizzare toccando tutte le fasi dall'arrivo della richiesta di produzione in azienda alla spedizione al cliente.



In ordine verranno analizzati:

- analisi dei costi e dunque raccolta di dati relativi ai costi imputabili alla realizzazione del componente necessari per la realizzazione del preventivo per il cliente;
- ordine e gestione approvvigionamenti;
- creazione del disegno e del programma di lavorazione: dall'analisi del disegno si passa alla scelta del miglior ciclo di lavorazione e alla scelta della macchina su cui realizzare il componente, da lì la scrittura del part-program;
- scelta degli utensili in base al tipo di lavorazione e al materiale da lavorare;
- scelta dei parametri di taglio a seconda del materiale da lavorare con effetti sui tempi di lavorazione;
- produzione e controllo qualità: dall'attrezzaggio della macchina alla produzione e all'analisi dimensionale;
- usura inserti.

3.2 Analisi dei costi e preventivo

In questo capitolo si analizzeranno tutti i costi relativi alla produzione di uno specifico particolare, in modo tale da poter realizzare un preventivo per il cliente che ha presentato la richiesta.

La produzione del lotto inizia in seguito all'ordine ricevuto dal cliente.

L'ordine viene preceduto da una proposta formulata a seguito della richiesta del cliente, per tale motivo a monte della presentazione dell'offerta vi è un'attività di progettazione finalizzata a delineare un'offerta che sia rispondente alle esigenze del cliente.

Questo comporta la determinazione preventiva dei costi ai fini di completare l'offerta con il prezzo richiesto, quindi, il calcolo preventivo dei costi risulta finalizzato a determinare il prezzo da proporre.

In questo caso la commessa ha come oggetto la produzione di un lotto di un particolare dedicato al settore automotive.

In azienda la programmazione della produzione deve tenere conto delle commesse in corso di produzione, di quelle acquisite e di quelle che si spera di acquisire, le quali devono essere valutate in base alla loro possibilità di tradursi in ordini concreti, dato che le commesse possono avere una consistente durata, è necessario valutare l'impatto finanziario delle decisioni che vengono assunte. Il processo di gestione di una commessa si articola in diverse fasi:

- Predisposizione dell'offerta a seguito del contatto preso con il potenziale cliente. In questa
 fase è necessario comprendere cosa richiede il cliente, valutare l'impatto economico e
 finanziario dell'operazione nonché i tempi di realizzazione, tenendo conto delle capacità
 dei propri fornitori.
- La determinazione dei costi preventivi di commessa, per stabilire il prezzo di vendita, porta alla compilazione di un documento, il preventivo provvisorio di commessa o scheda di commessa.
- Accettazione dell'offerta (o rifiuto della stessa), può essere preceduta da trattative fra l'azienda e il cliente che portano a rivedere la progettazione, quindi, a modificare i costi ed il prezzo oppure a rivedere solo uno di tali elementi, dopo che il cliente accetta l'offerta, rilascia la conferma d'ordine.
- Programmazione dell'attività, dopo che l'offerta è stata accettata viene nominato un capo commessa che sarà responsabile dell'ottenimento della stessa e dovrà coordinare tutte le attività di produzione.
- Realizzazione esecutiva, che riguarda l'effettivo svolgimento delle operazioni che porteranno all'ottenimento dell'oggetto della commessa.
- Fase conclusiva, nella quale l'opera finale viene consegnata al cliente.

Il preventivo provvisorio di commessa è il documento più complesso da realizzare poiché deve contemplare vantaggi per entrambe le parti in questione: deve essere accettata dal cliente e vantaggiosa per il produttore.

Nel caso preso in esame il cliente ha richiesto la produzione di un lotto di 7000 pezzi di un particolare dispositivo di sicurezza destinato al settore automotive. Dopo aver ricevuto la richiesta e dopo aver valutato la fattibilità del lavoro, si procede a realizzare un preventivo prendendo in esame i costi relativi a:

- Materia prima;
- Energia elettrica;
- Manodopera;
- Utensili;
- Zincatura;
- Spedizione.

Per stimare il costo dell'intero lotto e del singolo pezzo è stato creato un foglio di calcolo dove riportare le informazioni necessarie. Tale strumento può essere utilizzato anche per la stima dei costi di altri particolari di cui si conoscono materiale e tempi di produzione.

3.2.1 Materia prima

Tabella 5: Costi materia prima

COSTO MATERIA PRIMA				
Materiale	39NiCrMo3			
Peso specifico	7,85 kg/dm³			
Diametro barra	30,00 mm			
Lunghezza pezzo	22,00 mm			
Troncatura	3,00 mm			
Lunghezza finale	25,00 mm			
Costo materia prima al metro	28,93 €/m	Costo materia prima al kg	5,20 €/kg	
sezione barra	706,50 mm ²	volume materia prima per un pezzo	0,02 dm ³	
volume barra 1m	0,71 dm³	peso materia prima utilizzata	0,14 kg	
peso barra 1m	5,55 kg	· ·		
Costo materia prima al kg	5,22 €/kg			
-	· -			
COSTO MATERIA PRIMA PER LOTTO	5062,75 €	COSTO MATERIA PRIMA PER LOTTO	5046,88 €	
COSTO MATERIA PRIMA PER PEZZO	0,723 €	COSTO MATERIA PRIMA PER PEZZO	0,721 €	

Per la stima del costo della materia prima (tabella 5) è necessario conoscere:

- Le dimensioni del pezzo di barra che utilizziamo per realizzare il singolo particolare;
- Il materiale utilizzato e il peso specifico;
- Costo del materiale.

Alla lunghezza effettiva del pezzo vengono sommati 3 mm, materiale in eccesso necessario per la fase di taglio (dato lo spessore del troncatore di 3 mm). A partire dai dati inseriti verranno calcolate le dimensioni e il peso dello spezzone di barra da utilizzare.

Il costo del materiale sul mercato è espresso in €/m o in €/kg e per questo nel foglio sono state inserite due colonne che permettono il calcolo del costo della materia prima partendo da entrambe le tipologie in cui è espresso tale costo.

Di conseguenza, per la produzione di questi particolari in Rb2 (39NiCrMo3) si andranno a spendere 0,72€ per ogni pezzo prodotto.

3.2.2 Energia elettrica

Tabella 6: Costi energia elettrica

COSTO ENERGIA ELETTRICA				
Lotto di produzione	7000 pezzi			
tempo produzione di un pezzo	180 s			
ore di lavoro giornaliere	20,00 h			
stima produzione giornaliera	400 pezzi/gior	no Giorni produzione per intero lotto	17,5 giorni	
Costo energia	0,16 €/kWh			
Wattaggio macchina	7,00 kWh			
COSTO ENERGIA ELETTRICA PER LOTTO	392 €			
COSTO ENERGIA ELETTRICA PER PEZZO	0,056 €			

Per quantificare i costi dovuti all'energia elettrica (tabella 6) è necessario conoscere:

- La quantità del lotto da produrre;
- Il tempo di lavorazione;
- Ore di lavoro giornaliere;
- Costo energia elettrica;
- Wattaggio della macchina.

Per quanto riguarda il tempo di lavorazione, si ottiene una stima tramite il software CAM utilizzato per creare il programma delle istruzioni da dare alla macchina, con i primi tre dati elencati si può stimare la produzione giornaliera e vedere quanti giorni servono per produrre l'intero lotto.

Dalla conoscenza dei giorni necessari per la produzione possiamo ricavare il costo dell'energia elettrica per l'intero lotto e per il singolo pezzo.

Ne risulta che per la produzione dell'intero lotto occorrono 392€, mentre per il singolo pezzo 0,056€.

3.2.3 Manodopera

Per i costi di manodopera (tabella 7) si considerano:

- costi di attrezzaggio;
- costi di manodopera giornalieri.

Tabella 7: Costi manodopera

COSTO MANODOPERA	
Costo attrezzaggio macchina	300 €
Stima dei costi di manodopera giornalieri	120,00 €/giorno
TOTALE COSTO MANODOPERA	2400,00 €
COSTO MANODOPEA PER PEZZO	0,343 €/pezzo

Nei costi di attrezzaggio sono inclusi i costi di preparazione del programma per la macchina e il costo relativo al montaggio degli utensili. Per i costi di manodopera giornalieri si considerano i salari di tutti i reparti (macchine, lavaggio, uffici) ripartiti per ogni macchina funzionante.

In questo caso si ha una spesa totale di manodopera di 2400€, mentre per ogni pezzo occorrono 0,34€.

3.2.4 Utensili

Tabella 8: Costo per inserto

In tabella 8 sono riportati i costi di utensili e inserti che verranno utilizzati per la realizzazione dei pezzi richiesti. Si è presa in considerazione l'idea di acquistare 5 frese a candela e 5 frese a disco essendo queste in grado di

TIPOLOGIA UTENSILI	COSTO UTENSILI	COSTO TOTALE
SGROSSATORE	10,00€	100,00€
FINITORE	12,00€	120,00€
BARENO	7,00€	70,00€
FILETTATORE	8,00€	80,00€
TRONCATORE	14,00€	140,00€
FRESA A CANDELA D16	64,00€	320,00€
FRESA A DISCO	162,50€	812,50€
PUNTA PER FORO D14	50,00€	150,00€

operare per un totale di 1300-1500 pezzi ciascuna, mentre per le punte si stima di doverne comprare 3. Per gli altri inserti si valuta l'utilizzo di 10 inserti per tipologia essendo questi utilizzabili su due facce ad eccezione del filettatore che ha tre facce utili.

Avendo stimato una produzione di 17,5 giorni, si considera il cambio di ogni inserto ogni due giorni,

COSTO UTENSILI PER PEZZO

a meno del filettatore, che essendo Tabella 9: Costo utensili soggetto ad usura più velocemente rispetto agli altri inserti verrà sostituito più volte.

COSTO UTENSILI COSTO UTENSILI 1792.50

Il costo relativo agli utensili sarà 1892,50€.

0,256 €/pezzo

3.2.5 Zincatura e spedizione

Gli ultimi costi da tenere in considerazione sono quelli inerenti alla zincatura e alla spedizione (tabella 10), entrambi espressi in €/kg.

Tabella 10: Costi zincatura e spedizione

ZINCATURA		
costo zincatura al kg	1,125	€/kg
COSTO ZINCAURA	480,38 €	
COSTO ZINCATURA PER PEZZO	0,069 €,	/pezzo

COSTI DI SPEDIZIONE		
costo spedizione al kg	0,25	€/kg
COSTO SPEDIZIONE	106,75	
COSTO SPEDIZIONE PER PEZZO	0,015 €	:/pezzo

Questi ultimi due costi sono quelli meno impattanti per la realizzazione del lotto commissionato.

3.2.6 Costo finale

Con l'aiuto del foglio di calcolo si ottengono i costi relativi alla produzione dell'intero lotto e il costo da attribuire alla produzione del singolo pezzo (tabella 11).

Tabella 11: Costo totale

COSTO TOTALE PER LOTTO	COSTO PER SINGOLO PEZZO
10.234,38 €	1,46 €

Una volta trovato il costo che l'azienda dovrà sostenere per soddisfare questa richiesta, si aggiunge un margine di profitto, in modo tale da avere il prezzo di vendita dei pezzi richiesti, di 1€ per ogni pezzo in questo caso. I pezzi saranno venduti per 2,46€ l'uno.

3.3 Ordine e gestione approvvigionamenti

Nella torneria in cui è stato fatto lo studio si gestisce nello stesso tempo la realizzazione di diversi articoli di materiali differenti. Anche i lotti richiesti sono estremamente variabili, si passa da ordini di 100 pezzi a ordini di 100000 pezzi.

Avere in magazzino scorte di materiale comporterebbe avere notevoli perdite a livello economico data l'enorme quantità di materie prime diverse (acciaio, acciaio inossidabile, ottone, rame, alluminio, ecc.) che verrebbero acquistate senza conoscere con esattezza quando verranno utilizzate.

È molto difficile in questo caso fare previsioni dei quantitativi di materie prime necessarie alla produzione data la variabilità dei lotti di produzione e dei materiali che si possono utilizzare.

L'azienda acquista le materie dopo la ricezione dell'ordine da parte del cliente, in quanto riesce a ricevere il materiale in breve tempo (1 o 2 giorni).

Avere un lead time basso è possibile grazie a:

• Approvvigionamento locale

Approvvigionarsi localmente ha senza dubbi i suoi vantaggi.

Innanzitutto, è più facile determinare se i materiali sono di provenienza etica e sostenibile. Conoscendo localmente il fornitore è più immediato seguire le sue logiche di approvvigionamento e di produzione, oltre al fatto che è possibile richiedere specifiche ispezioni di controllo senza perdere giornate in spostamenti.

Oltre a questo vantaggio, occorre tener presente la facilità nel trasporto in ingresso dei materiali, elemento che comporta meno rischio di trasporto e di conseguenza meno ritardi di consegna. In molte circostanze, quindi, trovare un fornitore locale che riesca a consegnare velocemente, anche in situazioni estremamente dinamiche di produzione, resta un vantaggio indiscutibile.

• Elenco diversificato di fonti per le materie prime

L'approvvigionamento esclusivo può comportare meno costi, ma comporta la dipendenza da un'unica fonte. Se ci fossero carenze e problemi che riguardino il fornitore, ci si potrebbe trovare nell'impossibilità di superarli con il rischio di bloccare l'approvvigionamento e di conseguenza la produzione. Se invece l'approvvigionamento di materie prime fosse diversificato, sicuramente il rischio di fornitura si abbasserebbe consentendo l'approvvigionamento anche in situazioni critiche di mercato.

3.3.1 Certificazioni dei materiali

È di fondamentale importanza la presenza delle certificazioni dei materiali acquistati. Questi certificati vengono richiesti dai clienti per garantire la rintracciabilità del materiale in caso di problemi.

La normativa che definisce i documenti da fornire all'acquirente, in conformità con i requisiti dell'ordine, per la fornitura di tutti i prodotti metallici è la norma europea *EN 10204*.

Questa normativa definisce quattro differenti tipologie di certificati:

- Certificato 2.1: dichiarazione di conformità del materiale da parte del costruttore priva di dati riguardanti test di laboratorio (analisi chimica della colata e prove meccaniche);
- Certificato 2.2 (attestato di controllo): il materiale viene definito conforme sulla base di test eseguiti su prodotto della stessa tipologia (controllo non specifico);
- Certificato 3.1 (certificato di collaudo): dichiarazione di conformità del materiale da parte
 del costruttore sulla base di test eseguiti su campioni della stessa colata, dello stesso lotto.
 Il documento è rilasciato dal responsabile qualità interno all'azienda (controllo specifico);
- *Certificato 3.2* (verbale di collaudo): dichiarazione di conformità del costruttore sulla base di test eseguiti su campioni di colata e lotto verificati e certificati da un ente terzo.

La tipologia più richiesta è la terza (modello *certificato 3.1*). Lo scopo di questo certificato è garantire la completa rintracciabilità dei materiali.

Un'ulteriore analisi per definire la correttezza e completezza di un *certificato 3.1* riguarda la verifica di alcuni requisiti formali richiesti:

- Indicazione dell'acciaieria di produzione;
- Indicazione dell'acquirente;
- Tipologia del materiale e relativa sigla;
- Identificazione della colata e del lotto;
- Composizione chimica della colata;
- Test di resistenza (elasticità, rottura, durezza);
- Norme di riferimento dimensionali.

La corretta emissione di questa certificazione prevede completa trasparenza nei vari passaggi tra produttore e utilizzatore finale.

La richiesta del *EN 10204 3.1* deve essere necessariamente riportata in fase d'ordine per permettere all'operatore, durante la preparazione, di dare evidenza del controllo delle colate fornite all'acquirente (in questo modo non ci sono incongruenze tra il materiale fisicamente consegnato al cliente e il relativo certificato emesso).

L'emissione di certificati è quindi una fase delicata e cruciale a completamento della fornitura e deve essere effettuata secondo regole e requisiti ben definiti.

In figura 38 viene riportato il certificato il certificato 3.1 del materiale acquistato per la produzione.

Azienda con sistema di gestione certificato da IGQ secondo UNI EN ISO 9001:2015 The Company's Quality Management Syste is certified by IGQ according to UNI EN ISO 9001 2015 CERTIFICATO DI CONTROLLO Inspection Certif N. 059003 Data 7/04/2022 Secondo According to EN 10204:2004 CLIENTE - Customer ORDINE - Order D.d.T. - Delivery note 7/12/2021 N. 04442/13 N. Data Data 7/04/2022 PESO KG 9.830,00 Odp. Nr. 2021/A/82917 TOLLERANZA ISO286-2 h11 + 0,000 - 0,130 mm LUNG.BARRE 3.000 - 3.100 mm QUALITA' - Grade EN 10277-5:2008 39NiCrMo3 +Pb +QT+SH NORMA 1.6510 +Pb Sigla RODACCIAI RB2PB PROFILO - Shape TONDO mm 30,00 BONIFICATO A INDUZIONE ESECUZIONE - Form of delivery PELATO F. R. F. F. K. ANALISI CHIMICA DI COLATA - Cast analysis % by mass Si Cr Mo AI 0,410 0,750 0,200 0,0290 0,010 0,840 0,720 0,220 0,170 0,025 CARATTERISTICHE MECCANICHE ALLO STATO DI FORNITURA Mechanical properties of the delivered material Rilev. Min Max Carico di rottura Rm (MPa) 1027,0 980 Limite Elastico 905,0 Rp (0,2) (MPa) Allungamento a rottura A 5 (%) 16,2 Durezza HBW 310,0 308 355 Strizione a rottura Z (%) 56.1 DIMENSIONE GRANO AUSTENITICO - Austenitic grain size Valore 5 ISO 643:19-ASTM E112 TENORE INCLUSIONALE - Inclusion Content Secondo DIN 50602 (Stahl Eisen Pruefbratt 1570 71) Metodo K: indice totale (ossidi) K = 35

Figura 38: Certificato materiale 3.1 di un acciaio 39NiCrMo3

Qualità superficiale : "Classe 3" secondo EN 10277:2018

NOTE - Notes

3.4 Creazione disegno

Dopo aver ricevuto l'ordine da parte del cliente, si realizza il disegno del particolare da produrre con un software CAD, questo servirà per creare poi il programma di lavorazione da caricare sul centro di tornitura CNC. Il disegno avrà particolare importanza anche per gli operatori a bordo macchina che grazie ad esso potranno controllare le quote dei pezzi realizzati per vedere se sono conformi o meno.

Il software CAD utilizzato è NX (© Siemens).

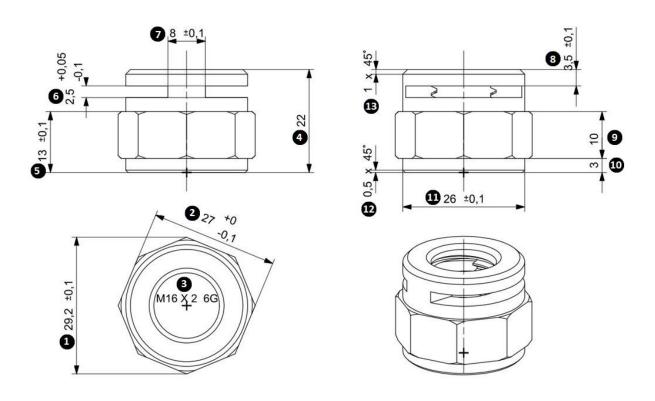


Figura 39: Messa in tavola del particolare

Il disegno può essere considerato il punto di partenza per la stesura del ciclo di lavorazione. Il primo passo del ciclo è l'analisi dimensionale e delle tolleranze per poi proseguire con la scelta delle dimensioni delle macchine e delle attrezzature da impiegare.

3.5 Informazioni di partenza

Dimensioni

Le dimensioni influenzano la scelta della macchina. In azienda si hanno a disposizione diversi centri di tornitura e per lavorare questi particolari si sceglierà un tornio automatizzato con contromandrino oppure un tornio automatizzato con due torrette e due mandrini.

Tolleranze dimensionali e di forma

Influenzano la scelta del processo e delle macchine.

La tornitura permette di ottenere:

- maggiore precisione nella lavorazione del pezzo;
- possibilità di lavorare pezzi molto complessi tramite l'utilizzo del CNC;
- riduzione degli errori dell'operatore.

Qualità superficiale

Al fine di avere buone finiture superficiali:

- aumento della velocità di taglio;
- scelta della geometria dell'inserto (angoli di spoglia superiore neutri, positivi o negativi e angoli di spoglia inferiore positivi);
- si selezionano inserti di determinate qualità;
- si seleziona un raggio di punta più piccolo nel caso di forti vibrazioni.

Materiale

Il materiale lavorato influisce sulla scelta dei parametri di taglio e sulla durata degli utensili. Nel caso di studio si tratta di acciaio bonificato (39NiCrMo3).

Tipo di greggio

Il materiale di partenza per queste lavorazioni è sotto forma di barra. La tornitura da barra è una soluzione adottata per produzioni di serie, per andare a ridurre i tempi di caricamento del grezzo. Nel pratico, una barra di lunghezza pari a 3 m viene progressivamente spinta avanti da un apparato, quale *caricatore a barre*, rilasciando un pezzo finito di dimensioni leggermente inferiori al grezzo iniziale.

Quantità di pezzi da produrre

Questo dato è importante per la valutazione dei costi e per la scelta delle macchine sulla quale lavorare, a tal proposito verrà analizzata la differenza tra l'utilizzo di due macchine mostrando vantaggi e svantaggi delle due.

Disponibilità di mezzi e macchine

La stesura del ciclo viene fatta sfruttando le attrezzature già presenti in azienda. Per la produzione del lotto studiato non è stato preso in considerazione l'acquisto di nuovi macchinari.

L'investimento per centri di tornitura CNC sarebbe troppo elevato per una produzione che copre solo quattro settimane lavorative.

3.6 Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza delle fasi

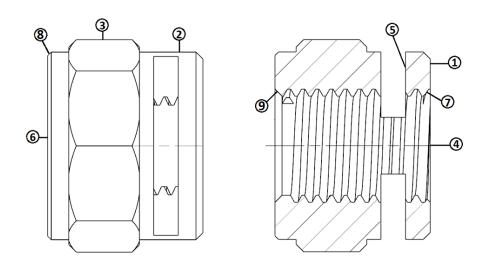


Figura 40: Superfici da lavorare

Si individuano le superfici da lavorare (figura 40) in base a forma, posizione e finitura superficiale e si ipotizzano possibili processi di lavorazione da usare.

Tabella 12: Superfici da lavorare

N. SUPERFICIE	TIPOLOGIA	PROCESSI POSSIBILI
1	Piana ortogonale all'asse	Tornitura
2	Cilindriche esterne coassiali	Tornitura
3	Piana	Fresatura
4	Cilindrica interna	Foratura, barenatura e
		filettatura
5	Piana	Fresatura
6	Piana ortogonale all'asse	Tornitura
7, 8, 9	Superfici inclinate coassiali	Tornitura

Si fissano i vincoli di precedenza tra le lavorazioni in modo tale da eseguire per prime quelle che sono indispensabili per il corretto svolgimento delle successive.

Nello specifico le priorità alle quali si fanno riferimento sono di tipo:

- Economico;
- Dimensionali;

Tecnologiche.

Nel caso trattato per minimizzare il numero di cambi degli utensili si lavorano in successione le superfici 1 e 2, rispettivamente con lo stesso utensile. Altra accortezza è quella di eseguire la fresatura delle due tasche laterali solo dopo aver forato il pezzo: in questo modo la fresa trova meno materiale da asportare con conseguente avanzamento più rapido e usura meno veloce.

La fresatura delle superfici 3 è possibile solo dopo aver lavorato la 2: in caso contrario da una barra cilindrica otterremo un pezzo ottagonale, andare poi a lavorare la superficie 2 sarebbe molto complesso dovendo gestire un taglio interrotto.

Per quanto riguarda la barenatura della superficie 4 è svolta solo dopo aver eseguito il foro e la fresatura laterale in modo tale da poter pulire la superficie da eventuali bave precedentemente lasciate. Solo dopo aver barenato l'interno del pezzo è possibile andare a creare la filettatura.

La lavorazione della superficie 7 (lo smusso tra la testa del pezzo e il foro) è possibile solo dopo aver forato il pezzo, ma non dopo aver troncato il pezzo e averlo passato al contromadrino, mentre la lavorazione della superficie 9 è possibile solo a seguito dello scambio al contromandrino.

Infine, anche lo smusso in fondo al pezzo (superficie 8) potrà essere eseguito soltanto dopo aver tagliato il pezzo (quindi al contromandrino) ed è fatto insieme alla sfacciatura della superficie 6.

3.7 Creazione cicli alternativi

Per la realizzazione dei particolari commissionati si possono utilizzare macchine differenti a cui corrispondono cicli di lavorazione diversi. Le macchine a disposizione in azienda adatte alla lavorazione di questa tipologia di prodotti sono principalmente di due tipologie:

- centro di tornitura con utensili motorizzati in torretta e contromandrino;
- centro di tornitura con due torrette e utensili motorizzati nelle torrette.

La macchina appartenente alla prima tipologia è un centro di tornitura Nlx2000 (© DMG MORI) ad alta rigidità precisione, in grado di gestire in modo flessibile varie tipologie di pezzi. Questo modello presenta il BMT (Built-in Motor) che consente di raggiungere funzionalità di tornitura



Figura 41: Mandrino e torretta di un NIx 2000

potenti e prestazioni di fresatura eccezionali.

Per la seconda tipologia descritta, si fa riferimento a un centro di tornitura WT150 (©Nakamura-Tome Precision Industry Co., LTD.) tornio ad alta velocità e alta rigidità, con motorizzati integrati. a presenza delle due torrette consente inoltre di lavorare due pezzi contemporaneamente

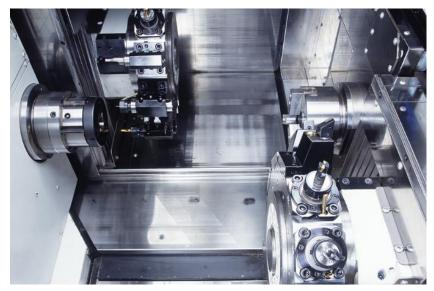


Figura 42: Mandrino, contromandrino e torrette di un WT150

andando a ridurre il tempo ciclo.

Ciclo di lavorazione su Nlx2000

Tabella 13: Ciclo di lavorazione su Nlx2000

N.FASE	SOTTOFASE	OPERAZIONE	MACCHINA
		Sfacciatura 1	
		Sgrossatura 2	
		Finitura2	
		Fresatura 3	
	SOTTOFASE 1	Foratura 4	
		Fresatura tasche 5	
FASE 10		Smussatura 7	CENTRO DI TORITURA CON UNA TORRETTA
TASE 10		Barenatura 4	
		Troncatura 6	
	CAMBIO POSIZIONAMENTO		-
	(CONTRON	/ANDRINO)	
		Smussatura 8	
	SOTTOFASE 2	Sfacciatura 6	
		Smussatura 9	
		Filettatura 4	

Con il ciclo descritto si riesce a lavorare il pezzo rispettando i vincoli di precedenza imposti. Il cambio utensili è stato minimizzato, la sfacciatura e la sgrossatura vengono lavorate con lo stesso utensile e poste una di seguito all'altra.

Lo stesso discorso vale per la smussatura 7 e la barenatura del foro 4 (anch'esse eseguite con lo stesso bareno) e per la smussatura e la sfacciatura nella seconda sottofase realizzate con lo stesso utensile.

Spostare delle operazioni prive di vincoli come la fresatura delle superfici 3 nella seconda sottofase, non comporterebbe aumenti o riduzioni di tempo perché non può avvenire la produzione del pezzo seguente fino a quando la torretta non termina l'operazione al contromandrino.

Ciclo di lavorazione su Wt150

Tabella 14: Ciclo di lavorazione su Wt150

N.FASE	SOTTOFASE	OPERAZIONE	MACCHINA
		Sfacciatura 1	
		Sgrossatura 2	
		Finitura2	
		Foratura 4	
	COTTOEACE 1	Fresatura tasche 5	
	SOTTOFASE 1	Smussatura 7	CENTRO DI TORITURA CON DUE TORRETTE
		Barenatura 4	
FASE 10		Troncatura 6	
TASE 10	CAMBIO POSIZIONAMENTO (CONTROMANDRINO)		CON DOL TORRETTE
	SOTTOFASE 2	Fresatura 3	
		Smussatura 8	
		Sfacciatura 6	
		Smussatura 9	
		Filettatura 4	

Rispetto al centro di tornitura precedentemente descritto, in questo caso si può spostare l'operazione di fresatura nella seconda sottofase. Le altre operazioni rimangono invariate.

Il processo più dispendioso in termini di tempo nonché più complesso è la fresatura delle tasche laterali; risulta conveniente spostare questa operazione nella seconda sottofase in modo da bilanciare i tempi delle due anche se questa cosa risulta impossibile: il pezzo che dovrebbe essere lavorato al contrario rispetto a come è stato impostato, quando viene scambiato, la pinza del contromandrino andrebbe ad agganciare il pezzo nella parte cilindrica inferiore che è troppo corta per garantire un buon afferraggio e quindi stabilità durante la fresatura. Il pezzo altrimenti dovrebbe essere agganciato nella parte intermedia ottagonale, ma nemmeno in questo caso garantirebbe una buona presa data la forma irregolare del pezzo e l'elevata forza della fresa esercitata potrebbe storcere quest'ultimo. Inoltre, anche la forza di chiusura della pinza potrebbe deformare la zona intermedia ottagonale.

Con questa macchina si riescono a lavorare 2 pezzi contemporaneamente: mentre la seconda torretta esegue le ultime operazioni sul pezzo montato sul contromandrino, la prima inizia a lavorare un pezzo nuovo sul mandrino. La soluzione ideale sarebbe stata quella di avere tempi simili tra le due sottofasi, cosa impossibile in questo caso perché si avrebbe il mandrino sempre in funzione e il contromandrino fermo per molto tempo in attesa di ricevere il pezzo da lavorare.

3.8 Scelta della macchina e creazione part program

La scelta della macchina ricade sulla prima soluzione, anche se la seconda permette di risparmiare tempo dato che le due sottofasi sono sbilanciate. Si preferisce usare il centro di lavoro con due torrette per la produzione di pezzi le cui sottofasi sono bilanciate e per volumi di produzione più elevati rispetto a quello studiato.

Il cuore della *CNC* è il part program, codice che descrive tutte le movimentazioni e le lavorazioni che la macchina deve effettuare durante il funzionamento. Per la generazione del part program è fondamentale la conoscenza del tipo di macchina utilizzata dato che a seconda del modello si hanno configurazioni differenti.

Il G-Code è il linguaggio di programmazione utilizzato per comandare le macchine a controllo numerico (spesso chiamato semplicemente "linguaggio di programmazione G"). I file creati hanno estensione ".gcode" e sono dei semplici file di testo contenenti le istruzioni da inviare alla macchina utensile, ovvero istruzioni geometriche messe in sequenza una dopo l'altra. Tali istruzioni definiscono i movimenti che la macchina deve eseguire per realizzare una lavorazione meccanica. Per la generazione del codice ci si avvale dell'aiuto di software CAM, con il quale si specificano le tipologie di lavorazioni da fare e i parametri di taglio: in automatico il software restituisce il part program.

Nel caso in studio il software utilizzato è MORI-APL (© DMG MORI).

L'interfaccia principale (figura 43) permette di selezionare le principali operazioni di tornitura.

Si definiscono le operazioni una per volta e ad ogni lavorazione corrisponderà un utensile selezionato da un catalogo base presente nel software. Nel caso di utensili personalizzati il programma consente anche di andare a crearne di nuovi.

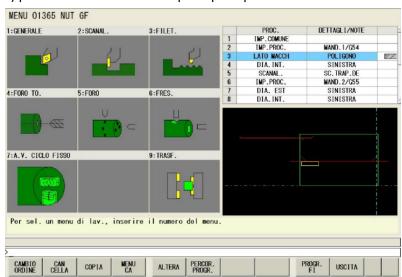
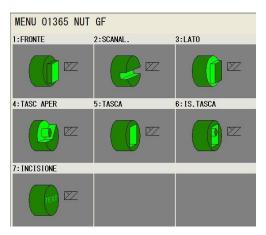


Figura 43: Interfaccia principale del software CAM

Il programma ha anche un'interfaccia dedicata alle fresature (figura 45) e anche in questo caso si ha un catalogo di utensili. Con riferimento al particolare in studio, è stato necessario generare la fresa a disco usata per la realizzazione delle tasche laterali.



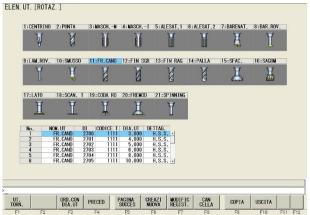


Figura 45: Interfaccia dedicata alla fresatura

Figura 44: Catalogo utensili su CAM

Per ogni operazione inserita il programma va a generare il percorso utensile ovvero un codice fatto di coordinate che guida gli utensili ad ogni lavorazione. Per ogni lavorazione poi il software consente di verificare se sono state eseguite correttamente tramite una simulazione.

La conoscenza del codice utilizzato per questo tipo di programmazione è comunque vantaggiosa: permette infatti di poter fare eventuali modifiche al programma anche a bordo macchina, senza il bisogno di dover tornare al software e si possono eliminare movimenti superflui che aumentano di diversi secondi il tempo di ciclo (ad esempio ad ogni cambio utensile il software comanda alla torretta di tornare alla posizione originaria).

Nella lavorazione di un pezzo come questo che ha diversi cambi utensili si perdono diversi secondi per fare tutti questi spostamenti, per cui una modifica del codice permette il cambio utensile a pochi centimetri dalla barra in lavorazione, tenendosi sempre ad una distanza di sicurezza.

Altra accortezza per il miglioramento delle tempistiche è relativa allo scarico del pezzo: in questo caso il pezzo non viene scaricato una volta finito il ciclo di lavorazione, ma poco prima del passaggio del nuovo pezzo alla seconda sottofase, nel passaggio dal primo al secondo posizionamento. Il contromandrino, infatti, si avvicina al mandrino per la presa del pezzo, con quest'ultimo già lavorato

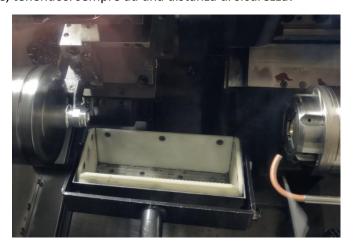
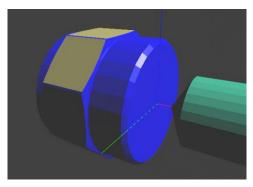


Figura 46: Scarico pezzo

che sarà scaricato nell'apposito contenitore, posizionato davanti al mandrino, poco prima del taglio del pezzo. Con questa soluzione il contromandrino con un solo movimento scarica prima il pezzo lavorato e poi prende quello grezzo.

Il programma genera la simulazione delle seguenti lavorazioni:

- Sfacciatura frontale;
- Sgrossatura;
- Finitura;
- Fresatura laterale;
- Foratura;
- Fresatura tasche;
- Barenatura;
- Troncatura;
- Riposizionamento;
- Sfacciatura;
- Smussatura posteriore;
- Filettatura.



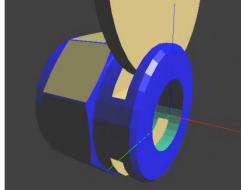


Figura 47: Frame tratti dalla simulazione

Una volta controllato che la simulazione sia eseguita correttamente, si estrae il part program da caricare successivamente al centro di tornitura.

```
G54
G18G80G97G99M46
G0T404(VCMT R0.4)
M8(REFRIGERANTE ON)
M3S1500G97(SPINDLE 1 GIRA A 1500RPM IN SENSO ORARIO M3)
G0Z2.X23.6
G1Z0F.14
X26.Z-1.634
Z-9.162
X28.947Z-9.198
G3X30.Z-9.8R.8
G1Z-19.
G3X28.025Z-19.736R.8
G1X26.Z-19.795
Z-25.9
X32.
G0Z3.
M9(REFRIGERANTE OFF)
G0G30U0W0(REF POINT PER CAMBIO UTENSILE)
```

Figura 48: Frammento di part program

3.9 Scelta utensili

Esistono molti parametri da considerare nella scelta di un inserto di tornitura. Si deve valutare attentamente la geometria dell'inserto, qualità, forma (angolo di punta), dimensione, raggio di punta e angolo di registrazione (attacco) per ottenere risultati positivi in termini di controllo truciolo e prestazioni di lavorazione.

Gli step nella selezione degli inserti sono:

- Selezionare la geometria dell'inserto in base all'operazione selezionata;
- Selezionare un inserto con il più grande angolo di punta possibile;
- Selezionare le dimensioni dell'inserto in base alla profondità di taglio;
- Per la resistenza dell'inserto, selezionare un inserto con il più grande raggio di punta possibile;
- In caso di tendenza alle vibrazioni, selezionare un raggio di punta più piccolo.

La selezione della qualità dell'inserto viene effettuata principalmente in base a:

- Materiale del componente (ISO P, M, K, N, S, H);
- Tipo di metodo (finitura, lavorazione media, sgrossatura);
- Condizioni di lavorazione (buone, medie, difficili).

Geometria e qualità dell'inserto sono complementari. La tenacità del materiale, ad esempio, può compensare la mancanza di resistenza di una geometria.

La forma dell'inserto dovrebbe essere selezionata considerando l'accessibilità dell'angolo di registrazione richiesta dall'utensile. Per ottimizzare la resistenza e l'affidabilità dell'inserto è opportuno scegliere il massimo angolo di punta possibile. Tuttavia, ciò deve essere bilanciato con le variazioni di taglio da eseguire.

Un angolo di punta grande garantisce robustezza, ma richiede maggiore potenza alla macchina e aumenta la tendenza alle vibrazioni.

Un angolo di punta piccolo è più debole e riduce l'impegno del tagliente, fattori che rendono l'inserto più sensibile agli effetti del calore.

In generale, un angolo di punta grande garantisce:

- Tagliente più robusto;
- Velocità di avanzamento superiore;
- Maggiore forza di taglio;
- Maggiori vibrazioni.

Un angolo di punta piccolo, invece, garantisce:

- Accessibilità migliore;
- Minori vibrazioni;
- Minore forza di taglio;
- Tagliente più debole.

Il raggio di punta (*RE*) è un fattore di grande importanza nelle operazioni di tornitura. Sono disponibili inserti con raggi di punta di diverse misure. La scelta dipende da profondità di taglio e avanzamento e incide sulla finitura superficiale, truciolabilità e resistenza dell'inserto.

Alla luce di queste considerazioni si possono riassumere i vantaggi dei diversi tipi di raggi di punit come segue. Un raggio di punta piccolo:

- È ideale per piccole profondità di taglio;
- Riduce le vibrazioni;
- Presenta un tagliente debole;
- Garantisce truciolabilità migliore.

Un raggio di punta grande:

- È ideale per avanzamenti elevati;
- Usato per grandi profondità di taglio;
- Presenta elevata sicurezza del tagliente;
- Maggiori forze radiali.

Per le lavorazioni trattate sono stati scelti inserti in metallo duro essendo questo usato per realizzare inserti per le lavorazioni per asportazione di truciolo (tornitura, fresatura, foratura, maschiatura) o per processi nel quale viene richiesto un materiale di elevata durezza (taglio, frantumazione, etc.). Gli utensili in metallo duro sono più duri di quelli in acciaio rapido e super rapido (HV 1500 rispetto a HV 1000), resistono a temperature di taglio più elevate (1000 °C rispetto a 600 °C) e permettono quindi velocità di lavorazione superiori.

Per le prime due lavorazioni da eseguire, la sfacciatura e la sgrossatura, è stato scelto un inserto

WNMG (vedi Figura 8): la particolare forma di questo inserto consente di avere un angolo di punta di 80° e un raggio di raccordo di 0.8 mm. Questo angolo di punta irrobustisce il tagliente e permette di avere avanzamenti elevati, con il contro di avere un aumento delle vibrazioni. Essendo usato per fare sgrossature, questo aspetto risulta perciò meno rilevante dato che non interessa la finitura superficiale. La superficie difatti verrà rilavorata con un inserto per la finitura.

Infine, questa tipologia presenta anche tre taglienti. La scelta delle dimensioni degli inserti dipende anche dai portainserti. Nello specifico, l'azienda possiede già i portainserti necessari che sono stati utilizzati senza acquistarne di nuovi.

Per la scelta dell'inserto di finitura invece, si è scelto un inserto *VBMT* (vedi Figura 8) che ha un raggio di punta pari a 0,4 mm e un angolo di 35°. Questa tipologia presenta due taglienti, avendo un raggio e un

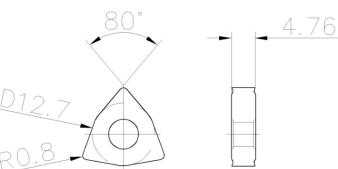


Figura 50: Geometria di un WNMG



Figura 49: Inserto e portainserto WNMG

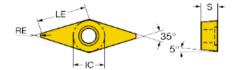


Figura 51: Geometria di un VBMT

angolo di punta così piccoli da compromettere la resistenza. Si ricorda però che questo inserto è usato per la finitura e che la quantità di materiale da asportare è minima, quindi, il raggio e l'angolo permetteranno di ridurre le vibrazioni in campo e di ottenere una buona finitura superficiale.





Figura 52: Inserto e portainserti VBMT

Nel caso del bareno si sceglie un inserto con raggio di punta di 0,4mm adatto alle piccole asportazioni ed un angolo di punta di 80° che conferisce resistenza al tagliente. Il bareno infatti serve per aumentare le dimensioni del foro, per pulire la parte interna del pezzo da eventuali bave e per la realizzazione degli smussi alle estremità del foro; per questo motivo, l'inserto CCMT (vedi figura 8)

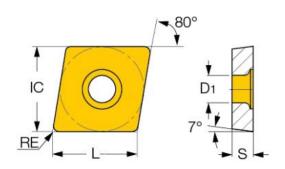


Figura 53: Geometria di un CCMT

viene scelto, anche in base al tipo di portainserti. Le dimensioni del bareno e dell'inserto sono ovviamente ridotte, devono essere in grado di entrare all'interno del foro senza urtare il pezzo. Per questo si usa un bareno con uno stelo di diametro 10 mm.





Figura 54: CCMT e relativo portainserti

Per la realizzazione della filettatura del pezzo ci sono due possibilità: utilizzare un maschio oppure un utensile ad inserto. La scelta in questo caso ricade sull'utensile con inserto: dovendo realizzare una filettatura M16x2 il maschio di cui si necessità sarà di dimensioni importanti e di conseguenza anche la spesa per l'acquisto dell'utensile sarà importante (circa 120€ utilizzabile su circa 1000 pezzi), l'inserto per filettare ha invece un costo molto inferiore (15/20€ e riesce a lavorare 400/500 pezzi per ognuno dei tre taglienti). Per la produzione del lotto preso in esame essendo già in possesso del portainserti necessario, risulta più conveniente l'uso della seconda opzione.





Figura 55: Inserto per filettature e relativo portainserti

Per tagliare il pezzo al completamento della prima sottofase si usa un troncatore con inserto di spessore pari a 3 mm. Nel caso preso in esame non insorgono problemi di flessione del pezzo durante il taglio, infatti prima di essere tagliata, la barra viene agganciata dal contromandrino. La scelta dello spessore dell'inserto va fatta in base allo spessore e al tipo di materiale da tagliare. Lo spessore di materiale da tagliare sarà di soli 6 mm, in quanto il pezzo sarà forato più del dovuto, andremo così solo a tagliare la parte restante. Un inserto di 3 mm consente di lavorare molti pezzi senza problemi, tale inserto può continuare ad essere usato anche con piccoli segni di usura, la superficie lavorata infatti dovrà essere comunque sfacciata, la finitura superficiale lasciata dal troncatore non sarà quindi importante.

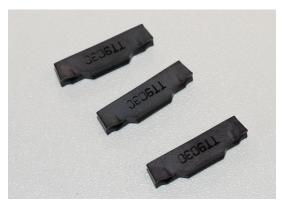




Figura 56: Troncatore e relativo portainserti

Per la realizzazione del foro si usa una punta di metallo duro con diametro di 14mm, dovendo realizzare una filettatura M16x2 il diametro di nocciolo deve essere compreso tra un valore minimo di 13,835 mm e un massimo di 14,210 mm.

Le punte in metallo duro sono molto resistenti, permettono di lavorare con velocità di avanzamento elevate e garantiscono un'ottima qualità del foro.



Figura 57: Punta D14

Infine, per le operazioni di fresatura sono state scelte una fresa a candela di diametro pari a 16 mm per la contronatura del pezzo ed una fresa a disco di diametro pari a 35 mm e spessore di 2,5 mm per realizzare le tasche laterali del pezzo. Per quest'ultima lavorazione si sarebbe potuto utilizzare in alternativa una fresa a candela di diametro di 2,5 mm, troppo sottile per garantire la lavorazione di molti pezzi. La quantità di materiale



Figura 59: Fresa a candela D16

da asportare e la forza necessaria per tale lavorazione rendono difficilmente utilizzabile la fresa a candela, si utilizza quindi la fresa a disco che garantisce la lavorazione di più di 1000 pezzi.





Figura 58: Fresa a disco

3.10 Parametri di taglio

Una volta scelti utensili ed inserti che si useranno per le lavorazioni, si dovranno impostare i parametri di taglio, quali:

- velocità di taglio;
- avanzamento;
- profondità di passata.

I parametri di taglio dipenderanno dal materiale da lavorare, dalla geometria, dal materiale degli inserti utilizzati e dalle finiture superficiali che si vogliono ottenere.

La velocità di taglio è sicuramente il parametro più influente per quanto riguarda l'usura degli inserti in queste lavorazioni, tant'è vero che è preferibile consultare i range di velocità consigliati dai fornitori in base al materiale da lavorare.

Tabella 15: Parametri di taglio

LAVORAZIONE	VELOCITA' CONSIGLIATA [m/min]	VELOCITA' EFFETTIVA [m/min]	VELOCITA' EFFETTIVA [giri/min]
SGROSSATURA	80-150	131,88	1400
FINITURA	80-150	141,30	1500
CONTORNATURA	50	50,24	1000
FORATURA	50-65	65,94	1500
FRESATURA TASCHE	130-140	131,88	1200
BARENATURA	60-120	65,94	1500
TRONCATURA	70-110	94,20	1000
FILETTATURA	80-140	65,94	1500

I fornitori di inserti forniscono i dati relativi alle velocità di taglio in m/min, mentre nella stesura del part program verranno indicate le velocità in giri/min. In tabella 15 i valori sono stati convertiti usando la formula:

$$n = \frac{Vt*1000}{D*\pi} [giri/min]$$

Dove n sono i giri al minuto compiuti dal mandrino, Vt è la velocità di taglio espressa in m/min e D è il diametro del pezzo in lavorazione espresso in millimetri.

Le velocità di taglio impostate consentono di eseguire correttamente le operazioni sui pezzi e tendono ad essere impostate prossimalmente al limite consentito; questo riduce i tempi di lavorazione, oltre ad una sensibile riduzione dei tempi di fermo macchina.

Con questa configurazione gli inserti avranno un grado di usura simile dopo aver lavorato per un certo numero di ore, permettendo un cambio contemporaneo di tutte le parti.

L'unica lavorazione che è stata impostata ad una velocità minore è la filettatura, dopo aver riscontrato delle rotture negli inserti.

Per quanto riguarda gli avanzamenti, anche questi sono riportati su cataloghi. Risulta evidente

come per operazioni di finitura siano consigliate

velocità di avanzamento inferiori rispetto a operazioni di sgrossatura.

Nel caso del particolare studiato si sceglie di fare la sgrossatura a velocità di avanzamento non troppo elevate così da lasciare al finitore una superficie più semplice da lavorare con una conseguente usura più lenta.

Altro parametro molto importante è l'avanzamento della fresa a disco: questo valore influisce sulla forza impressa dalla fresa sulla barra in lavorazione con un

Tabella 16: Velocità di avanzamento

LAVORAZIONE	AVANZAMENTO [mm/giro]
SGROSSATURA	0,15
FINITURA	0,14
BARENATURA	0,08
FORATURA	0,15
CONTORNATURA	0,35
FRESATURA TASCHE	0,05
FILETTATURA	2
TRONCATURA	0,08

avanzamento abbastanza lento per evitare problemi di flessione e, di conseguenza, problemi nel rispetto delle tolleranze di misura.

Per le profondità di passata in sgrossatura si porta il pezzo da un diametro iniziale di 30 mm a 27 mm, quindi, lo spessore di materiale asportato sarà di 1,5 mm, in finitura invece si asportano 0,5 mm di materiale passando dal diametro di 27 mm a 26 mm finali.

Per la foratura, in cui si utilizza una punta con diametro di 14 mm, la profondità raggiunta è maggiore della lunghezza del pezzo, in particolare è 0,5 mm per compensare la punta piatta dell'utensile. L'aumento di 0,5 mm inoltre permette di troncare in una zona piana. La troncatura nell'area conica provocherebbe la flessione della lama e di conseguenza la rottura dell'utensile.

Per facilitare il taglio del pezzo si aggiungono altri 3 mm alla foratura in modo da compensare le dimensioni del troncatore, così da dover asportare meno materiale nel taglio.

Il bareno invece asporta uno spessore di 0,1 mm di materiale, portando il foro da un diametro di 14 mm a 14,2 mm.

Nella fresatura di contornatura il massimo spessore di materiale asportato è di 1,5 mm raggiunto al centro delle facce dell'ottagono, mentre la fresa a disco raggiunge una profondità massima di 9 mm nella lavorazione delle tasche laterali.

3.11 Calcolo dei tempi

Avendo a disposizione i parametri di taglio, si possono calcolare i tempi attivi, ovvero i tempi durante i quali avviene il movimento relativo tra utensile e pezzo per ottenere l'asportazione del truciolo. Tali tempi sono quindi funzione della velocità di taglio, dell'avanzamento e della lunghezza della superficie da lavorare.

Ci si affida ad un foglio Excel per il calcolo appena descritto (tabella 17).

Tabella 17: Tempi di lavorazione attivi

	LAVORAZIONE	VELOCITA' DI TAGLIO [giri/min]	AVANZAMENTO [mm/giro]	CORSA + EXTRACORSA [mm]	TEMPI ATTIVI [s]
	SFACCIATURA	1400	0,1	19,5	8,36
	SGROSSATURA	1400	0,15	10	2,86
	FINITURA	1500	0,14	25	7,14
SOTTOFASE	CONTORNATURA	1000	0,35	80,8	13,85
1	FORATURA	1500	0,15	30	8,00
	FRESATURA TASCHE	1200	0,05	60	60,00
	BARENATURA	1500	0,08	24,5	12,25
	TAGLIO	1000	0,08	16	12,00
COTTOFACE	SGROSSATURA	1500	0,06	7	4,67
SOTTOFASE 2	BARENATURA	1200	0,1	4	2,00
	FILETTATURA	1500	2	308	6,16

Ai dati ottenuti vanno aggiunti tre tempi passivi: il tempo di estrazione della barra (operazione che non può essere svolta mentre si terminano le lavorazioni della seconda sottofase, in quanto viene impiegata la torretta per questa operazione). Il secondo tempo passivo da considerare è quello relativo allo scarico del pezzo lavorato e all'avvicinamento del contromandrino al mandrino che avviene pima del taglio del nuovo pezzo ed infine tutti i tempi necessari al cambio degli utensili e all'avvicinamento e allontanamento della torretta dal pezzo lavorato.

Tabella 18: Tempi passivi

OPERAZIONE	TEMPI PASSIVI
AVVICINAMENTO + SCARICO	12,00
ESTRAZIONE BARRA	10
CAMBIO UTENSILI + MOVIMENTI TORRETTA	25

Sommando gli intervalli si ottiene un tempo di ciclo pari a 184,29 secondi, tempo che intercorre tra la realizzazione di due pezzi successivi.

3.12 Scheda di lavoro

La creazione della scheda di lavoro e la stesura di un control plan sono gli ultimi step che precedono la produzione dei particolari commissionati.

La scheda di lavoro è un documento interno all'azienda dove vengono riportati i dati relativi alla produzione e viene posta sul centro di tornitura.

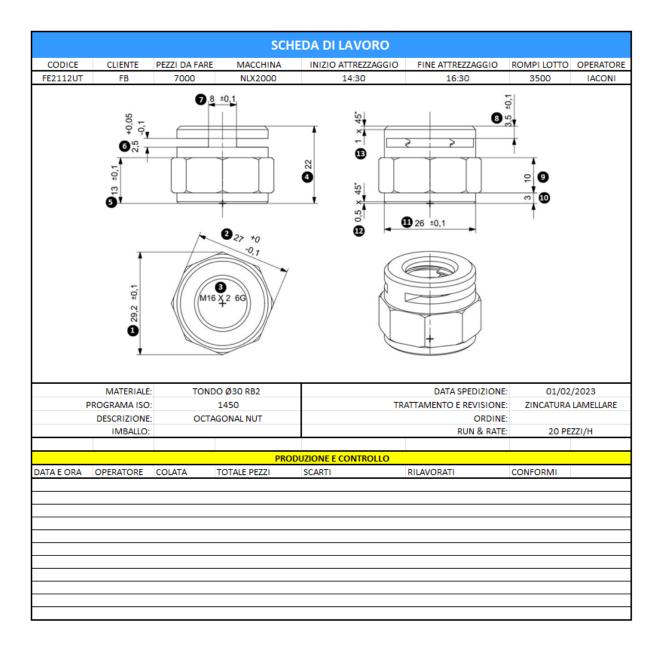


Figura 60: Scheda di lavoro

Nella scheda di lavoro devono essere riportati:

- il codice del prodotto in produzione;
- la numerosità del lotto da produrre;
- la macchina da utilizzare;
- il tempo necessario per l'attrezzaggio della macchina a cui corrisponderà un certo costo;
- l'operatore addetto all'attrezzaggio della macchina.

Dopo aver indicato questi dati viene inserito il disegno del pezzo quotato, in modo da poter controllare successivamente le dimensioni dei pezzi realizzati.

Lo step successivo è quello di indicare:

- il materiale da utilizzare e le dimensioni delle barre da lavorare;
- il numero del part program (in modo tale che una volta caricato sul CNC debba essere solo selezionato);
- la data di spedizione;
- eventuali trattamenti che saranno fatti esternamente all'azienda;
- una stima dei pezzi da realizzare in un'ora.

Tutti i dati specificati fino ad ora vengono inseriti prima di iniziare la produzione. L'ultima parte della scheda è dedicata alle fasi di produzione e controllo e gli operatori assegnati alla macchina dovranno ad ogni turno inserire:

- data e ora;
- firma;
- codice della colata del materiale (nel caso di problemi con la materia prima si potrà identificare il fascio di barre della stessa colata e isolarlo);
- totale dei pezzi prodotti;
- pezzi scartati, rilavorati e conformi (così da poter aggiornare il computer a bordo macchina sul numero corretto dei pezzi conformi).

In caso di problemi con la produzione, di elevate quantità di pezzi scartati o di elevati tempi di fermo macchina si riesce a risalire all'operatore che in quel turno era assegnato a tale macchina e capire quale fosse il problema per correggerlo.

3.13 Control plan

Il control plan è un piano stilato dal fornitore che definisce tutti i controlli usati per la verifica del processo, nel quale si elencano tutte le caratteristiche del prodotto e i metodi di ispezione richiesti per fornire prodotti che soddisfino continuamente i requisiti di qualità del cliente.

Il control plan insieme alla scheda di lavoro viene posto sulla macchina utilizzata per la produzione ed è utilizzato dall'operatore per controllare le quote dei pezzi prodotti direttamente a bordo macchina con l'ausilio del calibro a corsoio. Le restanti misurazione verranno fatte dal responsabile della qualità.

		CONTROL F	PLAN			
CODICE	CLIENTE		DESCRIZIONE PEZZO	DATA		
FE2112UT	FB		OCTAGONAL NUT	20/12/2022		
			FREQUEZE DI CONTROLLO	STRUMENTI UTILIZZATI		
	PE	SO		ANALISI DUREZZE		
ACCETTAZIONE	DIMENSIONE		DIMENSIONE			MACCHINA DI MISURA
MATERIALE GREZZO	DUR	REZZA	OGNI 20 BARRE	CALIBRO A CORSOIO		
	PRESENZA (CERTIFICATO				
QUOTE CONTROLLATE	LIIMITE SUPERIORE	LIMITE INFERIORE				
1	29,30	29,10				
2	27,00	26,90				
3 (M16x2 6g)	13,84	14,21				
4	22	2,00				
5	13,10	12,90	OCNI 200 DE77I	MACCHINA DI MISURA,		
6	2,55	2,40	OGNI 200 PEZZI CONTROLLO DI TUTTE LE	CALIBRO A CORSOIO,		
7	8,10	7,90	QUOTE	CALIBRO A TAMPONE		
8	3,60	3,40		FILETTATO		
9	10),00				
10	3,	,00				
11	26,10	25,90				
12	0,5 x 45°					
13	1 x	45°				
		1		CALIBRO A CORSOIO		
ROMPI LOTTO	TUTTE LE QUOTE		OGNI 3500 PEZZI	MACCHINA DI MISURA		
				CALIBRO A TAMPONE FILETTATO		
TRATTAMENTO ESTERNO	ZINCATURA LAMELL	ARE	CONTROLLO DELLE QUOT	E DOPO IL TRATTAMENTO		
PULIZIA E STOCCAGGIO	TRACCIABILITA'					
	PROTEZIONE					
	PULIZIA					
SPEDIZIONE	ETICHETTA					

Figura 61: Control plan

Nel control plan vengono specificate le diverse procedure di controllo da effettuare all'interno dell'azienda durante la produzione dei componenti e che devono essere effettuati in diverse fasi del processo di produzione.

Il primo controllo è fatto sulla materia prima: dovranno essere verificate peso, dimensione, durezza delle barre oltre alla presenza del certificato in cui sono riportate il codice della colata, la composizione chimica e le caratteristiche meccaniche del materiale, oltre a stabilire una frequenza di controllo. In questo caso la frequenza è di 20 barre.

Il secondo controllo è fatto sull'analisi delle quote dei particolari prodotti e sono indicate tutte le quote da controllare con riferimento al disegno riportato nella scheda di lavoro; in questo caso, oltre alla frequenza di controllo, sono visibili i limiti superiori e inferiori delle quote. La frequenza di controllo è fissata a 200 pezzi, quindi due volte al giorno gli operatori addetti dovranno registrare i pezzi totali prodotti ed eventuali scarti sulla scheda di lavoro (ovviamente nell'arco della giornata lavorativa sono fatti più di due controlli, sia da parte degli operatori ma anche da parte del responsabile della qualità).

I controlli sono effettuati utilizzando il calibro a corsoio digitale per misurare lunghezze e diametri del pezzo, la macchina di misura è usata per misurare gli angoli degli smussi interni ed esterni ed infine il calibro a tampone filettato è impiegato per valutare se la filettatura è stata realizzata correttamente.

Altra fase di controllo è quella del rompilotto, in questa fase vengono documentate tutte le quote di alcuni pezzi presi come campioni.

Gli ultimi controlli saranno fatti dopo i trattamenti esterni. In questo modo i pezzi al rientro dal trattamento, prima di essere spediti al cliente, vengono controllati a livello delle quote e si verifica se il rivestimento è uniforme. In fase di pulizia e stoccaggio deve necessariamente essere garantita tracciabilità e protezione ed infine per la spedizione viene stampata l'apposita etichetta che riporta codice del prodotto ed il numero di pezzi spediti.

3.14 Flow chart

Il process flow chart mostra tutte le fasi richieste nella produzione della parte, deve includere i passaggi principali della lavorazione della stessa, comprese le misurazioni e le ispezioni. Il diagramma descritto include il flusso di non conformità dei materiali e delle parti.

Il fornitore deve cioè avere un diagramma di flusso che descriva chiaramente i passi produttivi e la loro sequenza appropriata e che soddisfi i bisogni, i requisiti e le attese specificate dal cliente.

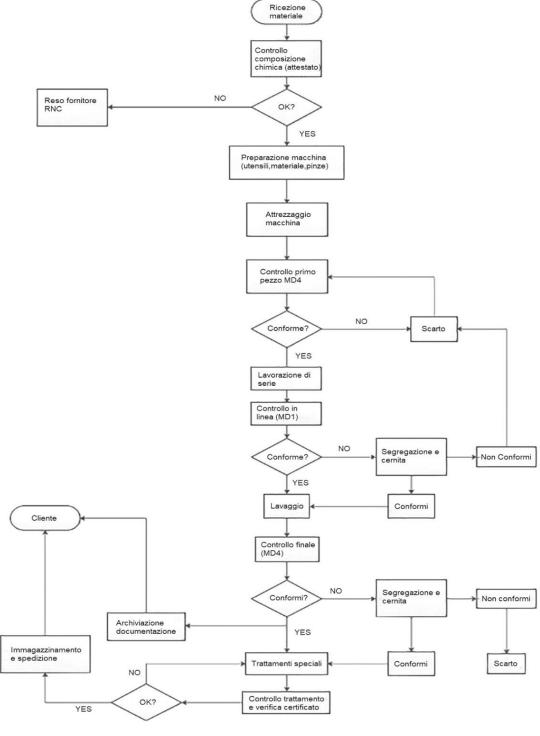


Figura 62: Flow Chart di processo

3.15 Produzione

Per avviare la produzione la macchina deve essere attrezzata con utensili e inserti necessari. E' importante che questi vengano montati secondo l'ordine delle lavorazioni da eseguire, così da limitare i movimenti della torretta nel cambio inserti e risparmiano tempo nella produzione.

Terminato il montaggio di tutti gli utensili necessari si può partire con la produzione dei primi particolari: questi sono realizzati a velocità ridotta e controllati costantemente dall'operatore per verificare se tutte le lavorazioni sono eseguite correttamente. I primi pezzi realizzati servono per la regolazione della posizione degli utensili rispetto al pezzo in lavorazione, andando quindi a regolare gli offset degli utensili si raggiungono le posizioni desiderate e di conseguenza si riesce ad asportare la quantità corretta di materiale.

I pezzi verranno controllati come specificato nel control plan, tramite l'utilizzo di un calibro a corsoio, di un calibro a tampone filettato e della macchina di misura.





Figura 63: Misure con calibro a corsoio

Il calibro a tampone filettato presenta due estremità filettate, da un lato è presente la lettera P e dall'altro NP, essi stanno per "passa" e "non passa". Il particolare dovrà essere avvitato su entrambe le estremità e sarà conforme se avviterà nell'estremità P e non



Figura 64: Calibro a tampone filettato

avviterà nella zona NP. In caso contrario si riscontreranno problemi con la filettatura da ricercare in problemi dovuti al programma di lavorazione oppure all'inserto.

La macchina di misura *StarLite* (©Ogp Hommel) è un sistema tridimensionale ottico di misura che, collegato al software *Measure-X* (©Ogp Hommel), permette di fare il controllo dimensionale delle quote non rilevabili con il calibro.

I pezzi vengono posti sotto il sistema ottico e tramite il sistema di illuminazione programmabile si cerca il miglior setup per avere un buon contrasto nelle immagini così da avere misure migliori.

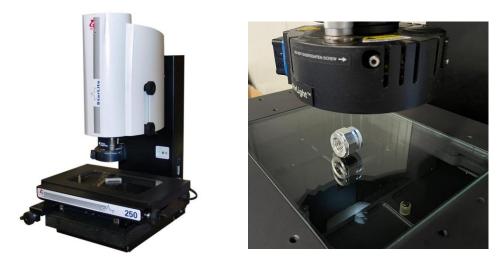


Figura 65: Macchina di misura StarLite

La macchina può essere utilizzata per misurare anche distanze e circonferenze con precisione elevatissima, ma viene impiegata solo per il controllo degli angoli degli smussi esterni ed interni (per quest'ultimo è necessario tagliare il pezzo per accedere all'interno). Per tutte le altre misure è preferibile rilevarle a bordo macchina con il calibro a corsoio per questioni di tempo, dato che per trovare il giusto setup dell'illuminazione e fare delle rilevazioni con la macchina di misura sono richiesti alcuni minuti.

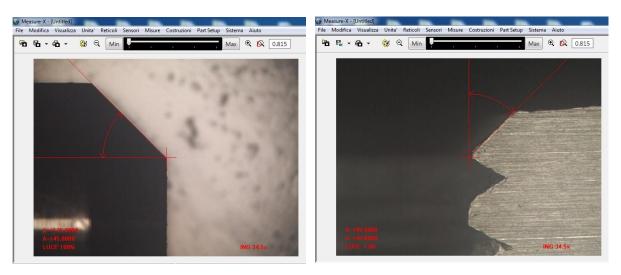


Figura 66: Esempio di rilevazioni alla macchina di misura

Quando nei pezzi sono rilevate tutte le quote corrette come da disegno, viene rilasciato il benestare di produzione e il centro di lavoro può lavorare in autonomia e a piena velocità.

BENESTARE DI PRODUZIONE											
AT	TREZZISTA	RESPONSABILE BENESTARE	RESPONSABILE BENESTARE DATA CODICE ARTICOLO CLIENTE					MACCHINA			
	IACONI	BRANDOLINI FEDERICO	21/12/2022	21/12/2022 FE2112UT FB			CELOS NX2000				
N. QUOTA	QUOTA	STRUMENTO DI MISURA	1	MISUI 2	RAZIONI RIL	EVATE 4	5	MEDIA	MIN	MAX	ESITO
1	29,2±0,1	CALIBRO	29,21	29,21	29,20	29,22	29,21	29,21	29,20	29,22	ОК
2	27-0,1	CALIBRO	26,98	26,97	26,98	26,97	26,97	26,97	26,97	26,98	ОК
3	M16 X 2 6G	TAMPONE	ОК	ОК	ОК	OK	ОК				ОК
4	22,00	CALIBRO	22,02	22,04	22,03	22,03	22,02	22,03	22,02	22,04	ОК
5	13±0,1	CALIBRO	13,01	13,02	13,03	13,01	13,01	13,02	13,01	13,03	ОК
6	2,5+0,05 2,5-0,1	CALIBRO	2,51	2,51	2,51	2,50	2,51	2,51	2,50	2,51	ОК
7	8 ±0,1	CALIBRO	8,01	8,01	7,99	7,99	8,00	8,00	7,99	8,01	ОК
8	3,5 ±0,1	CALIBRO	3,49	3,50	3,50	3,50	3,49	3,50	3,49	3,50	ОК
9	10,00	CALIBRO	10,00	10,02	10,01	10,00	10,00	10,01	10,00	10,02	ОК
10	3,00	CALIBRO	3,01	3,00	3,02	3,01	3,01	3,01	3,00	3,02	ОК
11	26±0,1	CALIBRO	25,99	26,00	26,00	26,02	26,01	26,00	25,99	26,02	ОК
12	0,5X45°	MACCHINA DI MISURA	ОК	ОК	ОК	ОК	ОК				ОК
13	1X45°	MACCHINA DI MISURA	ОК	ОК	OK	OK	ОК				ОК

Figura 67: Benestare di produzione

Il benestare di produzione è un documento nel quale vengono registrate tutte le quote dei primi pezzi eseguiti correttamente: in tale documento si ha sulla destra un esito inerente al rispetto delle tolleranze.

Nel benestare di produzione è inoltre indicata la data, la macchina sulla quale sono prodotti i particolari, il responsabile del rilascio di tale documento e l'operatore addetto all'attrezzaggio della macchina. Questa documentazione dà il via alla produzione dei particolari richiesti e certifica che i primi pezzi siano realizzati rispettando le specifiche di progetto.

3.16 Usura inserti

In fase di produzione è stata fatta una valutazione della durata degli inserti e la loro usura, in modo tale da stabilire un intervallo di tempo che permetta di sfruttarli al massimo rispettando sempre le tolleranze dimensionali impartite dal disegno di progetto.

In particolar modo sono stati valutati gli stati di usura sui principali inserti di tornitura usati rispettivamente per la sgrossatura, per la finitura e per la barenatura.

Per le rilevazioni di tali dati sono state fatte delle acquisizioni mediante lo stereomicroscopio *©Leica EZ4D* e il software dedicato *Las Ez* (*©Leica Camera AG*). Tali acquisizioni sono state analizzate tramite il software *Imagej* (https://imagej.nih.gov/ij/) che permette di valutare le dimensioni dei crateri di usura presenti.

Per analizzare l'avanzamento dell'usura nel tempo sono stati studiati campioni con diversi tempi di lavorazione utilizzati con la stessa velocità di taglio.

L'immagine 68 riporta uno sgrossatore utilizzato per lavorare circa 470 pezzi (74 min di effettiva lavorazione). Dalle immagini si riesce a visualizzare con precisione le dimensioni del cratere di usura e si nota come la sua espansione vada ad influire anche l'usura sul fianco.

La valutazione delle dimensioni dell'usura sul fianco (immagine 69) risulta molto complessa in questi casi per cui ci si limita all'analisi delle dimensioni dei crateri di usura e come questi vanno ad influenzare la vita utile dell'inserto.

Si sottolinea come le immagini caricate sul software *Imagej* abbiano bisogno di un riferimento per la conversione da pixel a millimetri, motivo per il quale è stata acquisita mediante microscopia anche la strumentazione specifica per misurazione millimetrica, quale il calibro.



Figura 68: Cratere di usura su sgrossatore



Figura 69: Usura su sgrossatore

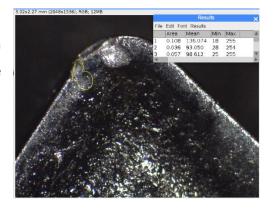


Figura 70: Analisi sul software Imagej

Caricando le immagini sul software si riescono a calcolare le dimensioni delle aree dei crateri di usura, i dati (espressi in mm²) sono stati tabulati in *Excel* (© Microsoft) (tabella 19) per graficarne l'andamento a seconda dei tempi di lavorazione (figura 71).

Tabella 19: Usura su sgrossatore

SGROSSATORE RO.8						
TEMPO NUMERO TEMPO DI AREA						
LAVORAZIONE	PEZZI	CONTATTO	CRATERE			
[h]	LAVORATI	[min]	[mm^2]			
8	157	25	0,03			
16	313	50	0,114			
20	391	62	0,156			
24	470	74	0,201			
36	704	112	0,701			

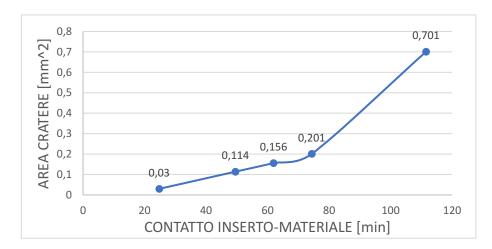
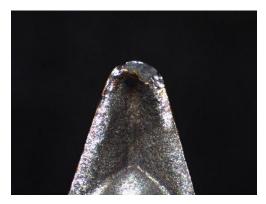


Figura 71: Andamento del cratere di usura su sgrossatore

Nella tabella 19 viene riportato il tempo di lavorazione della macchina, il numero di pezzi realizzati, il tempo di contatto tra lo specifico inserto e il materiale in lavorazione e l'area del cratere di usura. Nel grafico in figura 71 si evidenzia come l'area del cratere di usura cresca rapidamente dopo i 470 pezzi lavorati. L'area suddetta influisce significativamente anche sul fianco, rendendo l'inserto non più utilizzabile.

Nel caso della sgrossatura la scelta ideale è quella di cambiare l'inserto dopo circa 24h lavorative. Si ricorda che la superficie verrà comunque lavorata anche da un inserto di finitura, il quale si potrebbe trovare a lavorare su una superficie poco uniforme in caso di eccessivo impiego dello sgrossatore con conseguente rapida usura del finitore in questione, date le dimensioni e il raggio di raccordo di punta non adatte ad asportazioni importanti.

Anche per l'inserto di finitura sono state analizzate diverse acquisizioni corrispondenti a diversi tempi di utilizzo: come per la sgrossatura vista precedentemente, anche in questo caso le dimensioni dei crateri di usura crescono fino ad influenzare anche l'usura del fianco.



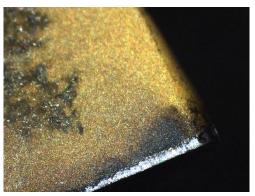


Figura 72: Usura su finitore

Tabella 20: Usura su finitore

FINITORE RO.4						
TEMPO	NUMERO PEZZI	TEMPO DI CONTATTO	AREA CRATERE			
LAVORAZIONE [h]	LAVORATI	[min]	[mm^2]			
8	157	13	0,042			
16	313	26	0,149			
26	509	42	0,264			
30	587	49	0,361			
36	704	59	0,668			

Nel grafico di figura 73 si apprezza una crescita costante delle dimensioni del cratere fino alle 26 ore di lavorazione, seguita da una crescita molto più rapida nelle ore successive.

L'inserto per la finitura avendo raggio e angolo di punta ridotti rispetto allo sgrossatore presenta

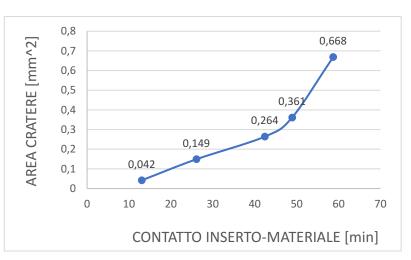


Figura 73: Andamento del cratere di usura su finitore

un'usura maggiore a parità di tempo di utilizzo.

La terza analisi si sofferma sull'usura del bareno, simile a quella dei casi appena trattati ma con valori ridotti delle dimensioni dei crateri di usura.

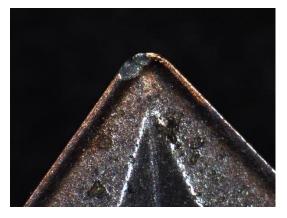




Figura 74: Usura su inserto per bareno

Tabella 21: Usura bareno

BARENO RO.4						
TEMPO DI AREA						
TEMPO	NUMERO PEZZI	CONTATTO	CRATERE			
LAVORAZIONE [h]	LAVORATI	[min]	[mm^2]			
8	157	29	0,013			
16	313	57	0,035			
20	391	72	0,051			
28	548	100	0,07			
36	704	129	0,093			
40	783	143	0,117			

Le dimensioni ridotte del cratere di usura su questa tipologia di inserto sono dovute alla velocità ridotta con la quale si esegue questo tipo di lavorazione, motivo per cui l'usura presenta una crescita costante nel tempo.

La barenatura è molto importante nella produzione del componente studiato, fondamentale per

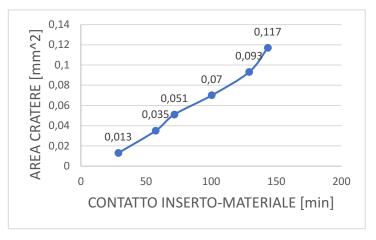
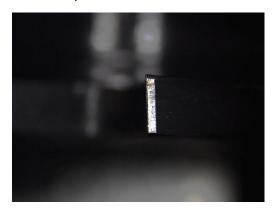


Figura 75: Andamento del cratere di usura su bareno

ottenere una buona finitura superficiale nel foro che deve essere poi filettato, ciò giustifica una velocità più moderata che non usuri l'inserto in poco tempo. Bisogna comunque considerare le dimensioni ridotte di questo inserto, molto più piccolo rispetto agli altri due analizzati. Le dimensioni dei crateri possono sembrare di poca rilevanza, ma a distanza di 36/40 ore influiscono sulla qualità della lavorazione.

Le stesse analisi non possono essere eseguite sui restanti inserti utilizzati, non si riesce infatti a fare un'analisi quantitativa dell'usura dalle acquisizioni a disposizione, si possono però vedere gli effetti dell'usura dopo un certo numero di pezzi lavorati.

La lavorazione più complessa nel caso preso in esame è la fresatura per la realizzazione delle tasche laterali tramite l'utilizzo di una fresa a disco, data la tolleranza dimensionale richiesta dal disegno di progetto. Sono state fatte delle acquisizioni a utensili che hanno lavorato rispettivamente 1000, 1300 e 1500 pezzi.



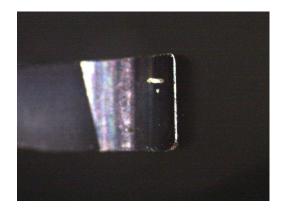


Figura 76: Fresa a disco dopo aver lavorato 1000 pezzi





Figura 77: Fresa a disco dopo aver lavorato 1300 pezzi

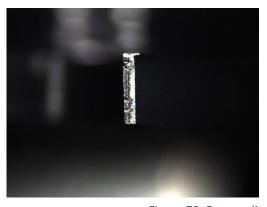




Figura 78: Fresa a disco dopo aver lavorato 1500 pezzi

Le immagini in figura 76 riportanti la fresa a disco che ha lavorato su 1000 pezzi non presentano particolari segni di usura, mentre le altre due frese (figure 77 e 78) presentano segni di scheggiature dovute al taglio interrotto, evidenti in particolar modo nella fresa da 1500 pezzi. Alla luce di questi effetti si è imposto a 1400 pezzi il limite di utilizzo della fresa a disco: oltre questo limite la finitura superficiale del pezzo risente dell'usura come visibile nella figura 79.

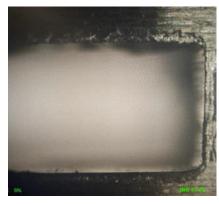


Figura 79 Finitura del pezzo con fresa usurata

Gli ultimi inserti analizzati al microscopio sono le punte utilizzate per la foratura. Secondo i dati del fornitore questa

può essere utilizzata per lavorare circa 2000 pezzi (si ricorda comunque che la finitura superficiale del foro non è di primaria importanza dato che con l'operazione di barenatura si allarga il foro e si ottiene una buona finitura superficiale).

Si riportano gli effetti dell'usura dopo 1000, 1500 e 2000 pezzi lavorati nelle immagini in figura 80.



Figura 80: Usura della punta per forare, rispettivamente 1000, 1500 e 2000 pezzi lavorati

Nella foratura, l'usura si presenta con delle scheggiature di dimensioni via via crescenti sul tagliente. Le scheggiature sono dovute al taglio interrotto dovuto all'impatto della punta con il pezzo. Dopo 2000 pezzi lavorati si nota un'elevata usura, indice che l'utensile deve essere sostituito.

4. Conclusioni

In questo lavoro di tesi, dopo aver introdotto nei primi due capitoli i concetti teorici riguardanti la stesura di un ciclo di lavorazione e i principali aspetti delle lavorazioni per asportazione di truciolo, in particolar modo della tornitura, è stato trattato l'intero ciclo di fabbricazione di un particolare destinato al settore automotive.

Dall'analisi dei costi di produzione si è stilato un preventivo e in seguito all'accettazione della proposta da parte del cliente si è passati a definire il ciclo di lavorazione. Si è analizzato quindi il miglior centro di tornitura sulla quale realizzare tali componenti e la miglior sequenza di lavorazioni in ottica di ottimizzazione dei tempi.

Tramite simulazione con software CAM è stato creato il part program da dare in pasto al CNC, parallelamente a questa fase sono stati scelti gli utensili e i parametri di processo.

Con la creazione della scheda di lavoro e del control plan è stata avviata la produzione, il piano di controllo si è rilevato di fondamentale importanza. Effettuando i controlli indicati si è riuscito a monitorare correttamente la produzione, riuscendo ad intervenire sempre in tempo sulla macchina così da evitare la lavorazione di pezzi non conformi.

La produzione ha coperto un periodo di 20 giorni.

Grazie alle analisi svolte sull'usura degli inserti è stato possibile valutare la vita utile di quest'ultimi, in modo da sostituirli prima di arrivare ad un grado di usura eccessivo che avrebbe portato allo scarto di diversi pezzi. Tali valutazioni hanno avuto primaria importanza in quanto tra le ore 22 e le ore 6 del giorno seguente le macchine hanno lavorato in autonomia, in assenza della supervisione degli operatori risulta fondamentale conoscere lo stato di usura degli inserti così da valutare eventuali sostituzioni prima della fine del turno serale. L'analisi prima descritta ha permesso anche di poter sfruttare al massimo utensili che hanno costi importanti, si ricorda infatti che secondo le stime fatte la spesa per gli utensili copre il 17% del costo di produzione.

I componenti realizzati, valutata la conformità con appositi strumenti di misura, sono stati zincati da una ditta esterna ed infine spediti al cliente.

Possibili sviluppi futuri dell'attività di tirocinio svolta potrebbero riguardare uno studio approfondito dei parametri di processo caratterizzanti la tornitura, privilegiando la produttività o l'economicità del processo e valutandone la compatibilità con il parco macchine a disposizione.

Bibliografia

- [1] F. Giusti, M. Santochi. Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione, II Edizione, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 2000.
- [2] F. Gabrielli, R. Ippolito, F. Micari. Analisi e tecnologia delle lavorazioni meccaniche, McGraw-Hill, Milano, 2008.
- [3] www.sandvik.coromant.com
- [4] www.iscar.com
- [5] https://imagej.nih.gov/ij/

Ringraziamenti

Desidero ringraziare la GF SRL per avermi dato la possibilità di svolgere il lavoro di tesi in un ambiente stimolante in cui ho potuto apprendere nuove skill e confrontarmi con professionisti del settore.

Ringrazio il prof. Forcellese Archimede, relatore della tesi, per la scelta degli argomenti trattati e per la disponibilità ad ogni richiesta.

Un ringraziamento speciale è dedicato alla mia famiglia per aver sempre creduto in me, per il supporto nei momenti più difficili, per aver messo le mie esigenze davanti ad ogni altra cosa.

L'ultimo ringraziamento va ai miei amici, a quelli che conosco da una vita e a quelli arrivati con gli anni universitari. Ho condiviso con tutti momenti stupendi che porterò sempre con me, una seconda famiglia, un porto sicuro nei momenti bui.