

Politecnico di Torino

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA



Tesi di Laurea Magistrale

Analisi e ottimizzazione degli utensili di fresatura per applicazioni aeronautiche/elicotteristiche

Relatore:

Prof. Alessandro Salmi

Ing. Luca Pavarin

Candidato:

Antonio Franco

Anno Accademico 2017-2018

*Alla perseveranza, alla costanza e alla tenacia, elementi essenziali per compiere
questo arduo percorso.*

Alla mia famiglia che ha sempre condiviso e appoggiato le mie scelte.

Indice

Introduzione	vi
1 Lavorazioni di fresatura in campo aeronautico	1
1.1 Lavorazioni per asportazione di truciolo	1
1.1.1 Lavorazioni con macchine utensili	1
1.2 Fresatura	4
1.3 Meccanica del taglio 2D	5
1.3.1 Modello di formazione del truciolo di Pijspanen	7
1.3.2 Modello di Formazione del Truciolo di Ernst-Merchant	9
1.4 Meccanica del taglio obliquo	11
1.5 Utensile monotagliante	15
1.5.1 Angoli caratteristici	15
1.5.2 Angoli della sezione normale	16
1.5.3 Angoli del profilo	17
1.5.4 Angoli di registrazione	18
1.6 Utensili di fresatura	18
2 Gestione degli utensili nell'industria manifatturiera	24
2.1 Centri di lavoro	24
2.2 Flusso operativo degli utensili	29
2.3 Gestione utensili	31
3 Caso studio: Leonardo Elicotteri S.p.A.	33
3.1 Il gruppo Leonardo	33
3.2 Agusta WestLand	33
3.2.1 Produzione	37
3.3 Stabilimento produttivo Cascina Costa (Va)	38
3.3.1 Gestione generale utensili	38
3.4 Analisi delle criticità riscontrate	41
3.4.1 Organizzazione della tool room	42
3.4.2 Scelta	42

4	Lavoro e risultati	44
4.1	Sistema automatico di gestione degli utensili	44
4.1.1	Benefici di un sistema automatico di gestione degli utensili . .	44
4.2	Proposta rimozione codici utensili	46
4.3	Classificazione degli utensili di fresatura	48
4.4	Scelta degli utensili di fresatura	52
4.4.1	Proprietà materiali lavorati	53
4.4.2	Materiali degli utensili	58
4.4.3	Angolo di spoglia	59
4.4.4	Taglienti	60
4.4.5	Angolo d'elica	60
4.4.6	Raggio di punta	61
4.4.7	Fluido lubrorefrigerante	61
4.4.8	Stelo	61
4.4.9	Parametri di taglio	61
4.4.10	Proposta nuova scheda utensile	64
4.5	Proposta di una nuova codifica	64
4.6	Analisi degli impieghi	65
	Conclusioni e sviluppi futuri	71
	Bibliografia	73

Elenco delle figure

1.1	Moto di taglio utensile-pezzo, [10].	2
1.2	Moto di avanzamento utensile-pezzo, [10].	2
1.3	Moto di registrazione utensile-pezzo, [10].	3
1.4	Moto di alimentazione utensile-pezzo, [10].	3
1.5	Moti di lavoro fresatura orizzontale e verticale, [10].	4
1.6	Processo di taglio generale, [7].	4
1.7	Modello di taglio 2D, [2].	5
1.8	Rappresentazione schematica taglio 2D, [2].	6
1.9	Rappresentazione schematica deformazione di taglio	7
1.10	Scorrimento del truciolo	7
1.11	Rappresentazione triangolo di velocità, [2].	9
1.12	Rappresentazione scomposizione forze, [2].	10
1.13	Rappresentazione cerchio di Merchant, [2].	10
1.14	Rappresentazione dall'alto taglio obliquo, [2].	11
1.15	Rappresentazione del taglio obliquo, [2].	12
1.16	Rappresentazione forma truciolo in funzione di i , [2].	13
1.17	Distribuzione di Temperatura tra Utensile e Pezzo, [2].	13
1.18	Calore in funzione della Velocità di Taglio, [2].	14
1.19	Utensile monotagliante, [7].	15
1.20	Sistema di riferimento, [1].	16
1.21	Angoli della sezione normale, [1].	16
1.22	Angoli del profilo, [1].	17
1.23	Angoli di registrazione utensile-pezzo, [1].	18
1.24	Generica fresa, [1].	19
1.25	Geometria a denti fresati, [1].	19
1.26	Geometria a denti spogliati, [1].	20
1.27	Fresa cilindrica a denti elicoidali, [1].	20
1.28	Fresa a manicotto, [1].	21
1.29	Fresa a codolo per incavatura, [1].	21
1.30	Fresa raggiata, [1].	21
1.31	Fresa a T, [1].	22

1.32 Fresa biconica, [1].	22
1.33 Fresa piano-conica, [1].	23
1.34 Fresa modulare, [1].	23
2.1 Schema generico centro di lavoro, [1].	25
2.2 Magazzino a torretta, [3].	27
2.3 Magazzino a disco, [1].	28
2.4 Magazzino a catena, [1].	28
2.5 Magazzino a matrice, [1].	29
3.1 Aliante AG-01, [18].	34
3.2 Elicottero AB47, [18].	34
3.3 Gamma elicotteri civili, [18].	36
3.4 Gamma elicotteri militari, [18].	36
3.5 Gamma elicotteri civili divisi per ruolo, [18].	37
3.6 Gamma elicotteri militari divisi per ruolo, [18].	37
4.1 Cassettiere Sandvik in funzione del controllo, [19].	45
4.2 Cassettiera Fraisa, [20].	46
4.3 Grafico situazione frese standard generale	47
4.4 Situazione frese cassettera	47
4.5 Grafico situazione frese speciali generale	48
4.6 Situazione frese speciali cassettera	48
4.7 Applicazioni utensili di fresatura, [15].	49
4.8 Gruppi ISO materiali lavorati, [13].	56
4.9 Numero di taglienti al in funzione del materiale, [17].	60
4.10 Fenomeno del tagliente di riporto, [1].	63
4.11 Fresa 1, [12].	66
4.12 Fresa 2, [12].	69

Elenco delle tabelle

3.1	Parte iniziale codici ID utensili standard	40
3.2	Parte iniziale codici ID utensili speciali	40
4.1	Frese standard	47
4.2	Frese speciali	47
4.3	Famiglia **1-integrale	49
4.4	Famiglia ***-integrale	49
4.5	Famiglia **3-integrale	50
4.6	Famiglia-integrale	50
4.7	Famiglia-integrale	51
4.8	Famiglia 5**-integrale	51
4.9	Famiglia 5**-a inserti	51
4.10	Famiglia 53*-a inserti	52
4.11	Famiglia 54*-a inserti	52
4.12	Proprietà materiali utensili	59
4.13	Riferimenti catalogo fraisa	66
4.14	Caratteristiche fresa Catalogo Fraisa	67
4.15	Parametri contornatura Catalogo Fraisa	67
4.16	Parametri lavorazione dal pieno Catalogo Fraisa	67
4.17	Parametri di utilizzo	68
4.18	Riferimenti Catalogo Fraisa	69
4.19	Caratteristiche fresa	69
4.20	Parametri contornatura Catalogo Fraisa	69
4.21	Parametri lavorazione dal pieno Catalogo Fraisa	70
4.22	Calcolo parametri utilizzo	70

Introduzione

La produzione industriale o manifatturiera (manufacturing) generalmente rappresenta tutti i processi mediante i quali si convertono materie prime in prodotti di uso comune o di uso industriale che sono destinati sia alla vendita all'ingrosso che al dettaglio. La materia prima subisce una serie di trasformazioni che le fanno aumentare il suo valore commerciale, ottenendo quello che in economia viene detto valore aggiunto. Naturalmente l'ideazione, la creazione e la fabbricazione di un prodotto è una attività molto importante nell'ambito della produzione industriale. Prima di affrontare tutti questi passaggi è comunque necessario avere una visione nitida delle funzionalità e delle prestazioni attese dal prodotto che ci si appresta a produrre. Vengono poi parallelamente identificati altri fattori determinanti per la vendita del prodotto, tramite figure professionali specializzate quali analisti di mercato e personale di vendita i quali forniscono al progettista le caratteristiche che il prodotto deve avere per essere appetibile sul mercato in questione. Una volta ottenute tutte queste informazioni, si può dare il via all'attività progettuale, che rappresenta il punto di genesi nella creazione del prodotto finale. A seconda dell'organizzazione aziendale: l'attività di progettazione e produzione possono essere svolte o in serie, oppure in parallelo. Nelle realtà aziendali in cui le suddette attività sono svolte in serie i progettisti dedicano gran parte del loro tempo per analizzare in dettaglio i singoli componenti e per preparare i disegni tecnici necessari, che vengono trasferiti ad altri uffici e reparti aziendali dove si selezionano i vari materiali e gli eventuali fornitori. Le specifiche di prodotto vengono poi inviate al reparto produzione dove i disegni dettagliati saranno riesaminati e vengono selezionati i processi di produzione, con l'obiettivo di realizzare una produzione efficiente. Questo tipo di approccio pur risultando particolarmente semplice nella realtà ha dimostrato di comportare un notevole spreco di risorse nel momento in cui si rende necessario apportare delle modifiche al prodotto finale perché devono essere ripetute tutte le analisi precedentemente fatte nella fase di progettazione. Un approccio più avanzato allo sviluppo del prodotto rispetto a quello precedente è quello in cui tutte le attività si svolgono in parallelo, in modo tale che le iterazioni, che sono inevitabili, comportino un minore spreco di energie e soprattutto di tempo. In questo approccio detto progettazione simultanea (cuncurrent engineering) è di fondamentale importanza la comunicazione tra area tecnica marketing e servizi di assistenza, come anche tra le diverse specializzazioni dell'area tecnica. I principali obiettivi del cuncurrent engineering sono la

riduzione del numero di modifiche progettuali e l'abbattimento dei tempi e dei costi di sviluppo del prodotto, dalla fase di ideazione fino alla commercializzazione. La progettazione di prodotto richiede, sia nelle grandi aziende che nelle piccole aziende, la modellazione analitica e fisica del prodotto stesso che ha la funzione di essere la base per l'analisi di fattori quali forze, tensioni, deformazioni e forma geometrica ottimale del prodotto. Oggigiorno la definizione e lo studio di modelli analitici è possibile attraverso l'uso del calcolatore e delle tecniche di progettazione, ingegnerizzazione e fabbricazione assistita dal calcolatore, comunemente indicati con gli acronimi CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering), CAM (Computer Aided Manufacturing). Sulla base di questi modelli, il progettista di prodotto definisce oltre ai materiali da utilizzare anche la forma, le dimensioni, le tolleranze dimensionali e la finitura superficiale dei componenti. La simulazione al calcolatore aiuta nell'individuazione tempestiva degli errori progettuali, nell'identificazione di possibili problemi in un particolare sistema di produzione e nell'ottimizzazione delle linee per la minimizzazione del costo di produzione del prodotto. Il passo successivo nel processo di sviluppo del prodotto è la realizzazione di un prototipo, ovvero di una prima versione del prodotto, sulla quale effettuare le varie analisi e prove funzionali. Per realizzare i prototipi si usano le tecniche di prototipazione rapida (rapid prototyping) che consistono nell'utilizzo di tecniche CAD/CAM e di tecnologie di fabbricazione additiva per la produzione rapida di un prototipo. Queste tecniche consentono di ridurre notevolmente i tempi e quindi i costi di sviluppo di un prodotto. A fianco alla realizzazione del prototipo vero e proprio può essere usata anche la prototipazione virtuale (virtual prototyping), si tratta di una tecnica di prototipazione che consiste nell'utilizzo del calcolatore, di grafica avanzata e di ambienti di realtà virtuale per permettere ai progettisti di esaminare un componente nella sua interezza. Nella fase di prototipazione può essere necessario apportare delle modifiche al progetto originale, cambiare i materiali o i metodi di produzione, per consentire la soluzione delle problematiche emerse o per rendere più efficiente la produzione. Una volta definita questa fase, vengono poi determinati nel dettaglio i piani e i metodi di produzione, le macchine, le attrezzature e i vari utensili, da utilizzare per ottenere il prodotto finale. I processi produttivi che possono essere impiegati per produrre un'ampia varietà di pezzi, forme e dimensioni sono molto differenti, si hanno infatti, processi di fonderia, processi di formatura, processi di lavorazione per deformazione plastica, processi di imbutitura, processi di metallurgia delle polveri, processi di stampaggio, processi di collegamento (saldature), processi di finitura e processi di lavorazione per asportazione di truciolo. Molto spesso per la fabbricazione di un prodotto in un determinato materiale esiste più di un metodo adatto ciascuno con i propri vantaggi, limitazioni, produttività e costi ecco perché scegliere quello ottimale è di fondamentale importanza, [2]. Una volta scelti i vari processi tecnologici atti a trasformare un pezzo grezzo in un prodotto finito, si genera il cosiddetto ciclo di Fabbricazione. Il ciclo di Fabbricazione o di Lavorazione definisce tutto l'insieme di operazioni necessarie a fabbricare un singolo elemento attraverso una successione di processi tecnologici (fusione, stampaggio, lavorazioni per asportazione

di truciolo, trattamenti termici o superficiali, etc.) scelti a priori in funzione della produttività e soprattutto della competitività che il prodotto finito dovrà raggiungere. I passi principali che devono essere eseguiti nella fabbricazione del prodotto finale sono interconnessi tra di loro e sono elencati di seguito:

- Analisi critica del disegno di progetto;
- Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza di fasi. Una fase rappresenta l'insieme ordinato di operazioni realizzate presso un medesimo posto di lavoro con o senza lo smontaggio e riposizionamento del pezzo (ad esempio: fase di fresatura, fase di tornitura..etc);
- Raggruppamento delle operazioni in sottofasi. Una sottofase rappresenta l'insieme ordinato di operazioni che possono essere realizzate presso il medesimo posto di lavoro e con un medesimo posizionamento del pezzo;
- Scelta della sequenza delle operazioni elementari all'interno di ciascuna sottofase (contornatura, sfacciatura, foratura, alesatura, rettifica..etc), la scelta sulla precedenza di una operazione rispetto alla successiva è dettata perlopiù da esigenze economiche, dimensionali e tecnologiche;
- Scelta degli utensili, bisogna sceglierli in funzione delle loro caratteristiche principali in maniera tale che siano più adatti al fine di garantire la qualità e l'economicità della produzione;
- Scelta dei parametri di taglio: profondità di passata, avanzamento, velocità di taglio, in modo che si ottimizzi l'eventuale processo di taglio;
- Scelta o progettazione delle attrezzature: riferire il pezzo nello spazio di lavoro della macchina e bloccarlo in posizione stabile e senza deformazioni. Scelta basata su analisi delle superfici del pezzo, delle lavorazioni da effettuare in ogni fase e sotto fase e sotto-fase, della fase, della precisione dimensionale precisione dimensionale e delle tolleranze. Principio di progettazione: posizionamento isostatico. Ogni corpo nello spazio (spazio di lavoro della macchina XYZ) ha 6 gradi di libertà; il principio consiste nell'eliminare i 6 gradi di libertà con il minimo numero indispensabile di punti di contatto tra pezzo e attrezzatura. Si parla di superficie di riferimento, che è quella superficie del pezzo dove sono localizzati i 6 punti dello stesso che entrano in contatto con gli elementi della attrezzatura, di superficie di partenza che è quella superficie del pezzo grezzo che svolge la funzione di superficie di riferimento durante la prima sottofase, di superficie di appoggio che è quella superficie attraverso le quali si scaricano le sollecitazioni dovute alle forze di taglio, e infine di superfici di bloccaggio lungo le quali agiscono i dispositivi di bloccaggio;
- Scelta degli strumenti e procedure di controllo;
- Calcolo dei tempi e dei costi di fabbricazione;

- Stesura dei fogli di lavorazione che contengono le informazioni necessarie a quella determinata operazione e nel caso in cui si utilizzano le macchine a controllo numerico per asportare del materiale dal pezzo grezzo si procede con la realizzazione del part program in linguaggio ISO, [8], [21].

Il presente lavoro mostra come parte dei principi appena esposti, riguardanti la produzione di componenti siano stati introdotti ed applicati nell'ambito di questo elaborato, con particolare focus sulla razionalizzazione della gestione e della scelta degli utensili di fresatura all'interno dello stabilimento produttivo di Cascina Costa (VA). In Agusta-Westland la realizzazione dei componenti destinati alla trasmissione degli elicotteri è completamente interna: la progettazione è competenza dell'area tecnica, la produzione si svolge negli stabilimenti incaricati. Nel reparto Transmission di Cascina Costa, gli ingranaggi e i carter delle trasmissioni sono realizzati mediante le classiche tecnologie per asportazione di truciolo: tornitura, fresatura, alesatura, barenatura e rettifica. Nel **primo capitolo** di questo lavoro sono illustrati i principi teorici delle lavorazioni ad asportazione di truciolo, vengono dunque spiegate con particolare riguardo le lavorazioni di fresatura, la teoria del taglio e infine vengono classificati gli utensili di fresatura in funzione delle loro caratteristiche principali; Nel **secondo capitolo** si introduce propedeuticamente la differenza tra macchina utensile tradizionale e macchina utensile CN, si parla poi successivamente del funzionamento dei centri di lavoro. Avendo fatto questa carrellata preliminare, si parla poi della gestione della gestione vera e propria degli utensili a livello aziendale; Nel **terzo capitolo** è introdotto il "caso" preso in analisi in azienda. È illustrata brevemente la storia di AgustaWestland, i prodotti da essa realizzati, la suddivisione dei vari stabilimenti, i competitor principali e i motivi che hanno spinto in questi anni l'azienda a intraprendere la via del miglioramento continuo. Dall'analisi dello scenario di partenza si evidenziano le principali problematiche e le criticità riscontrate durante il periodo di attività svolta all'interno della stessa; Il **quarto capitolo** è dedicato alla descrizione nel dettaglio ciò che è stato fatto e soprattutto all'implementazione delle soluzioni proposte per risolvere le varie criticità presenti all'interno dell'azienda. Per la loro soluzione si propongono nell'immediato i seguenti rimedi:

1. proposta di un nuovo sistema sistema di gestione della tool room;
2. analisi utensili di fresatura.

L'analisi degli utensili di fresatura comprende a sua volta i seguenti punti:

1. proposta rimozione codici utensili;
2. classificazione utensili di fresatura standard presenti in tool room;
3. proposta di una procedura operativa che tenga conto dei parametri che indirizzino i vari stakeholder nella scelta degli utensili di fresatura;
4. proposta di una nuova codifica;

5. verifica dei parametri di taglio, mediante l'analisi degli impieghi di due frese appartenenti al parco frese aziendali.

Capitolo 1

Lavorazioni di fresatura in campo aeronautico

1.1 Lavorazioni per asportazione di truciolo

Si chiamano lavorazioni per asportazione di truciolo quelle che permettono di modellare un pezzo mediante l'uso di utensili, i quali asportano un piccolo strato di materiale in eccesso, detto "truciolo", che può assumere forme diverse a seconda del materiale in lavorazione e della forma geometrica del tagliente. Alcune di queste lavorazioni possono essere eseguite al banco di lavoro, mentre altre necessitano l'impiego di specifiche macchine, dette macchine utensili. Le principali operazioni eseguite al banco di lavoro (dette anche operazioni di aggiustaggio) sono la tracciatura, la limatura, il taglio, la filettatura, la maschiatura e l'alesatura. Le operazioni che richiedono il ricorso alle macchine utensili sono invece la foratura, la tornitura, la fresatura e le lavorazioni per abrasione, [10].

1.1.1 Lavorazioni con macchine utensili

Come precedentemente anticipato, le macchine utensili sono macchine operatrici destinate alla lavorazione dei materiali metallici e non metallici tramite asportazione di truciolo, sono utilizzate per lavorare a freddo grezzi di fonderia e semilavorati di varia provenienza (profilati, estrusi..ecc) . Le macchine utensili, solitamente, prendono il nome dell'attrezzo utilizzato nella lavorazione. Si dicono macchine utensili tradizionali, quelle tale per cui si richiede che tutte le informazioni (cambio utensili, bloccaggio pezzo, parametri di taglio..etc) agli organi di movimentazione siano trasmesse dall'operatore, il quale agisce direttamente sui vari comandi, mentre si dicono macchine utensili a controllo numerico, quelle tali per cui tutte le informazioni vengono inviate

al controllore attraverso un codice alfanumerico, detto linguaggio di programmazione, che contiene una serie di istruzioni che costituiscono il programma di lavoro per quel determinato pezzo. E' comunque difficile classificare le macchine utensili tanta è la loro varietà ed il loro numero, di conseguenza, per avere un orientamento di carattere generale, possiamo classificare le macchine utensili in base al moto di lavoro, o moto principale, a seconda che quest'ultimo sia di taglio o di avanzamento. Si hanno così: macchine a moto rettilineo e macchine a moto rotatorio mediante le quali sia ha distacco di truciolo o per mezzo di utensili non rotanti, come i torni, o per mezzo di utensili rotanti come le alesatrici, i trapani, le fresatrici e le segatrici a disco. Per ogni lavorazione effettuata con macchine utensili, l'utensile e il pezzo devono compiere dei movimenti che consentono l'asportazione del truciolo secondo spessori e superfici variabili. Questi movimenti sono distinti in moti principali e moti secondari. I moti principali si distinguono in:

- Moto di taglio (L): è il movimento attraverso il quale l'utensile, opportunamente montato, effettua una singola asportazione di truciolo. Ha lo scopo di creare la necessaria velocità relativa fra pezzo e utensile, e può essere rotatorio o rettilineo;
- Moto di avanzamento (A): è quello che, aggiunto al moto di taglio, favorisce l'asportazione dei trucioli e ne rende possibile l'asportazione in maniera ripetuta e continua. Può essere continuo o intermittente;
- Moto di lavoro (P): è la composizione simultanea di moto taglio e di moto di avanzamento.

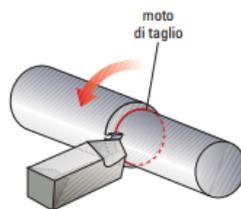


Figura 1.1: Moto di taglio utensile-pezzo, [10].

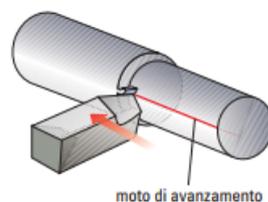


Figura 1.2: Moto di avanzamento utensile-pezzo, [10].

I moti secondari si distinguono in:

- Moto di registrazione: è il moto che determina la posizione dell'utensile rispetto al pezzo posto in lavorazione, prima che inizi il lavoro o alla ripresa dello stesso utensile dopo una passata (passaggio in una direzione dell'utensile sulla superficie del pezzo da lavorare);
- Moto di avanzamento (A): è quello che, aggiunto al moto di taglio, favorisce l'asportazione dei trucioli e ne rende possibile l'asportazione in maniera ripetuta e continua. Può essere continuo o intermittente;
- Moto di alimentazione: è il moto che regola la posizione del pezzo o dell'utensile determinando la profondità con cui l'utensile penetra nel pezzo da lavorare.

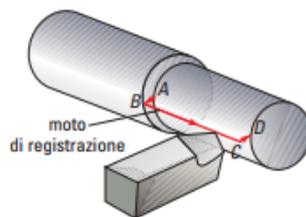


Figura 1.3: Moto di registrazione utensile-pezzo, [10].

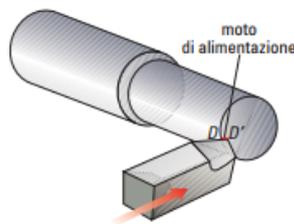


Figura 1.4: Moto di alimentazione utensile-pezzo, [10].

La velocità di taglio, intesa come velocità relativa tra l'utensile e il pezzo in lavorazione nel punto in cui avviene l'asportazione di truciolo, è un dato di importanza fondamentale, da tener sempre presente nelle lavorazioni alle macchine utensili. Una corretta scelta della velocità di taglio, ricavata da apposite tabelle, non solo assicura la buona esecuzione del lavoro e la riduzione dei tempi di lavorazione, ma soprattutto evita il rapido deterioramento dell'utensile, è dunque necessario seguire il più possibile le informazioni dei cataloghi che le case produttrici di utensili forniscono ai loro clienti, [10], [8].

1.2 Fresatura

La fresatura è una delle lavorazioni più versatili e si basa sull'utilizzo di un utensile pluritagliente che ruota asportando del materiale dal pezzo grezzo, al fine di ottenere una ampia varietà di caratteristiche geometriche. L'operazione di fresatura consente il distacco del truciolo tramite un utensile rotante a facce taglienti multiple (frese) o singole (coltello) montato su apposite macchine chiamate fresatrici. I moti di lavoro che caratterizzano l'operazione di fresatura sono illustrati nella seguente figura.

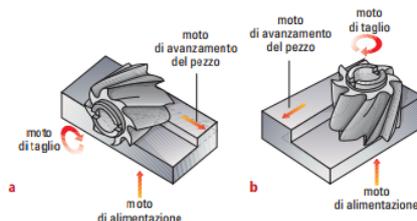


Figura 1.5: Moti di lavoro fresatura orizzontale e verticale, [10].

L'operazione di fresatura consente di asportare materiale in eccesso mediante un vero proprio processo di taglio, in cui la fresa deve essere naturalmente più dura e resistente rispetto al pezzo da lavorare. Si può dunque dire che il processo di taglio operato mediante utensili di fresatura è assimilabile ad un processo di deformazione plastica, nel quale si inducono delle deformazioni permanenti al pezzo da lavorare, al fine di ottenere la sua forma finale che è imposta dal disegno. Il processo di deformazione plastica appena introdotto, può essere definito da evidenze sperimentali sia a livello microscopico che a livello macroscopico. A livello microscopico, possiamo immaginare che i grani cristallini del materiale da lavorare siano inizialmente strutturati in modo uniforme, e durante la formazione di truciolo si ha che questi si deformano a causa di una tensione di taglio andandosi così ad allungare secondo una direzione ben precisa di scorrimento, a seguito di ciò si ottengono dei grani sul truciolo che sono tutti allungati e ristretti. A livello macroscopico invece, si può registrare un forte aumento di temperatura non giustificato dal solo attrito tra le parti in moto relativo accompagnato da un aumento di spessore e di durezza del truciolo rispetto ai valori teorici, [1], [2].

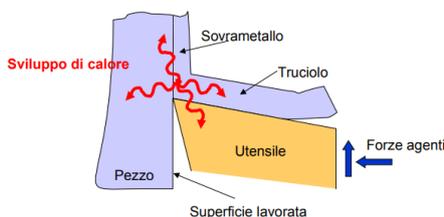


Figura 1.6: Processo di taglio generale, [7].

Così come per studiare un sistema meccanico è necessario definire un sistema adeguato che comprenda o meno le parti in esame, anche per analizzare il processo di taglio è necessario definire un sistema costituito dai seguenti elementi: pezzo da lavorare, utensile, porta utensile, attrezzatura e macchina utensile. L'operazione di taglio parte sempre dal pezzo che viene fissato dall'operatore sul banco di lavoro mediante opportuna attrezzatura, una volta ottenuto il bloccaggio di tutti i suoi movimenti col numero più piccolo di vincoli (sistema isostatico), viene lavorato mediante l'utilizzo di un utensile di fresatura di adeguata geometria e durezza. L'utensile è a sua volta collegato attraverso il portautensile alla macchina utensile, che si occupa di generare i moti relativi pezzo-utensile e le forze necessarie per l'azione di taglio. Andiamo ora a introdurre i modelli di taglio affinché ci si possa rendere conto dell'effetto che gli angoli caratteristici hanno sugli utensili di fresatura, [1], [2].

1.3 Meccanica del taglio 2D

Per studiare che cosa accade meccanicamente andiamo a veder un modello bidimensionale di taglio ottenuto sezionando un taglio che generalmente è in tre dimensioni. Mediante l'uso di questo modello, noto come taglio ortogonale libero, si ipotizza che, non ci siano fenomeni di deformazione nel senso della larghezza del taglio, l'utensile ha una larghezza superiore al pezzo da lavorare e si muove parallelamente a quest'ultimo con una certa velocità di taglio e una profondità di passata h_0 , [1], [2].

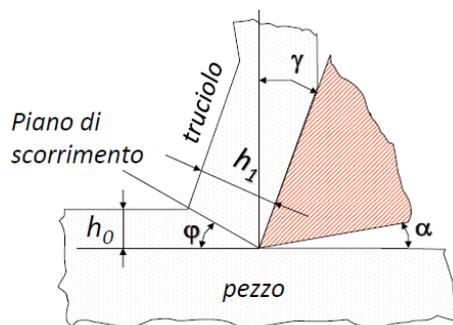


Figura 1.7: Modello di taglio 2D, [2].

Nella figura lo strumento a forma di cuneo che si impegna per rimuovere il metallo in eccesso è l'utensile che è costituito da due elementi fondamentali: il petto e il dorso, il petto è quella parte al di sopra del quale scorre il truciolo mentre il dorso ne rappresenta la parte inferiore. Andiamo a introdurre i parametri principali di questo studio:

- α angolo di spoglia dorsale, formato tra dorso e pezzo in lavorazione;

- γ angolo di spoglia principale, angolo formato tra petto e la normale al pezzo in lavorazione, è positivo se il petto forma con la direzione di taglio un angolo minore di 90° , negativo in caso contrario;
- ϕ angolo di scorrimento del truciolo rispetto al pezzo;
- β angolo di taglio, angolo tra petto e dorso ($\alpha + \gamma + \beta = 90^\circ$);
- h_0 , spessore del truciolo indeformato;
- h_1 , spessore del truciolo misurato perpendicolarmente al petto dell'utensile.

Il processo di taglio può essere schematizzato come segue:

- Penetrazione del tagliente dell'utensile nello spessore h_0 del materiale;
- Compressione e conseguente deformazione plastica del materiale con scorrimento secondo il piano AC definito piano di taglio o scorrimento;
- Distacco dello strato metallico attaccato all'utensile che si trasforma quindi in truciolo;
- Scorrimento del truciolo sul petto dell'utensile

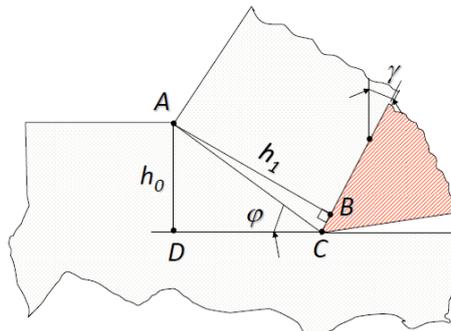


Figura 1.8: Rappresentazione schematica taglio 2D, [2].

Introduciamo il cosiddetto rapporto o fattore di ricalcamento:

$$r_c = \frac{AD}{AB} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (1.1)$$

Da questa equazione si può evincere la seguente formula:

$$\tan(\phi) = \frac{\cos(\gamma)}{\frac{1}{r_c} - \sin(\phi)} \quad (1.2)$$

il fattore di ricalcamento (minore di 1 sempre) può essere misurato andando a valutare lo spessore del truciolo deformato, infatti è dato dal rapporto tra la profondità di passata e quest'ultimo valore misurato, mentre γ è noto dalla geometria dell'utensile.

1.3.1 Modello di formazione del truciolo di Pijspanen

Ipotizzando un modello di taglio ortogonale libero sono stati proposti diversi modelli per rappresentare la formazione del truciolo. Uno dei più noti è il modello di formazione per scorrimento o modello di Pijspanen, in cui si suppone che la deformazione avvenga per scorrimento di blocchi rigidi di materiale a forma di parallelogramma in corrispondenza del piano di scorrimento. È necessario osservare che questo modello non considera la presenza delle forze d'attrito nella zona di contatto truciolo-petto dell'utensile; in effetti si tratta di una elaborazione geometrica del problema di taglio che prescinde dall'imposizione dell'equilibrio delle forze agenti, e questa è in effetti una delle sue limitazioni. Ricordando che in una deformazione a taglio si ha:

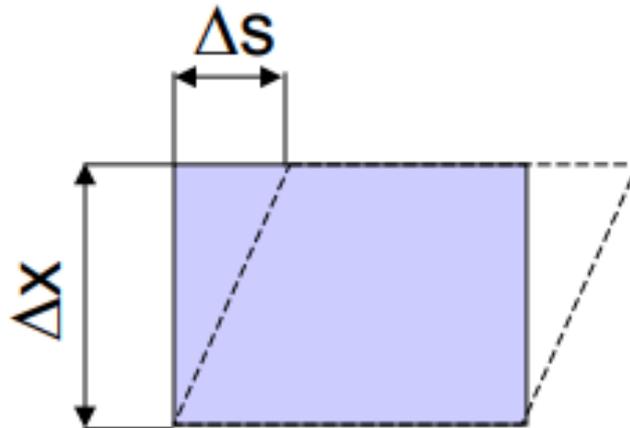


Figura 1.9: Rappresentazione schematica deformazione di taglio

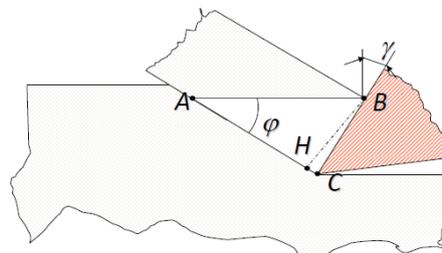


Figura 1.10: Scorrimento del truciolo,[2].

$$\begin{aligned}
\gamma &= \frac{\Delta s}{\Delta x} \\
&= \frac{AC}{BH} \\
&= \frac{AH + HC}{BH} \\
&= \frac{BH \cot(\phi) + BH \tan(\phi - \gamma)}{BH} \\
&= \cot(\phi) + \tan(\phi - \gamma)
\end{aligned} \tag{1.3}$$

da questa equazione si può notare che le deformazioni per scorrimento più elevate sono associate a piccoli angoli di scorrimento e da angoli di spoglia superiore o principale piccoli o negativi. Poiché lo spessore del truciolo h_1 è maggiore dello spessore del truciolo indeformato h_0 , la velocità dello spessore del truciolo V_f è inferiore alla velocità di taglio V_t infatti per la continuità il flusso di materiale attraverso lo spessore del truciolo indeformato con una velocità di taglio, una volta che poi è diventato truciolo lo spessore diventa quello del truciolo deformato, con una velocità detta di flusso dello stesso.

$$V_t * h_0 = V_f * h_1 \tag{1.4}$$

o meglio:

$$V_f = V_t * r_c \tag{1.5}$$

$$V_f = V_t * \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)} \tag{1.6}$$

La velocità assoluta dello spessore del truciolo V_1 è inferiore alla velocità di taglio. Ora, siccome conosciamo per il tipo di lavorazione la velocità di movimento relativo tra utensile e pezzo, cioè la velocità di taglio V_t andiamo a considerare, secondo le leggi della meccanica applicata, un triangolo di velocità. All'interno del triangolo di velocità, presente nella seguente figura, si possono evincere oltre alla velocità di taglio altrettante due velocità, la velocità di scorrimento del truciolo sul piano di scorrimento e la velocità di flusso, cioè la velocità del truciolo che fluisce sul petto dell'utensile, [2].

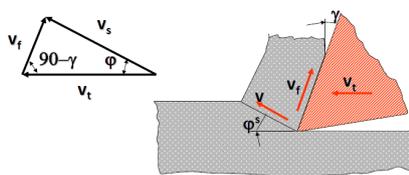


Figura 1.11: Rappresentazione triangolo di velocità, [2].

Risolviendo questo semplice problema attraverso il teorema dei seni, otteniamo:

$$\frac{V_t}{\cos(\phi - \gamma)} = \frac{V_f}{\sin(\gamma)} \quad (1.7)$$

1.3.2 Modello di Formazione del Truciolo di Ernst-Merchant

La conoscenza delle forze di taglio è importante per una corretta progettazione delle macchine utensili, in modo tale che queste siano sufficientemente rigide, sia dal punto di vista statico, quindi evitando eccessive deformazioni, sia dal punto di vista dinamico per evitare eccessive vibrazioni. La potenza richiesta è la potenza necessaria che deve essere nota per consentire la scelta o la progettazione di una macchina utensile. I vari fattori che influenzano le forze e la potenza richieste nel taglio ortogonale libero sono descritte dal modello di Ernst e Merchant. Secondo questo modello le forze di taglio si possono avere in tre direzioni di scomposizione:

- Direzione parallela e ortogonale alla velocità di taglio, con le forze F_t e F_n ;
- Direzione parallela e ortogonale al piano di scorrimento, con le forze F_s e N_s ;
- Direzione parallela e ortogonale alla faccia dell'utensile, con le forze F e N . F , è la forza che si sviluppa a causa dello strisciamento del truciolo sul petto dell'utensile mentre N , è la pressione esercitata dal truciolo sul petto del tagliente. Ovviamente F e N sono legate dal coefficiente di attrito presente tra petto utensile e truciolo, infatti individuiamo l'angolo di attrito β che può essere così definito:

$$\tan(\beta) = \frac{F}{N} \quad (1.8)$$

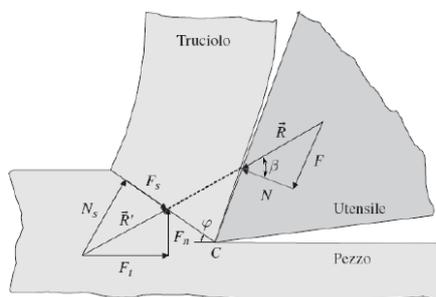


Figura 1.12: Rappresentazione scomposizione forze, [2].

R può essere definita la risultante dell'azione di taglio, è rappresenta la forza che l'utensile sta trasmettendo al pezzo per formare il truciolo, per il principio di azione e reazione il pezzo reagisce con una azione uguale e contraria Per trovare le varie sollecitazioni andiamo a utilizzare il cosiddetto cerchio di Merchant:

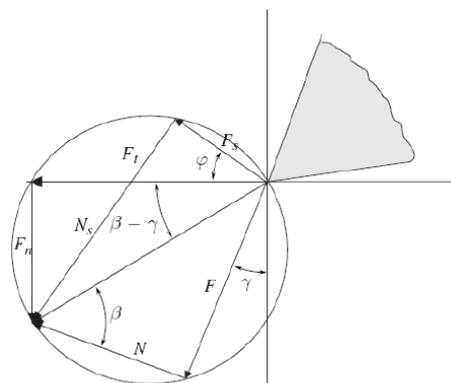


Figura 1.13: Rappresentazione cerchio di Merchant, [2].

Per disegnare il cerchio di Merchant, andiamo innanzitutto a rappresentare un cerchio il cui diametro è la risultante delle forze R applicata sullo spigolo del tagliente. una volta ottenuto il cerchio di diametro R, andiamo a considerare questa forza in due componenti di forza secondo le direzioni rispettivamente orizzontale F_t e verticale F_n . A questo punto, andiamo ora a comporre il diametro R del cerchio anche secondo le altre due direzioni che sono rispettivamente quella del petto dell'utensile e quella del piano di scorrimento, inclinata di un angolo pari a ϕ . Per comporre R secondo la direzione del petto dell'utensile, si estende una retta a partire dallo spigolo tagliente di quest'ultimo inclinata di un angolo γ rispetto alla direzione normale fino ad incrociare il cerchio di Merchant, ottenendo la componente F, subito dopo, a partire da questa ci si muove con una direzione ortogonale individuando la componente N. Per comporre R secondo la direzione del piano di scorrimento, si estende una retta con pendenza

pari all'angolo ϕ rispetto alla direzione orizzontale, individuando di conseguenza la componente F_s , una volta fatto ciò si ripete il passaggio precedente, cioè si parte da una direzione ortogonale a questa appena delineata per individuare la componente N_s , le due componenti appena delineate, così come quelle precedenti, andranno per il metodo punta-coda di somma delle forze ad individuare, una volta sommate, la risultante R, [1], [2] Andiamo ora di seguito a calcolare le varie componenti di R, che sono le forze nel taglio ortogonale libero:

$$F = R * \sin(\beta) \quad (1.9)$$

$$N = R * \cos(\beta) \quad (1.10)$$

$$F_t = R * \cos(\beta - \gamma) \quad (1.11)$$

$$F_n = R * \sin(\beta - \gamma) \quad (1.12)$$

$$F_s = R * \cos(\phi + \beta - \gamma) = A_s * \tau_s \quad (1.13)$$

$$N_s = R * \sin(\phi + \beta - \gamma) \quad (1.14)$$

1.4 Meccanica del taglio obliquo

La maggior parte delle lavorazioni per asportazione utilizza geometrie dell'utensile tridimensionali, infatti, dal punto di vista reale si parla di taglio obliquo.

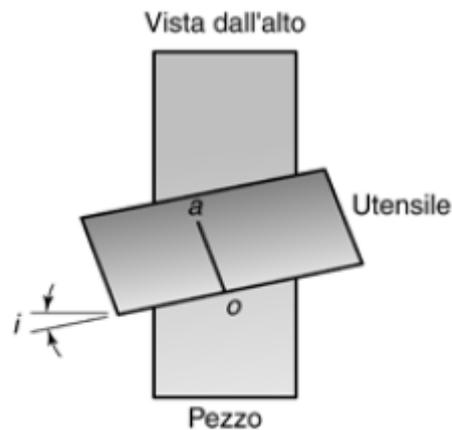


Figura 1.14: Rappresentazione dall'alto taglio obliquo, [2].

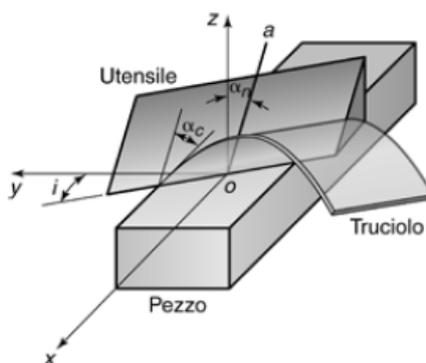


Figura 1.15: Rappresentazione del taglio obliquo, [2].

Mentre nel taglio ortogonale il tagliante è perpendicolare al movimento dell'utensile e il truciolo scorre sul petto nella stessa direzione in cui si muove l'utensile, nel taglio obliquo, il tagliante forma l'angolo i , chiamato angolo di inclinazione, positivo se l'utensile si trova sotto il piano di riferimento. Come è visibile nella figura il truciolo fluisce sul petto dell'utensile formando un angolo α_c , definito come angolo di deflusso del truciolo misurato sul petto dell'utensile, questo angolo può essere visto in perfetta analogia con l'inclinazione della lama dei mezzi spazzaneve, che consente di spostare lateralmente la neve. L'angolo α_n è l'angolo di spoglia superiore misurato nella sezione normale, rispetto al tagliante, ed è una caratteristica geometrica fondamentale dell'utensile. È l'angolo compreso tra la normale oz alla superficie del pezzo e linea oa sul petto dell'utensile. Il materiale del pezzo si avvicina all'utensile a una velocità V e lascia la superficie del pezzo, come truciolo, alla velocità V_c . L'angolo di spoglia superiore effettivo α_e , misurato nel piano formato da tali velocità, si può calcolare come segue. Assumendo che l'angolo di deflusso del truciolo sia pari all'angolo di inclinazione, ipotesi approssimativamente valida dal punto di vista sperimentale, l'angolo di spoglia effettivo α_e , è dato da:

$$\alpha_e = \sin^{-1}(\sin^2(i) + \cos^2(i) * \sin^2(\alpha_n)) \quad (1.15)$$

Poiché i e α_n , possono essere entrambi misurati, questa formula può essere utilizzata per calcolare il valore dell'angolo di spoglia superiore effettivo. È da notare che se i aumenta, aumenta anche l'angolo di spoglia superiore effettivo e il truciolo diventa più sottile e lungo, [2]. Andiamo a vedere di seguito le varie tipologie di truciolo in funzione dell'angolo i di inclinazione:

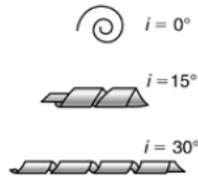


Figura 1.16: Rappresentazione forma truciolo in funzione di i , [2].

Problematiche relative al processo di taglio: Andiamo di seguito ad introdurre le problematiche relative al processo di taglio che influenzano la vita dell'utensile di fresatura:

- Calore;
- Usura;

Andiamo ad analizzare separatamente i due fenomeni: Il **calore** che si viene a generare durante il processo di taglio è dovuto essenzialmente alla deformazione e allo strisciamento del materiale in lavorazione sul petto dell'utensile, questo calore viene poi smaltito per mezzo del truciolo che si produce nel processo di asportazione stessa. Come è evidente dalle seguenti figure, nonostante le sollecitazioni termiche siano elevate, queste non danneggiano il materiale del pezzo in lavorazione, ma al massimo si possono creare delle piccole tensioni superficiali residue, positive nel caso si una successiva sollecitazione a fatica del pezzo in questione.

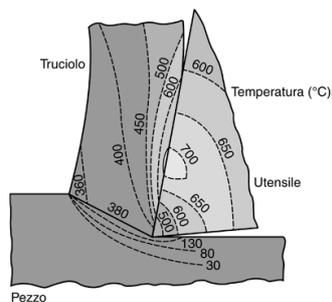


Figura 1.17: Distribuzione di Temperatura tra Utensile e Pezzo, [2].

Come è evidente dalla figura successiva, ad alte velocità di taglio, il calore ha meno tempo di disperdersi, quindi una quantità maggiore viene portata via dal truciolo, a basse velocità di taglio, invece, ci sono alte percentuali di calore sia sull'utensile che sul pezzo:

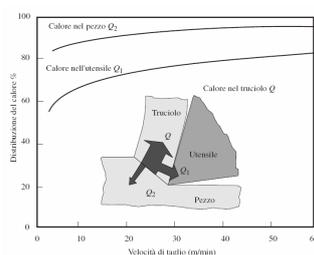


Figura 1.18: Calore in funzione della Velocità di Taglio, [2].

Per ovviare a problemi di eccessivo calore si usano nelle lavorazioni i fluidi lubrorefrigeranti, che come dice la parola stessa hanno lo scopo sia di lubrificare le parti in lavorazione, riducendo gli attriti, che di raffreddare la zona di taglio, riducendo sia la temperatura che le eventuali distorsioni del pezzo, aumentando la durata dell'utensile. Può accadere che in alcuni frangenti utilizzare olio lubrorefrigerante può portare ad avere effetti negativi, quali, ad esempio in operazioni di taglio interrotto, dove l'azione refrigerante del fluido da taglio provoca l'alternanza di riscaldamento e raffreddamento dell'utensile, condizione che può provocare su quest'ultimo cricche di fatica termica. Inoltre è da ricordare che i fluidilubrorefrigeranti possono rendere il truciolo più arricciato concentrando di conseguenza gli sforzi vicino alla punta dell'utensile, e di conseguenza riducendone la durata a causa della concentrazione di calore in tale zona. Siccome i fluidilubrorefrigeranti presentano problemi di smaltimento oli esausti, stanno acquisendo nell'ambito manufacturing maggiore rilievo le lavorazioni a secco, che non prevedono l'uso né di refrigeranti e né di lubrificanti. Naturalmente se si lavora a secco si hanno temperature più elevate che portano a problemi di usura più celere dell'utensile, proprio per ovviare a questo tipo di problemi esistono in commercio alcuni materiali e rivestimenti per gli utensili che ne garantiscono una loro durata accettabile. Le lavorazioni a secco, smaltiscono il calore perché sono delle vere e proprie lavorazioni ad alta velocità, che permettono di trasferire più calore dalla zona di taglio al truciolo. Si ha **usura** quando l'utensile non mantiene la sua geometria e affilatura iniziali per un tempo infinito a causa di sollecitazioni meccaniche cicliche, termiche e chimiche a cui è sottoposto durante la lavorazione. Un utile modello per valutare l'usura è la legge di Taylor:

$$V_t * T^n = C \quad (1.16)$$

Per ciascuna combinazione di utensile di fresatura e pezzo e per ciascuna condizione di taglio si hanno valori specifici di n e C . In base alla relazione suddetta si deduce che aumentando la velocità di taglio diminuisce la durata dell'utensile e viceversa. Le forme di usura più comuni sono l'usura sul fianco, che si manifesta col labbro di usura, e l'usura sul petto che si manifesta col il cosiddetto cratere di usura,[2].

1.5 Utensile monotagliente

Prima dell'introduzione delle varie tipologie di utensili di fresatura, è necessario introdurre il modello dell'utensile monotagliente, che fa riferimento alle lavorazioni di tornitura.

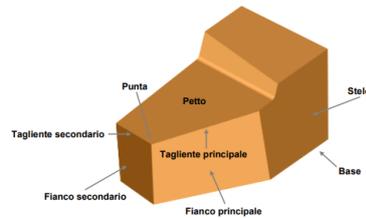


Figura 1.19: Utensile monotagliente, [7].

Andiamo ora a introdurre gli elementi dell'utensile monotagliente, con particolare riferimento alle lavorazioni di tornitura. Gli elementi afferenti all'utensile sono: la testa, lo stelo, la base, il petto (o faccia) e i fianchi. La testa è la parte dell'utensile dove si trovano sia le superfici attive che i taglienti, mentre lo stelo, rappresenta la rimanente parte dell'utensile e ha la funzione di appoggio sulla torretta portautensile della macchina e la base, rappresenta la superficie dello stelo che appoggia sul porta-utensile. Il petto, è la superficie attiva della testa sulla quale si forma e scorre il truciolo prodotto, i fianchi, invece, sono le superficie attive della testa adiacenti alla faccia, e possono essere suddivisi in fianco principale, se la superficie attiva è prospiciente la superficie in lavorazione, e fianco secondario, se la superficie attiva è prospiciente la superficie lavorata. Le intersezioni della faccia con i fianchi creano i taglienti dell'utensile. I taglienti si dividono a loro volta in: tagliente principale, e tagliente secondario. Il tagliente principale si ricava dall'intersezione della faccia con il fianco principale, mentre il tagliente secondario si ricava dall'intersezione della faccia con il fianco secondario. Viene poi definito profilo dell'utensile, la linea continua costituita dal tagliente principale e dal tagliente secondario, mentre la punta è il punto di unione del tagliente principale e del tagliente secondario, zona che, come abbiamo anticipato in precedenza, è in genere raccordata, [1].

1.5.1 Angoli caratteristici

Per quanto riguarda la definizione degli angoli caratteristici dell'utensile monotagliente, si considera come sistema di riferimento l'asse dello stelo e un piano passante per la punta dell'utensile e parallelo al piano di base.

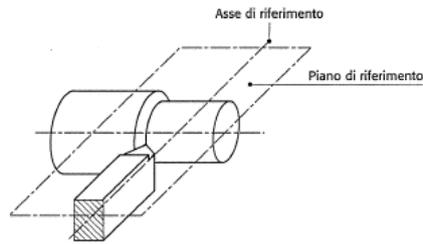


Figura 1.20: Sistema di riferimento, [1].

Gli angoli caratteristici degli utensili monotaglienti possono classificarsi in: angoli della sezione normale, angoli del profilo, angoli di registrazione. Gli angoli della sezione normale e gli angoli del profilo sono propri dell'utensile [1].

1.5.2 Angoli della sezione normale

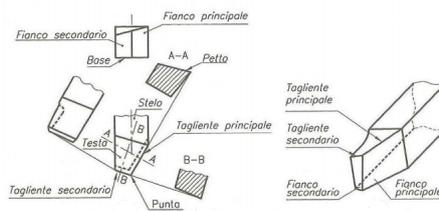


Figura 1.21: Angoli della sezione normale, [1].

- γ : angolo di spoglia superiore, formato dal petto con il piano di riferimento, misurato in una sezione A-A normale alla proiezione del tagliente principale sul piano di riferimento, [1];
- α : angolo di spoglia inferiore principale, formato dal fianco principale con un piano contenente il tagliente principale e normale al piano di riferimento, misurato nella sezione A-A sopra definita, [1];
- α' : angolo di spoglia inferiore secondario, formato dal fianco secondario con un piano contenente il tagliente secondario e normale al piano di riferimento, misurato in una sezione B-B normale alla proiezione del tagliente secondario sul piano di riferimento, [1];
- β : angolo di taglio, formato dal petto con il fianco principale, misurato nella sezione A-A sopra definita, [1].

Tra l'angolo di spoglia superiore, l'angolo di spoglia inferiore principale e l'angolo di taglio sussiste la seguente relazione, [1]:

$$\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma) \quad (1.17)$$

1.5.3 Angoli del profilo

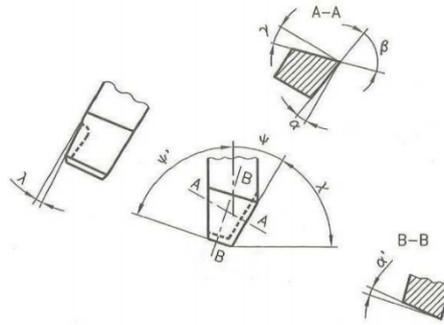


Figura 1.22: Angoli del profilo, [1].

- ψ : angolo del tagliente principale, formato dalle proiezioni del tagliente principale e dell'asse dello stelo sul piano di riferimento, [1].;
- ψ' : angolo del tagliente secondario, formato dalle proiezioni del tagliente secondario e dell'asse dello stelo sul piano di riferimento, [1].;
- ϵ : angolo dei taglienti, formato dalle proiezioni del tagliente principale e secondario sul piano di riferimento, [1].;
- i : angolo di inclinazione del tagliente principale, formato dal tagliente principale con il piano di riferimento (positivo se il tagliente si trova sotto il piano di riferimento), [1].;

Tra l'angolo del tagliente principale e l'angolo del tagliente secondario sussiste la seguente, [1]:

$$\epsilon = \psi + \psi' \quad (1.18)$$

1.5.4 Angoli di registrazione

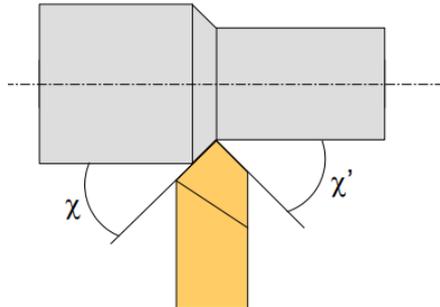


Figura 1.23: Angoli di registrazione utensile-pezzo, [1].

- χ : angolo di registrazione del tagliente principale, formato dalla proiezione del tagliente principale e della superficie lavorata sul piano di riferimento, [1];
- χ' : angolo di registrazione del tagliente secondario, formato dalla proiezione del tagliente secondario e della superficie lavorata sul piano di riferimento, [1];

Sussiste la seguente relazione generale, [1]:

$$\chi + \epsilon + \chi' = 180^\circ \quad (1.19)$$

1.6 Utensili di fresatura

Le frese sono utensili multi taglienti di rotazione. A seconda della tipologia di fresa, i vari taglienti sono disposti su varie categorie di superfici: cilindriche, piane, coniche, di forma, ecc. La forma dei taglienti può essere rettilinea o elicoidale, i taglienti di tipo elicoidali sono preferibili per la loro azione progressiva imposta durante il processo di taglio. Ogni dente appartenente alla superficie della fresa, a sua volta è costituito dal petto e dal fianco, e dunque ognuno di essi, può essere studiato come un utensile monotagliente, caratterizzato dai propri parametri geometrici come, l'angolo di spoglia superiore, l'angolo di taglio e l'angolo di spoglia inferiore, necessari per una corretta asportazione del truciolo. Le frese possono essere interamente costituite di materiale da utensile oppure possono avere i taglienti riportati. Queste ultime sono ormai gli utensili più diffusamente impiegati perché consentono una elevata produzione, conducono a superfici lavorate ottimamente rifinite, permettono di lavorare materiali ad elevata resistenza, [13], [12].

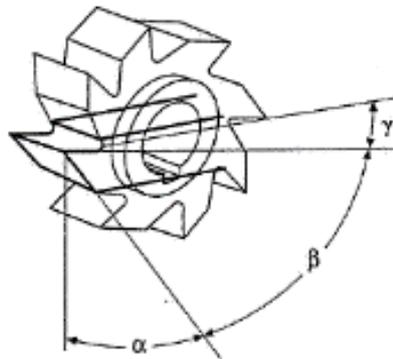


Figura 1.24: Generica fresa, [1].

Il dente della fresa possono essere di due tipologie: i denti fresati o denti di sega e i denti spogliati o a profilo costante,[1]. I denti fresati o denti di sega, sono di largo uso e possono essere a loro volta classificati in funzione dell'esecuzione, che può essere di tre tipologie, esecuzione N, esecuzione D e esecuzione T.

- esecuzione N, con denti numerosi, viene usata per materiali di grande durezza, con angoli $\alpha=4^{\circ}-5^{\circ}$ e $\gamma=5^{\circ}-10^{\circ}$, [1];
- esecuzione D, con pochi denti robusti e di tipo elicoidale a forte inclinazione per lavorare prettamente materiali duri, con angoli $\alpha=3^{\circ}-4^{\circ}$ e $\gamma=3^{\circ}-8^{\circ}$, [1];
- esecuzione T, con pochissimi denti, per lavorare materiali teneri e avere forti velocità di taglio, con angoli $\alpha=6^{\circ}-8^{\circ}$ e $\gamma=15^{\circ}-25^{\circ}$, [1]

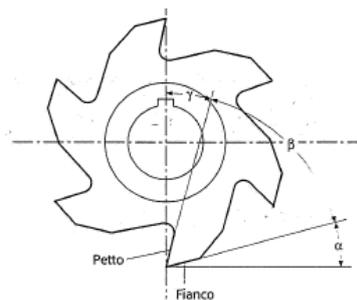


Figura 1.25: Geometria a denti fresati, [1].

I denti spogliati o a profilo costante, sono impiegati solamente negli utensili di fresatura utilizzati nella realizzazione di scanalature e produzione di ruote dentate. Il fianco dei taglienti è profilato secondo archi di spirale logaritmica (o di Archimede) e come si può osservare dalla seguente figura ogni dente conserva la medesima forma se sezionato con

piani passanti per l'asse della fresa, allora proprio per quello che abbiamo appena detto, si può affermare che l'angolo di spoglia superiore γ è pari a zero e di conseguenza le successive affilature vengono eseguite sul petto conservando questa caratteristica. Ciò porta a una riduzione del diametro della fresa, ma ciò non rappresenta un inconveniente. Tuttavia la presenza di un angolo di spoglia superiore nullo comporta forze di taglio elevate e quindi avanzamenti limitati dalla resistenza meccanica del dente, quindi in pratica bassa produttività, [1].

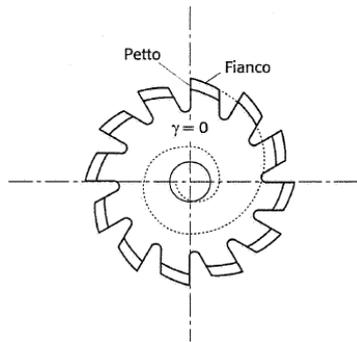


Figura 1.26: Geometria a denti spogliati, [1].

Andiamo ora a catalogare le varie tipologie di frese, tenendo conto per ogni particolare fresa anche delle varie lavorazioni che con essa si possono ottenere sul pezzo grezzo, [1], [17]. La prima famiglia di frese è rappresentata dalle frese cilindriche, che hanno i taglienti disposti su una superficie cilindrica e sono utilizzate per realizzare lavorazioni di spianatura. Il loro montaggio viene effettuato grazie all'utilizzo dell'albero porta-fresa, che ha un asse di rotazione parallelo alla superficie da lavorare, [12].

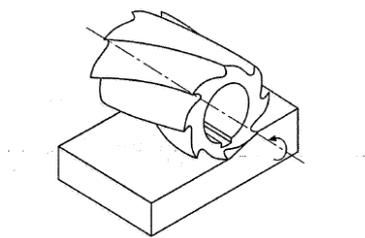


Figura 1.27: Fresa cilindrica a denti elicoidali, [1].

La seconda famiglia di frese è costituita dalle frese cilindrico-frontali che hanno anche esse i taglienti disposti su una superficie cilindrica. Appartengono a questa categoria: le frese a manicotto solitamente usate per lavorazioni di spianatura, le quali presentano un asse di rotazione ortogonale alla superficie da lavorare, le frese per spianare, le frese a codolo cilindrico o conico, le quali sono impiegate per molte lavorazioni quali

scanalatura, contornatura esterna e interna e incavatura, e le frese a codolo a estremità emisferica, per lavorazione di superfici complesse quali incisioni di stampi, [12].

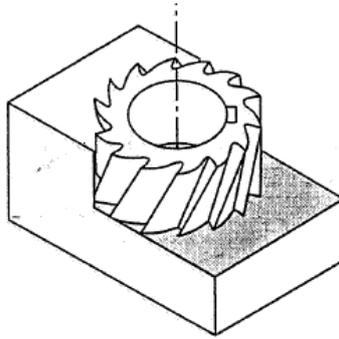


Figura 1.28: Fresa a manicotto, [1].

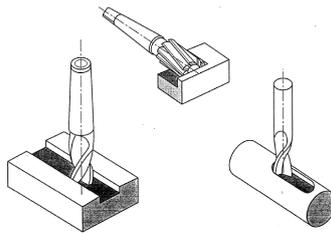


Figura 1.29: Fresa a codolo per incavatura, [1].

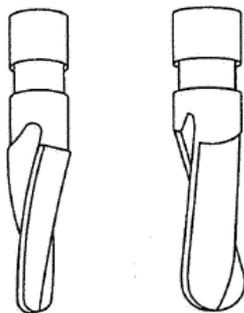


Figura 1.30: Fresa raggiata, [1].

La terza famiglia di frese è costituita dalle frese a disco a tre tagli e a due tagli. I taglienti che siano tre o due sono disposti su una superficie cilindrica e su una superficie

cilindrica e su due superfici piane perpendicolari all'asse della prima, nel caso di tre tagli, mentre nel caso di due tagli, si ha che i taglienti sono disposti solo sulle due superfici piane perpendicolari. Generalmente vengono montate sull'albero porta-fresa, e sono utili per realizzare scanalature, [12]. La quarta famiglia di frese è costituita dalle frese per scanalature a T, con codolo che può essere cilindrico o conico e i denti che possono essere dritti o elicoidali disposti su tre superfici, una cilindrica e due piane. Per poter eseguire una scanalatura a T con una fresa di questo tipo è ovviamente preceduta dalla realizzazione di una scanalatura a sezione rettangolare con un altro tipo di fresa, necessaria per il passaggio del codolo, [12].

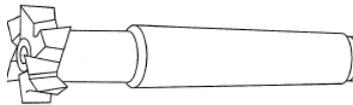


Figura 1.31: Fresa a T, [1].

La quinta famiglia di frese è costituita dalle frese ad angolo, con denti situati su due superfici coniche simmetriche e non per la realizzazione di scanalature a generatrice rettilinea, con denti disposti su una superficie conica e una piana usate per esempio per la realizzazione di guide a coda di rondine, [12].

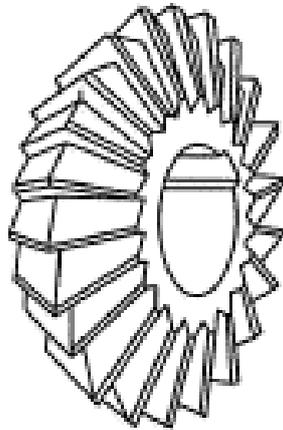


Figura 1.32: Fresa biconica, [1].



Figura 1.33: Fresa piano-conica, [1].

La sesta famiglia di frese è costituita dalle frese a profilo costante, solitamente con denti spogliati, che sono usate per la realizzazione di scanalature. Le più comuni sono: le frese modulari usate per il taglio di ruote dentate a denti dritti o elicoidali, le frese con profilo semicircolare convesso, le frese con profilo semicircolare concavo.

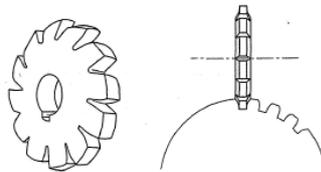


Figura 1.34: Fresa modulare, [1].

Capitolo 2

Gestione degli utensili nell'industria manifatturiera

2.1 Centri di lavoro

Prima dell'avvento dell'automazione nell'industria manifatturiera, le macchine che consentivano di generare componenti industriali con particolari geometrie erano le macchine utensili tradizionali, che sono state poi sostituite dall'avvento del controllo numerico, che ha consentito di eliminare numerose variabili della lavorazione quali: la professionalità dell'operatore a bordo macchina e gli elevati tempi passivi di lavorazione. I tempi passivi di lavorazione sono connessi alla lavorazione, ma sono in generale intervalli temporali in cui non viene effettuata l'operazione di taglio vera e propria ma sono sempre e comunque necessari per la produzione di un pezzo con macchina utensile tradizionale. I tempi passivi possono essere connessi con operazioni di montaggio e smontaggio del pezzo sulle attrezzature, oppure con l'impostazione dei parametri di taglio mediante azionamenti di leveraggi, o infine con il posizionamento e cambio degli utensili sul mandrino. Il principale vantaggio della tecnologia a controllo numerico è stato quello di controllare automaticamente, con elevata precisione e ripetibilità i moti necessari per la produzione di un pezzo sulla base di un opportuno programma scritto in un appropriato linguaggio di programmazione standardizzato ISO. Tale tecnica permette, per esempio, di controllare contemporaneamente il movimento di alimentazione di un pezzo in fresatura secondo le tre direzioni dello spazio (chiamate in seguito assi controllati) ottenendo superfici lavorate di forma complessa, difficilmente ottenibili con altre tecniche. Questo permette di ottenere una elevata flessibilità, infatti, nel momento in cui viene cambiata la filosofia di produzione aziendale di un determinato pezzo, basta soltanto cambiare il programma relativo senza dover cambiare tipologia di attrezzatura. Nel precedente capitolo è stato introdotto il principio di funzionamento della fresatrice con i relativi moti di taglio, avanzamento, lavoro,

registrazione e alimentazione. Tutto questo consente di farci capire come i moti che si generano in una macchina utensile monoscopo sia di tipo tradizionale che a controllo numerico, possano creare le superfici del prodotto finito imposte dal disegno del pezzo. Data la versatilità di lavorazioni che vengono eseguite in ambito manufacturing, sono successivamente nate le cosiddette macchine a controllo numerico multiscopo, o centri di lavoro. I centri di lavoro sono in grado di effettuare le varie tipologie di lavorazione di cui un pezzo necessita, infatti utilizzando questa unica tipologia di macchina si è in grado di sostituire due o più macchine specifiche. I centri di lavorazione a controllo numerico sono macchine multiscopo altamente flessibili sulle quali, grazie a un elevato numero di utensili disponibili in un magazzino, è possibile effettuare lavorazioni diverse imposte da disegno di cui il pezzo necessita, ad esempio filettatura, alesatura, fresatura, allargatura..ecc. Per operare la scelta del migliore centro di lavoro è necessario prendere in considerazione le varie specifiche fornite dal fornitore della macchina in modo da scegliere la macchina più adeguata in funzione del tipo di esigenza. Una delle più importanti caratteristiche tecniche da prendere in considerazione nella scelta del più adeguato centro di lavoro è il cosiddetto cubo di lavoro della macchina, che rappresenta l'estensione della zona dove può operare il mandrino della macchina stessa secondo l'altezza y , la larghezza x e lo spessore z . Questa informazione è molto importante perché permette di valutare la dimensione massima dei pezzi che possono essere effettivamente prodotti. Le altre informazioni che si prendono in considerazione sono la posizione del mandrino, che può essere o orizzontale o verticale; il numero di assi controllati; la precisione di posizionamento, importante per ottenere dei pezzi lavorati senza errori; la potenza del mandrino; la presenza o meno del dispositivo cambio pallet e la tipologia di magazzino portautensile, [1].

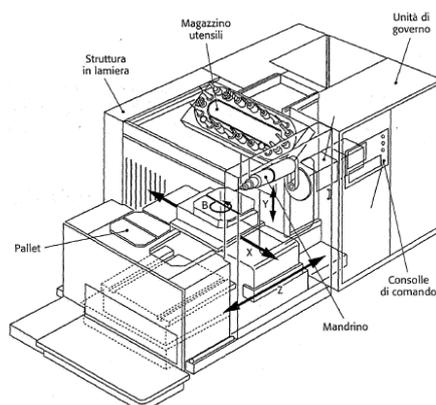


Figura 2.1: Schema generico centro di lavoro, [1].

Esistono numerose tipologie e versioni di queste macchine che hanno diverse dimensioni, diverso numero di assi e con la presenza o meno di attrezzatura speciale purpose. La differenza tra una macchina e l'altra si basa sulla posizione del mandrino portauten-

sili, che può essere verticale o orizzontale, anche se non mancano realizzazioni nelle quali è possibile variare automaticamente la posizione del mandrino da orizzontale a verticale e viceversa. Nelle macchine a utensile rotante, il mandrino è la parte terminale della testa motrice. Il mandrino ha la sede conica ISO che funge da guida per l'inserimento del portautensile che a sua volta contiene l'utensile. Il mandrino ha all'esterno due tenoni che hanno la funzione di incastrarsi nella corrispondente sede del portautensile e che trasmettono a quest'ultimo il moto. All'estremità conica interna vi è un dispositivo per il bloccaggio automatico del codolo del portautensile al mandrino formato da una serie di molle a tazza o elicoidali che, una volta azionate, esercitano sul portautensile una forza di tenuta di circa 1000-1500Kg. Lo sbloccaggio dell'utensile è in genere idraulico, pneumatico, o a caldo. Esso è generalmente costruito in acciaio 18 Ni Cr Mo, cementato, temprato e rettificato. I portautensili sono unificati e la loro dimensione varia a seconda della conicità. Il mandrino è infatti costruito in modo tale da poter ricevere soltanto un tipo di portautensile, quindi con la definizione della macchina è automaticamente definita la dimensione dei portautensili che devono essere usati e che quest'ultima può dunque accogliere, [1]. Detto ciò è possibile definire il portautensile come l'elemento intermedio tra l'utensile e il mandrino, e perciò anche esso è un componente critico con la possibilità di limitare le potenzialità di tutto il sistema produttivo. Esistono due possibili elementi di criticità nei sistemi portautensili, una relativa all'attacco macchina e l'altra determinata dal sistema di posizionamento e bloccaggio dell'utensile sul portautensile. Bisogna, dunque per ogni portautensile analizzare sia le caratteristiche del posizionamento e del bloccaggio del portautensile sul mandrino macchina, e sia le caratteristiche del posizionamento e del bloccaggio dell'utensile in esame sul portautensile stesso, [3], [4]. Durante la lavorazione di fresatura il portautensile è soggetto alle stesse forze che agiscono sull'utensile che trattiene, e l'azione di tutte queste forze può portare all'ottenimento di una condizione di vera e propria instabilità, fenomeno che si riscontra principalmente dalla analisi della qualità e delle varie tolleranze presenti nel prodotto finito. In generale, quando durante le lavorazioni si riscontrano tolleranze dimensionali non esatte, dovute essenzialmente a questo tipo di sollecitazioni si limita la velocità di taglio, andando però a penalizzare la produttività della macchina. I sistemi portautensili che sono oggi presenti nel mercato in ambito manufacturing, sono tutti standardizzati secondo normative nazionali come ad esempio la DIN oppure secondo normative sovranazionali come ad esempio la ISO. Esistono tre tipologie principali di sistemi di bloccaggio del portautensile sul mandrino macchina e sono: il cono autobloccante di tipo morse, il cono ISO senza contatto frontale e il cono HSK corto e cavo con contatto frontale. Il cono morse è una soluzione ormai obsoleta dal punto di vista tecnico. I coni ISO sono estremamente utilizzati ed hanno una larga diffusione in ambito industriale. Il cono HSK è adatto per applicazioni ad alta velocità. Per quanto riguarda i tipi di attacco dell'utensile sul portautensile possiamo classificarli in due modi, o in funzione del tipo di codolo dell'utensile, oppure in funzione del tipo di bloccaggio. In funzione del tipo di codolo utensile si hanno: attacco a manicotto, attacco a pinze elastiche, attacco cilindrico e attacco cono morse,

mentre in funzione del sistema di bloccaggio si hanno: bloccaggio idraulico, bloccaggio a deformazione termica e bloccaggio idromeccanico. Vista l'importanza del fluido refrigerante all'interno della zona di lavoro, alcuni portautensili sono provvisti di condotti interni necessari per fornire fluido da taglio durante l'asportazione. L'adduzione di fluido può avvenire o attraverso l'utensile stesso che può essere composto di piccoli condotti interni che hanno il compito di fornire fluido nella zona di lavoro oppure all'esterno. Un altro elemento fondamentale che deve essere sempre presente in officina è il cono di riduzione, mediante il quale è possibile fissare all'interno di un naso di mandrino che presenta una certa conicità imposta dalla macchina in esame un utensile di conicità inferiore, [4]. Come abbiamo appena visto, dato il numero elevato di lavorazioni che sono effettuabili dal centro di lavoro, una delle parti più importanti dello stesso è il magazzino degli utensili, utilizzato per avere una sufficiente disponibilità di utensili immediata a bordo macchina, senza dover di volta in volta inserire l'utensile adeguato per ottenere quella particolare lavorazione. La presenza del magazzino portautensile permette di eliminare o meglio ridurre al minimo i tempi passivi di cambio utensile, aumentando di conseguenza la produttività aziendale. Nell'operare la scelta di un ottimo magazzino portautensili è necessario tenere presente due caratteristiche fondamentali dello stesso che sono: la capacità del magazzino e il tempo di cambio utensile. La capacità del magazzino rappresenta il numero di utensili che possono essere contenuti al suo interno, mentre il tempo di cambio utensile è misurato come truciolo- truciolo, tempo che intercorre tra lo stop del mandrino e la sua ripartenza, i valori ottimali di questo tempo sono dell'ordine di 2-3 secondi. In funzione della capacità esistono quattro tipologie di magazzino che sono: il magazzino a torretta, il magazzino a disco e a tamburo, il magazzino a catena, il magazzino a rastrelliera o a matrice. Il magazzino a torretta è quello più semplice, ma è anche quello che può tenere meno pezzi, non più di una ventina, [1].



Figura 2.2: Magazzino a torretta, [3].

Il magazzino a disco e a tamburo, che a seconda di come si sfilava l'utensile si può suddividere in due tipi: il magazzino a filamento assiale o a tamburo e il magazzino a filamento radiale. La loro capacità è circa 50 utensili, e possono esistere talvolta delle

soluzioni ibride,[4].

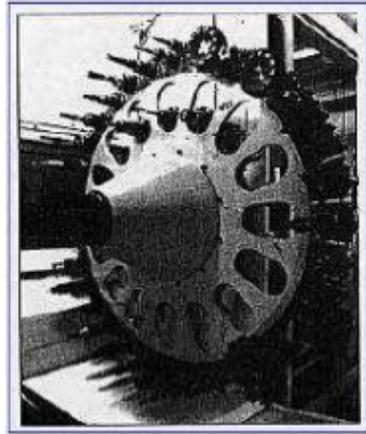


Figura 2.3: Magazzino a disco, [1].

Il magazzino a catena è utilizzato quando durante un processo produttivo sono necessari più di 50 utensili, infatti questo tipo di magazzino può arrivare ad una capacità di 100-150 utensili. Questa tipologia di magazzino è meccanicamente più complessa ma garantisce minori ingombri,[4].

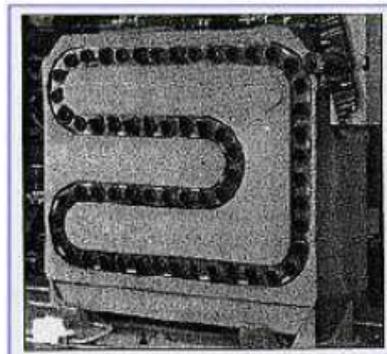


Figura 2.4: Magazzino a catena, [1].

Il magazzino a matrice o a rastrelliera è quello che può accogliere in assoluto più utensili, fino a 300. Per prendere il pezzo si usano bracci meccanici, dal momento che i robot sono imprecisi nel posizionamento, [4].



Figura 2.5: Magazzino a matrice, [1].

Per poter effettuare il cambio veloce dell'utensile è necessario l'utilizzo di sistemi di selezione dell'utensile, o di cambio automatico dell'utensile. Le principali caratteristiche che un cambio automatico dell'utensile deve avere sono quattro: meccanismo di scambio adeguato; sistema di selezione dell'utensile; capacità del magazzino adeguata al tipo di lavorazione; e il tempo di cambio utensile. Lo scambio dell'utensile fra mandrino e magazzino avviene per semplice afferraggio e trasferimento del portautensile su cui è sua volta montato l'utensile da sostituire. È sostanzialmente grazie al portautensile che si ha un esatto posizionamento dell'utensile rispetto al mandrino, infatti il portautensile presenta una opportuna zona di presa costituita da una flangia, che essendo dotata di riferimenti permette un esatto posizionamento dell'utensile rispetto al mandrino. I metodi con cui avviene lo scambio dell'utensile possono essere suddivisi in funzione della presenza o assenza di braccio di scambio. A loro volta i meccanismi di scambio con braccio di scambio possono essere suddivisi in due grosse categorie: con braccio ruotante attorno ad un asse oppure con braccio ruotante attorno a due assi che è più completo del precedente, ma essendo più costoso è usato solo se necessario. Anche i meccanismi senza braccio di scambio possono essere a loro suddivisi in due grandi categorie, quelli ad asse utensile coassiale al mandrino e ad asse utensile parallelo al mandrino, [3], [4].

2.2 Flusso operativo degli utensili

Una volta introdotti gli elementi che sono collegati al processo di gestione degli utensili è utile a questo punto andare a introdurre lo schema logico che tenga conto dei vari flussi gestionali a cui deve essere sottoposto l'utensile al fine di ottenere una ottima produttività aziendale. Gli utensili da taglio necessari alle varie lavorazioni mecca-

niche vengono stipati all'interno di appositi scompartimenti contenuti all'interno di apposite cassettiere che sono presenti in tool room. La tool room, è dunque un ambiente dedicato dove c'è quello che impropriamente possiamo chiamare magazzino degli utensili, all'interno di questo spazio dedicato è presente anche l'attrezzatura necessaria a creare i montaggi che saranno poi trasferiti mediante appositi carrelli al magazzino utensili presente a bordo macchina. Lo schema logico di gestione parte proprio dalla tool room, dove un addetto leggendo le schede di lavorazione appartenenti al ciclo di fabbricazione di un determinato particolare, ne prepara i montaggi relativi. Una volta ottenuto il montaggio, come somma di utensile, attacco utensile, cono e codolo, lo si presetta, ossia mediante appositi macchinari si definisce il diametro dell'utensile, e la sua altezza (o sporgenza-dato di correzione della particolare lavorazione) rispetto a $z=0$. Una volta fatta tutti questi passaggi per gli utensili necessari a quelle lavorazioni a cui deve sottoporre il grezzo, li si trasporta mediante l'utilizzo di appositi carrelli verso i reparti produttivi, dove vengono caricati tutti i montaggi all'interno magazzino utensili montati presente a bordo del centro di lavoro in questione. Una volta terminata la lavorazione, se i montaggi sono congelati, l'operatore a bordo macchina li lascia direttamente nelle catene o meglio nei magazzini utensili posti nelle macchine stesse e ogni volta che si dà inizio ad una lavorazione che li coinvolga, il controllo numerico della macchina si occupa di leggere il chip baluff relativo all'utensile, verificando che la vita di quell'utensile è maggiore del tempo di lavorazione a cui deve essere successivamente sottoposto, altrimenti è necessaria la sua immediata sostituzione. Se, invece, i montaggi sono non congelati, una volta terminata la lavorazione vengono riposti dall'operatore dalla catena della macchina sul carrello e riportati in tool room, dove vengono smontati e controllati. Una volta eseguiti i controlli necessari, se questi hanno esito positivo allora gli utensili vengono riposti nella loro posizione all'interno di apposite cassettiere, se invece, i controlli hanno esito negativo, gli utensili o devono essere smaltiti perché sono a fine vita o devono essere inviati presso fornitori esterni che si occuperanno della loro riaffilatura. Se a seguito del controllo l'operatore riscontra delle anomalie sul tagliente, vengono prese due strade distinte a seconda del tipo di utensile. Se l'utensile è di tipo integrale, il tagliente è un tutt'uno col corpo dell'utensile, allora viene inviato a nuova riaffilatura, mentre se l'utensile è ad inserti, procede con lo smontaggio e il montaggio dell'inserto obsoleto. Se nel caso in cui all'interno del sito produttivo vengono esternalizzate delle lavorazioni è possibile inviare, tramite procedure operative create ad hoc, gli utensili di cui la lavorazione necessita presso il subfornitore in esame. Questi flussi, che si realizzano all'interno dei reparti produttivi hanno il mero scopo di definire i passi seguire nel corretto utilizzo interno dell'utensile, e anche nella corretta ricollocazione dell'utensile una volta eseguita la lavorazione in esame, [4], [3].

2.3 Gestione utensili

Un buon sistema di gestione degli utensili è costituito da due parti fondamentali: la documentazione e la logistica. Per quanto riguarda la documentazione è necessario creare dei database che siano il più possibile fedeli a quello che è presente all'interno dei reparti produttivi, mentre per quanto riguarda la logistica degli utensili si utilizzano solitamente dei software creati ad hoc dalle aziende fornitrici di utensili, che mediante la pianificazione della domanda, la gestione delle varie forniture e delle scorte a magazzino e soprattutto il controllo delle posizioni utensili all'interno di cassettiere automatizzate, rendono e controllano, tramite rete aziendale, il numero utensili presenti in ogni scompartimento afferente alle cassette e si preoccupano di fornire dei segnali di avviso nel momento in cui delle posizioni all'interno di queste ultime sono vuote. Tutto questo si è reso possibile grazie all'automazione che è ormai diventata pervasiva in tutti i settori industriali, e che permette di avere un elevato controllo sul processo produttivo con il minore spreco di risorse e con una elevata efficienza. Per poter utilizzare al meglio il software di gestione degli utensili è necessario creare la documentazione che sia il più possibile fedele a quello che è presente all'interno dei reparti produttivi. Come abbiamo precedentemente visto, le lavorazioni ad asportazione di truciolo sono fatte mediante l'utilizzo di montaggi che oltre all'utensile contengono le altre parti compatibili col tipo di macchina in esame. Allora per creare un ottimo database, è dunque necessario prendere in considerazione anche gli assemblaggi (montaggi) dai quali sono ottenute le cosiddette carte di montaggio corredate di relative schede utensili, necessarie sia per la compilazione dei cicli di fabbricazione, e sia per la tool room, che come abbiamo visto è l'ambiente in cui un addetto si preoccupa di preparare i vari montaggi di cui una lavorazione necessita. Dunque, un buon sistema di gestione degli utensili deve essere perfettamente integrato con i reparti che sono coinvolti nella produzione dei vari componenti, più precisamente con il reparto metodi e programmazione CN, il reparto acquisti, l'ingegneria di produzione, e la tool room. Il database deve servire come unica fonte di informazione sugli utensili e quindi, siccome il suo utilizzo coinvolge molti reparti aziendali, è necessario che la banca dati contenga informazioni provenienti dai diversi dipartimenti coinvolti. Si devono creare i vari database tenendo in considerazione che gli utensili per i Cdl e per i torni si dividono solitamente in due grandi macrofamiglie: gli utensili standard e gli utensili speciali. Gli utensili standard sono quelli presenti sul catalogo delle case produttrici mentre gli utensili speciali sono utensili non presenti sui cataloghi, ma progettati su specifico disegno aziendale. Per avere uno sguardo di insieme e gestire al meglio le varie tipologie di utensili è necessario assegnare a questi ultimi a seconda della tipologia, se standard o meno, dei codici identificativi definiti internamente al sito produttivo, [5]. Uno dei software più utilizzati nella gestione degli utensili è Autotas fornito dalla casa produttrice di utensili Sandvik Coromant. Autotas consente, una volta creato il database centrale sull'attrezzamento dell'azienda (banca dati), sia di ricercare che di trasferire informazioni da/verso i reparti all'ufficio tecnico preposto al compito della corretta amministrazione

degli utensili da taglio (GU). Autotas è costituito da 11 moduli integrati e permette lo scambio aperto delle informazioni, questo software rappresenta dunque il punto nevralgico di collegamento tra produzione e gestione degli utensili, e questo è senza dubbio molto importante per avere una corretta amministrazione di quest'ultimi. Il sistema, infatti, per come è stato pensato assicura uno stretto controllo degli utensili a tutti i livelli del processo di produzione: assemblaggio, presetting, lavorazione in macchina, smontaggio, ripristino e acquisto, [14].

Capitolo 3

Caso studio: Leonardo Elicotteri S.p.A.

3.1 Il gruppo Leonardo

Il gruppo Leonardo conta oltre 45600 dipendenti, tra uffici e insediamenti industriali è presente in 180 siti nel mondo, con una rilevante presenza industriale in quattro mercati domestici quali: Italia, Regno Unito, Usa e Polonia, e collaborazioni Strategiche nei più importanti mercati internazionali ad alto potenziale. Il Gruppo ha una struttura organizzativa articolata in sette Divisioni e opera inoltre attraverso società controllate e joint venture. Ogni divisione, si occupa della progettazione e della produzione specifica di particolari ad alta tecnologia nei settori in cui l'azienda lavora. Le attività di questo lavoro sono state svolte all'interno della Divisione Elicotteri di Leonardo, che si occupa di gestire progettazione, sviluppo, collaudo, produzione, supporto e commercializzazione della vastissima gamma di elicotteri, la più completa in assoluto sia per usi commerciali che di pubblica utilità, di sicurezza e per la difesa.

3.2 Agusta WestLand

Agusta Westland S.p.A è un'azienda multinazionale italo-britannica che progetta, realizza e costruisce elicotteri. È una società controllata di Finmeccanica che, ad oggi, ne possiede l'intera proprietà. Nasce nel luglio 2000 quando Finmeccanica e GKN fusero le rispettive controllate specializzate nella produzione di elicotteri (Agusta e GKN-Westland Helicopters) per formare AgustaWestland della quale ognuna possedeva il 50%. La storia di AgustaWestland inizia 100 anni fa: nel 1907 a Capua volò il primo prodotto, l'aliante AG-01, progettato da Giovanni Agusta, il fondatore della società.

Egli si dedicò con audacia a un'intensa attività di sperimentazioni, estendendola a una collaborazione con Giovanni Caproni, che nel frattempo stava costruendo la propria azienda a Malpensa.



Figura 3.1: Aliante AG-01, [18].

Gli stabilimenti della Caproni rappresentano un tassello fondamentale poiché diventeranno la sede del “Supporto Prodotti” di Agusta, padre del “Customer Support and Services” AgustaWestland di oggi. Nel 1923 Giovanni Agusta consolidò la propria struttura industriale a Cascina Costa, con la costituzione della “Società Costruzioni Aeronautiche Giovanni Agusta”. La morte prematura di Giovanni Agusta nel 1927, tra i due conflitti mondiali, impedì all'azienda di proseguire il suo naturale sviluppo. Sotto la guida prima della moglie Giuseppina e poi del figlio Domenico, l'azienda si dedicò a produzioni su licenza e alle revisioni e manutenzioni di aerei Caproni e SIAI Marchetti. Al termine della Seconda Guerra Mondiale, Agusta fu costretta dal trattato di pace a variare la propria attività; nasce così MV Agusta, per la progettazione e costruzione di motociclette. Nel 1952 Agusta entrò nel mondo elicotteristico, firmando l'accordo con l'azienda americana Bell per la produzione su licenza dell'elicottero AB47 e costruendo il primo esemplare nel 1954.

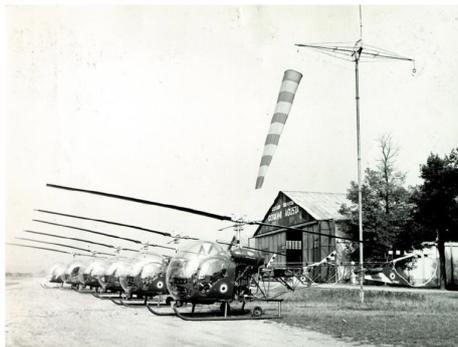


Figura 3.2: Elicottero AB47, [18].

A seguito del successo dell'AB47, negli anni successivi Agusta avviò la progettazione e lo sviluppo di elicotteri propri e, oltre a Bell, acquisì licenze dai grandi produttori americani Sikorsky e Boeing. Nel 1971 volò per la prima volta l'A109 “Hirundo”, il

primo prodotto progettato interamente da Agusta; un grande successo commerciale, definito solo pochi mesi dopo l'esordio "la Ferrari dell'aria". Inizia così una grande espansione commerciale e industriale, l'azienda nel corso degli anni sviluppa una serie di modelli innovativi di propria progettazione, creando una storia intessuta di successi mondiali. La sede delle attività principali fu stabilita a Cascina Costa, in provincia di Varese, al cui interno è situato tutt'oggi il Centro Avionico nel quale è tracciato il design virtuale dei prototipi e sono simulati ambienti reali per testare le funzioni dell'elicottero. A Cascina Costa sono definiti e integrati i sistemi avionici, i sistemi computerizzati di controllo del volo e i sistemi di gestione della "missione" che ciascun velivolo è destinato a compiere. Cascina Costa diventò anche la sede del Centro Integrato Trasmissioni, il fiore all'occhiello dell'azienda Agusta, dove è realizzato il cuore meccanico dell'elicottero. Durante il corso degli anni furono aperti in Italia ben sette stabilimenti produttivi, e col tempo si è sviluppata una rete logistico/produttiva comprensiva di sub-fornitori nazionali ed esteri con lo scopo di far convergere tutto nello stabilimento di assemblaggio finale sito a Vergiate. A seguito della crisi che investì le officine Caproni, Agusta stabilì il suo "Supporto Prodotti" nei vecchi stabilimenti di Somma Lombardo. Questo verrà trasferito poi nel 2006 presso il nuovo centro logistico di Lonate Pozzolo, poco distante dal vicino aeroporto di Malpensa, dove è stato creato il "Customer Support and Services" (Assistenza Clienti) di oggi. Agusta costituì poi a Sesto Calende la "Training Academy Alessandro Marchetti" che ancora oggi offre un corso completo di addestramento per i futuri piloti e per i tecnici destinati alla manutenzione degli elicotteri. All'interno del corso i clienti dispongono di strumenti didattici tecnologicamente all'avanguardia, di importanti e avanzati simulatori di manutenzione, di aule didattiche dotate di moderni supporti informatici e di simulatori di volo di ultima generazione. È proprio nei simulatori di volo che la Training Academy ha il suo punto di forza; il livello tecnologico dei simulatori installati e la fedeltà nella riproduzione delle condizioni di volo è valsa un riconoscimento dalle autorità aeronautiche: un'ora di volo virtuale nel simulatore è stata dichiarata equivalente ad un'ora di volo su un elicottero reale. Attualmente AgustaWestland è una società leader nel settore elicotteristico e del volo verticale, opera con i suoi 10.000 addetti in diversi paesi quali Italia, Giappone, Cina, Sudafrica, Polonia, Turchia, Inghilterra e Stati Uniti. È attiva sia in campo civile che militare e collabora con gli enti governativi dei maggiori paesi industrializzati. Quello degli elicotteri è un mercato complesso e ad alta intensità di capitale con break even period (periodo necessario per il recupero dell'esborso iniziale sostenuto nell'esercizio di un'impresa) di anni rispetto alla data d'investimento iniziale, dove la tecnologia che caratterizza il prodotto e il suo processo di realizzazione rimangono ancora la chiave per il successo. Soffre anch'esso di una certa ciclicità della domanda, anche se minore rispetto ad altri mercati del settore aeronautico e aerospaziale, ma nell'ultima decade ha mostrato una forte crescita che l'ha reso un mercato globale e caratterizzato da un alto livello di competizione dovuta all'esiguo numero di player che vi operano. La disponibilità economica del cliente e il valore aggiunto che il prodotto ha ai suoi occhi, guida sempre più la sua scelta: in ambito civile orientata

dalla necessità di offrire ancora più servizi ai propri clienti e in ambito militare indirizzata senza eccezione dal concetto di “value for money”. Chi acquista un elicottero ha bisogno di una relazione molto forte con il produttore, che dura per tutta la vita operativa del velivolo. In tale contesto diventano fondamentali non solo le prestazioni del velivolo in senso lato ma anche il supporto tecnico e l’addestramento di coloro che si troveranno a utilizzarlo; considerando poi tutto questo in termini di costi, risulta evidente come sia impossibile per il cliente sostenere da solo una spesa così ingente, portandolo così quanto mai a desiderare contratti di tipo “chiavi in mano”, in cui chi produce non offre solo il prodotto ma tutta una serie di servizi che permettono all’operatore di focalizzarsi semplicemente sul suo utilizzo e sul proprio business. Il mercato elicotteristico è anche il più frammentato tra quelli del settore aeronautico in termini di tipologie di cliente, possibilità di utilizzo del prodotto e contesto geografico in cui esso può trovarsi ad operare. AgustaWestland cerca di soddisfare i variegati bisogni del mercato tramite una gamma di elicotteri multiruolo, che trovano applicazione sia in campo civile sia militare, come si può osservare nelle figure sottostanti.



Figura 3.3: Gamma elicotteri civili, [18].



Figura 3.4: Gamma elicotteri militari, [18].

Ogni ruolo definisce l’utilizzo dell’aeromobile e ne caratterizza in maniera univoca anche le prestazioni, gli allestimenti, i piani di manutenzione, l’addestramento degli operatori. Le certificazioni richieste dalle autorità aeronautiche rendono molto complesso lo sviluppo di logiche produttive legate alla standardizzazione dei componenti e degli equipaggiamenti, proprio in virtù delle specifiche che ciascuna macchina deve soddisfare ed in funzione della tipologia di missione che è chiamata a svolgere. Nelle

figure sottostanti si riportano per ciascun ruolo le diverse tipologie di missione svolte, sia per il settore civile sia per il settore militare.

Civile	
Ruolo	Missioni
VIP/Corporate	Connessioni <i>point-to-point</i> per viaggi superiori a 400/600 km
	<i>Corporate Executive Travel</i>
	Uso privato con base a terra o imbarcato
	<i>Air Taxi Operations</i> per trasporto commerciale <i>on-demand</i> di passeggeri
	<i>Helishuttle</i> per trasporto schedato di passeggeri
Emergency Medical Service/Search And Rescue	Servizio aereo di ambulanza per pronto intervento medico
	Servizio aereo di ricerca e soccorso in ambienti ostili
Utility	Servizio antincendio
	<i>Electronic News Gathering</i>
	Lavoro aereo
Law Enforcement	Sicurezza nazionale e pattugliamento dei confini
Offshore	Trasporto ogni tempo di personale
	Trasporto ogni tempo di merci
	Trasporto ogni tempo di equipaggiamenti

Figura 3.5: Gamma elicotteri civili divisi per ruolo, [18].

Militare	
Ruolo	Missioni
Combat	Attacco al suolo ogni tempo in scenari di guerra asimmetrica fuori area
Naval	Pattugliamento marittimo ogni tempo
	Supporto logistico
	Trasporto ogni tempo di truppe e mezzi
Utility	Trasporto ogni tempo di personale non combattente
	<i>Para-military Law Enforcement/Homeland Defence</i>
	<i>Search And Rescue</i>
	Aiuto umanitario
Medium/Heavy	Addestramento
	Supporto logistico
	Trasporto ogni tempo di truppe e mezzi
	Trasporto capi di stato

Figura 3.6: Gamma elicotteri militari divisi per ruolo, [18].

È evidente come lo stesso modello di aeromobile possa essere richiesto da clienti diversi per lo svolgimento di missioni altrettanto diverse, ciascuna caratterizzata da peculiarità di prestazioni, equipaggiamento, allestimenti interni, parti di ricambio e addestramento che impongono ad Agusta la necessità di offrire una soluzione unica e “su misura”. In un contesto così complesso emerge quindi l’esigenza per Agusta di offrire al cliente un supporto a 360°, che gli permetta di mantenere l’aeronavigabilità dei mezzi acquistati nel modo più efficace e efficiente possibile e che lo porti a riconoscere l’eccellenza del prodotto. L’obiettivo è stringere una partnership di fedeltà tale per cui ciascun elicottero AgustaWestland a fine vita possa essere infine sostituito da un altro elicottero AgustaWestland.

3.2.1 Produzione

La complessa rete produttiva di AgustaWestland si organizza in diverse unità denominate Centri di Eccellenza, ognuna competente e responsabile per un determinato

insieme di attività riguardanti uno specifico settore. I Centri di Eccellenza di Agusta-Westland situati in Italia sono: Brindisi per quanto riguarda gli elementi strutturali; Anagni (FR) per quanto riguarda le pale e i materiali compositi; Benevento, Frosinone, Cascina Costa (VA) per quanto riguarda la trasmissione e le parti meccaniche; e Vergiate (VA) per quanto riguarda gli assemblaggi finali.

3.3 Stabilimento produttivo Cascina Costa (Va)

Per sistema di produzione si intende un insieme di uomini, macchine, attrezzature ed organizzazione legati da un flusso comune di materiali e di informazioni, finalizzato alla trasformazione di materiale grezzo in prodotti finiti. Sfruttando la classificazione dei sistemi di produzione, lo stabilimento AgustaWestland con sede a Cascina Costa possiamo dire che è un impianto di fabbricazione (produzione + montaggio trasmissioni), a lotti, e organizzato per reparti. All'interno del plant i flussi produttivi generati dall'avanzamento dei materiali e delle lavorazioni sono molto articolati: è necessaria dunque un'elevata capacità di presidio del flusso informativo, elemento decisivo per il coordinamento dei flussi produttivi e per il controllo dello stato di avanzamento delle lavorazioni. Il flusso informativo costituisce, infatti, un elemento nevralgico del sistema produttivo; esso è caratterizzato nelle varie produzioni di reparto da un'elevata formalizzazione dei compiti di alimentazione del sistema e da una rigida predisposizione dei supporti informativi che accompagnano ogni commessa dalla formulazione dell'offerta alla formalizzazione del prodotto del prodotto finale. Nello stabilimento in questione, sono presenti i reparti di dentatura (coltelli, creatori, brocche), di rettifica (rettifiche esterne, interne, planetarie, piane e Gleason), di pallinatura, di trattamenti termici (forni per tempra, vasche olio e vasche per deposizione chimica del rame), di tornitura, di aggiustaggio, di attrezzaggio, i centri di lavoro e la tool room (deposito generale utensili). Il reparto analizzato nel dettaglio in questo studio, sui quali si è concentrata l'analisi, è la tool-room. Nel corso degli anni le realtà aziendali radicate nel reparto utensili dello stabilimento di Cascina Costa sono diventate molteplici; si passa da aziende medio-piccole che forniscono al massimo qualche fresa a colossi dell'asportazione del truciolo che rappresentano una fetta molto consistente del reparto stesso. Per quel che riguarda le lavorazioni ad asportazione truciolo, ad eccezione del reparto tornitura dove è necessario fare un discorso a parte, le aziende che normalmente si occupano dell'approvvigionamento degli utensili necessari alle varie attività aziendali sono: Fraisa, Komet, Ubiemme Guhring, Iscar e Sandvik.

3.3.1 Gestione generale utensili

La gestione degli utensili in azienda segue una procedura ben definita, la quale definisce i flussi che devono essere adottati in funzione sia del reparto produttivo e sia del tipo di

utensile. Da questo punto di vista la procedura si differenzia a seconda che gli utensili siano:

- di consumo (utensili per Centri di Lavoro e torni);
- oppure, utilizzati nella produzione di dentatura (Coltelli, creatori, brocche e mole).

All'interno della procedura operativa il processo di gestione degli utensili è suddiviso in cinque sotto processi o flussi gestionali:

- gestione acquisto Nuovo Utensile;
- gestione utilizzo dell'utensile;
- gestione del processo di riaffilatura;
- gestione riordino utensili;
- gestione invio utensili presso subfornitori;

Gli utensili per i Cdl e i torni utilizzati si dividono in due grandi macrofamiglie: gli utensili standard e gli utensili speciali. Gli utensili standard sono quelli presenti sul catalogo delle case produttrici mentre gli utensili speciali sono utensili non presenti sui cataloghi, ma progettati su specifico disegno Agusta Westland. Durante l'approntamento di un nuovo part program per la lavorazione su una macchina a controllo numerico, il programmatore CN verifica su Software Gestionale la presenza degli utensili necessari alle varie lavorazioni programmate. Nel caso in cui l'utensile non sia disponibile, si dà avvio al flusso gestione acquisto nuovo utensile. Dal confronto tra fornitore, programmatore CN e gruppo utensili, viene stabilito l'utensile opportuno per quella determinata lavorazione. Una volta che l'utensile in esame arriva in azienda, il gruppo utensili si occupa di creare il suo codice identificativo, che varia in base alla tipologia dello stesso, infatti, se l'utensile in questione è standard, questo verrà identificato con un codice composto da 10 cifre, le cui cifre iniziali che identificano la famiglia sono dettate dalla tabella 1 ; mentre, se l'utensile in esame è speciale, cioè è stato appositamente creato su specifica esigenza dell'azienda, il Gruppo Utensili applica la tabella 2

Tabella 3.1: Parte iniziale codici ID utensili standard

***... Utens. std	50	Generalità
	5*1	Strumenti di controllo e misura
	**	Utensili a punta singola
	53	Utensili a fresare-dentare-brocciare
	*4	Utensili a filettare
	/	Utensili per limare
	56*	Utensili per fori
	**	Utensili abrasivi e diamanti
	*8	Utensili senza asportazione di truciolo
**	Attrezzatura varia	

Tabella 3.2: Parte iniziale codici ID utensili speciali

codice ID	Denominazione	Richiedenti
VRN*9/*S39	Frese speciali	Gruppo utensili
*NT 88.....	Inserti	Gruppo utensili
**3.....	Punte	Gruppo utensili
VSU39.....	Maschi	Gruppo utensili
VN1*.....	Bareni	Gruppo utensili
V**1	Alesatori	Gruppo utensili

In anticipo rispetto all'ordine e alla codifica dell'utensile, lo specialista utensili (GU) richiede un'offerta tecnico/budgettaria a uno o più fornitori, corredata sia della copia dell'operazione del ciclo di lavorazione che si deve soddisfare e sia delle informazioni dettagliate relative al tipo di macchina su cui è effettuata quella stessa lavorazione. Il fornitore, una volta ricevuta richiesta da parte del GU, dovrà realizzare e fornire a quest'ultimo il disegno dell'utensile in formato ".*dxf" e ".*step", corredato dei parametri principali di utilizzo dell'utensile. In seguito, il GU dopo una valutazione delle varie offerte, eseguita congiuntamente con l'ufficio acquisti, definisce il fornitore, ordina l'utensile e una volta che quest'ultimo raggiunge destinazione ne decide la codifica. A questo punto, l'iter previsto per l'emissione dell'Ordine di Acquisto verso il fornitore può iniziare. Lo specialista utensili provvederà poi a generare l'anagrafica dell'utensile su software gestionale, stabilendo a seconda dell'utilizzo se l'utensile dovrà essere gestito a scorta oppure con riordino manuale. In azienda i flussi gestionali che riassumono la procedura di gestione utensili vera e propria sono il flusso di gestione utilizzo dell'utensile, il flusso di gestione riordino utensili e il flusso di gestione riaffilatura utensili, questi flussi hanno il mero scopo di definire i passi seguire nel corretto utilizzo interno dell'utensile, e anche nella corretta ricollocazione dell'utensile una volta eseguita la lavorazione in esame. Secondo la procedura, l'utensile da taglio, nel processo di produzione, deve generalmente compiere il seguente percorso: come prima cosa si ha una

definizione logica dell'utensile mediante l'utilizzo di tabelle create appositamente, le quali riassumono le caratteristiche principali dell'utensile stesso, poi si ha la cosiddetta preparazione e assemblaggio, durante le quali si creano i montaggi: visti come somma di cono portautensile, e utensile stesso; a seguito di ciò si ha l'operazione di presetting, mediante la quale, si applicano i correttori al relativo montaggio in esame con l'utilizzo di macchinari appositi, poi procede con il caricamento degli utensili pronti, quindi relativi alle lavorazioni da eseguire su appositi carrelli e si invio quest'ultimi al reparto centri di lavoro, dove l'adetto si occupa di caricarli sul magazzino macchina. Una volta terminata la lavorazione, se i montaggi sono congelati, l'operatore a bordo macchina li lascia direttamente nelle catene o meglio nei magazzini utensili posti nelle macchine stesse e ogni volta che si dà inizio ad una lavorazione che li coinvolga, il controllo numerico della macchina si occupa di leggere il chip baluff relativo all'utensile e verifica che la vita di quell'utensile è maggiore del tempo di lavorazione, altrimenti è necessaria la sua immediata sostituzione. Se, invece, i montaggi sono non congelati, una volta terminata la lavorazione vengono riposti dall'operatore dalla catena della macchina sul carrello e riportati in tool room, dove vengono smontati e controllati. Una volta eseguiti i controlli necessari, se questi hanno esito positivo allora gli utensili vengono riposti nella loro posizione all'interno di apposite cassettiere, se invece, i controlli hanno esito negativo, gli utensili o devono essere smaltiti perché sono a fine vita o devono essere inviati presso fornitori esterni che si occuperanno della loro riaffilatura. Infine, il flusso gestionale invio utensili presso subfornitori, definisce le linee guida, o meglio i passi da seguire quando vengono inviati a fornitori esterni gli utensili necessari a lavorazioni esternalizzate di pezzi AW.

3.4 Analisi delle criticità riscontrate

Il caso studio preso in esame in questo progetto di tesi, parte dall'esperienza di tirocinio curricolare svolta presso l'azienda appena presentata, nel periodo che va dal 23 ottobre 2017 al 23 dicembre 2017. All'interno di questa mega fabbrica che, come abbiamo visto si occupa di progettare e commercializzare elicotteri di svariate dimensioni in funzione della particolare esigenza, la mia attività è stata inquadrata nell'impianto produttivo sito in Cascina Costa (Va), dove, come abbiamo potuto evincere, ci si occupa principalmente della fase di progettazione, di produzione e collaudo della trasmissione di potenza che verrà poi assemblata, insieme alle restanti parti, nel vicino stabilimento di Vergiate. Internamente allo stabilimento, sono stato assegnato al reparto lavorazioni meccaniche e più precisamente al gruppo utensili, che si occupa di gestire, approvvigionare e monitorare gli elementi coinvolti nelle varie lavorazioni per asportazione di truciolo. Durante i primi giorni di stage, essendo stato letteralmente catapultato in una situazione completamente differente rispetto a quella universitaria a cui ero praticamente abituato, ho ricevuto il compito da parte del mio tutor aziendale di individuare le varie criticità presenti all'interno del reparto utensileria del plant. Dall'analisi fatta

sono state individuate due particolari criticità: la prima concerne l'organizzazione della tool room mentre la seconda riguarda la scelta del tipo di fresa più pertinente al tipo di lavorazione da effettuare.

3.4.1 Organizzazione della tool room

Come è noto, la tool room contiene gli utensili necessari alle varie lavorazioni, i quali oltre ad essere montati, sono controllati e soprattutto conservati in apposita scaffalatura divisa in più cassetti a loro volta divisi in più scompartimenti, che permettono la facile individuazione degli utensili necessari alla carta di montaggio. Ogni utensile a sua volta, per essere celermente identificato dall'addetto tool room, è costituito da un codice identificativo alfanumerico che ne specifica le sue caratteristiche tecniche. Data la complessità e la precisione che si prescrive alla lavorazione dei pezzi aeronautici/elicotteristici, e soprattutto dato che l'azienda gestisce un servizio di customer support, all'interno della tool room gli utensili sono suddivisi in due grossi gruppi di cassettiere: il primo gruppo è quello che contiene gli utensili utilizzati più frequentemente nelle lavorazioni meccaniche di pezzi utilizzati nel progetto di nuovi modelli di elicottero; il secondo gruppo contiene utensili non più utilizzati nei nuovi part program ma comunque conservati se fosse necessaria una particolare lavorazione di un pezzo appartenente ad un vecchio modello di elicottero che viene ispezionato durante la sua revisione periodica. A livello aziendale è inoltre presente un software di gestione interno, che però non può essere utilizzato al cento per cento delle sue potenzialità perché le cassette presenti non sono ancora automatizzate, e dunque per gestire le varie cassette manuali è necessario utilizzare dei documenti excel creati ad hoc. A seguito di questa analisi, si può evincere che la contemporanea presenza dei due grossi gruppi di utensili e l'assenza di cassette automatizzate che monitorino costantemente gli utensili, portino ad avere una vera e propria situazione di criticità aziendale, ottenendo risultati poco efficienti in termini di produttività aziendale.

3.4.2 Scelta

Per potere analizzare al meglio tutte le frese presenti in tool room, il primo passo è stato di capire quali sono e soprattutto quante sono le varie famiglie di frese utilizzate all'interno dei vari reparti coinvolti. Per poter classificare le varie frese è stato dunque necessario analizzare una per una le varie schede utensile presenti. Osservando dettagliatamente i vari documenti si è riscontrato che questi non fossero fatti tutti allo stesso modo, riportando informazioni differenti e talvolta discordanti tra una fresa e l'altra. Queste indicazioni incomplete, portano i vari stakeholder a scegliere gli utensili in base all'esperienza accumulata senza fare molto uso di criteri scritti. Avendo individuato questa seconda criticità, ho voluto fare l'analisi dei vari part program afferenti a due

particolari tipologie di frese in modo da capire se fossero rispettati i parametri di taglio imposti dal loro catalogo.

Capitolo 4

Lavoro e risultati

4.1 Sistema automatico di gestione degli utensili

In questa prima parte verranno affrontati i motivi principali per cui vale la pena investire in un sistema completamente automatico di gestione degli utensili. I vari motivi presentati di seguito, derivano dall'analisi di due sistemi di gestione proposti dalle seguenti aziende fornitrici di utensili:

- Fraisa;
- Sandvik;

4.1.1 Benefici di un sistema automatico di gestione degli utensili

Adottare un sistema automatico di gestione degli utensili farà innanzitutto risparmiare tempo e risorse preziosi da poter investire in attività aziendali più proficue. Non sarà necessario alcun inventario cartaceo o su excel, perché i sistemi sono completamente digitali e gestiscono sia le scorte sia gli ordini sulla base di impostazioni predefinite di uso medio di ogni articolo. Un sistema automatico di gestione degli utensili bypassa tutte le fasi di gestione delle scorte, delle richieste e degli ordini, gestendo il tutto in completa autonomia. Essendo automatizzati, questo tipo di sistemi sono totalmente personalizzabili perché devono interfacciarsi con i sistemi interni di ogni azienda in cui vengono installati. La personalizzazione di un sistema automatico di gestione degli utensili dipende dal tipo di azienda e riguarda sia il software che l'hardware, cioè i cassetti in senso stretto. Per quanto riguarda la parte di hardware è possibile dire che in funzione della personalizzazione voluta, sono disponibili armadi di varie dimensioni che possono avere diverse misure di cassetti e ogni cassetto può avere dei diversi divisori interni, a seconda di ciò che ci si deve riporre. E' inoltre necessario sottolineare

che questa tipologia di sistemi automatizzati consentono una piena libertà di accesso sia da remoto e sia per chi li usa fisicamente tramite l'ausilio o del badge aziendale o di una password. Dal momento che nel settore dell'asportazione di truciolo esistono numerosi stakeholder con diversi prodotti offerti, un sistema di questo tipo permette anche la gestione di diversi utensili e inserti annessi, anche non relativi al fornitore del sistema di gestione stesso. Questa caratteristica è molto importante e ha permesso a questa tipologia di sistemi coadiuvare e rendere sempre più efficienti le varie attività produttive, limitando al minimo i tempi passivi di lavorazione.

Analisi proposta Sandvik

La Sandvik propone due tipologie fondamentali di sistemi in funzione del tipo di controllo imposto:

- sistemi a magazzino aperto, senza alcun tipo di controllo sui vari accessi;
- sistemi a magazzino chiuso o ad armadietti chiusi, in cui vi è un controllo assoluto degli accessi.

Questi due modelli sono nati per assicurare la flessibilità dell'applicazione. Nonostante questi due sistemi siano differenti, permettono entrambi di ottenere risultati prestanti sul controllo dei livelli delle scorte, sulla disponibilità delle scorte, sul controllo delle aree ad alto costo e dei prodotti a lenta movimentazione, e inoltre, cosa più importante permettono di ridurre al minimo i costi di gestione. Il software di gestione annesso è Autotas.



Figura 4.1: Cassettiere Sandvik in funzione del controllo, [19].

Analisi proposta Fraisa

La Fraisa propone il sistema Tool Care. Il sistema è facile e intuitivo, e l'accesso è assolutamente a magazzino chiuso, infatti per prelevare l'utensile è necessario farsi riconoscere tramite badge e scannerizzare tramite il lettore codice a barre il suo codice identificativo. Il sistema tool care permette tramite remoto di avere una chiara panoramica delle scorte disponibili e di monitorare costantemente il fabbisogno di utensili.

La sorveglianza del sistema è dunque l'elemento chiave che permette di evitare tempi di fermo macchina causati dalla mancanza di utensili mediante l'uso del processo di ordinazione automatica, aumentando di conseguenza la produttività aziendale.



Figura 4.2: Cassettiera Fraisa, [20].

4.2 Proposta rimozione codici utensili

La presenza di armadi manuali e non automatizzati, impone che la logistica degli utensili di fresatura sia gestita da vari database paralleli al sistema di gestione interno. Dall'intervista dei vari operatori tool room si è potuto evincere che gli utensili di fresatura utilizzati più frequentemente sono gestiti mediante l'utilizzo di un database creato ad hoc, non rappresenta tutte le frese che concretamente prendono parte alle varie lavorazioni. Dunque, per avere una idea chiara degli utensili effettivamente utilizzati, è stato necessario fare un incrocio di più database: il database tool room e il database proveniente dal sistema di gestione interno. Per avere una idea chiara delle frese concretamente utilizzate, la prima operazione fatta è stata quella di estrapolare dal software di gestione interno (codice per codice) un database completo che contenesse oltre ai codici identificativi degli utensili di fresatura in utilizzo nei vari part programm, anche il part number creato e la macchina che utilizza il particolare montaggio. Ottenuta la suddetta banca dati, la seconda operazione fatta è stata quella di incrociare i dati che provenivano dal database creato dagli operatori della tool room con i dati estrapolati dal software di gestione interno. Questo raffronto, ottenuto mediante la creazione di apposite funzioni excel, ci ha permesso di capire che alcune frese gestite come utilizzate di frequente, in realtà appartengono a part programm non più utilizzati, mentre altre ancora non gestite come frese utilizzate di frequente, quindi appartenenti alle cassette lontane da quelle effettivamente tenute sotto stretto controllo, vengono richiamate in molti part programm. Questa prima attività svolta su tutto il parco frese aziendale, speciali e standard, ha permesso di creare nuovi armadi utensili contenenti le frese effettivamente utilizzate nelle varie lavorazioni. La creazione di questi nuovi armadi

virtuali ha permesso di rimuovere dagli armadi frese ormai non movimentate da tanto tempo per le varie lavorazioni. I dati di seguito ci riportano il quadro della situazione:

Utensili di fresatura standard:

Tabella 4.1: Frese standard

Frese totali	circa 613
Frese non movimentate	79
Frese effettivamente movimentate	5**
Frese (presenti già negli armadi ad alta movimentazione)	278 di **
Frese da inserire nei cassettei ad alta movimentazione	2** di ***

Situazione frese standard

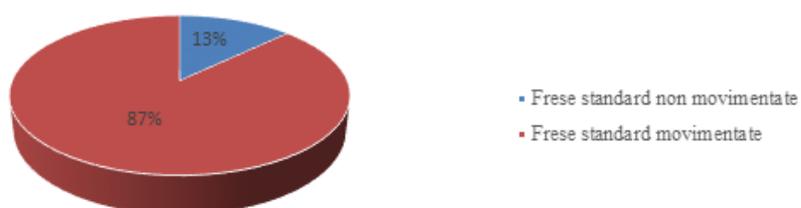


Figura 4.3: Grafico situazione frese standard generale

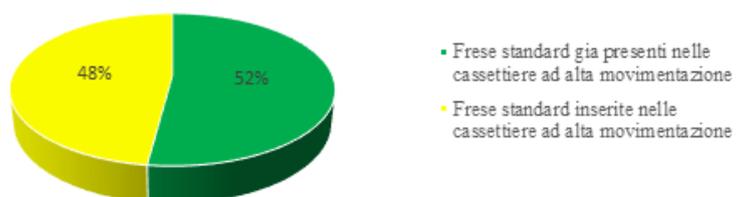


Figura 4.4: Situazione frese cassettera

Utensili di fresatura speciali:

Tabella 4.2: Frese speciali

Frese totali	circa 133*
Frese non movimentate	259
Frese effettivamente movimentate	****
Frese (presenti già negli armadi ad alta movimentazione)	574 di ***
Frese da inserire nei cassettei ad alta movimentazione	*** di ***

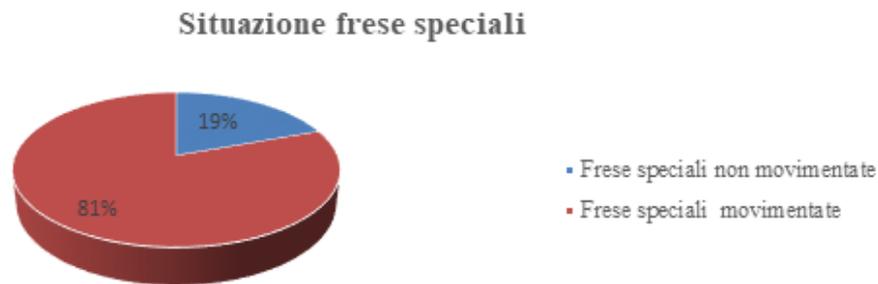


Figura 4.5: Grafico situazione frese speciali generale



Figura 4.6: Situazione frese speciali cassettera

4.3 Classificazione degli utensili di fresatura

Una volta rimossi dall'analisi i codici identificativi degli utensili di fresatura non utilizzati nei vari part program, lo studio continua analizzando gli impieghi delle frese rimaste. Siccome gli utensili di fresatura utilizzati nella produzione di particolari aeronautici/elicotteristici sono, come abbiamo detto, molteplici e di diversa natura, risulta necessario capire con l'ausilio di questa ulteriore analisi quali sono le tipologie di frese che abbiamo mantenuto o inserito successivamente all'interno delle cassettiere presenti in tool room, facendone di conseguenza una opportuna classificazione generale. Le frese possono essere suddivise in prima battuta in due grandi macro famiglie: utensili di fresatura standard e utensili di fresatura speciali. Le frese standard sono quelle che vengono trovate normalmente sui comuni cataloghi delle case produttrici, mentre le frese speciali sono state progettate e pensate per determinate lavorazioni di particolari elicotteristici, di conseguenza non ci occuperemo di classificarle perché rappresentano una famiglia creata ad hoc per esigenze aziendali Agusta Westland. All'interno della famiglia degli utensili di fresatura standard è ancora possibile fare delle distinzioni in funzione delle caratteristiche geometriche e di lavorazione che una fresa è in grado di svolgere, quest'ultima viene intesa come sottofase della fase di fresatura nel ciclo di fabbricazione. Possiamo dunque dividere le frese standard in altrettante due grandi famiglie, le frese integrali e le frese ad inserti. Le frese integrali rappresentano una

famiglia di utensili in cui il tagliente è un tutt'uno col corpo fresa, mentre le frese ad inserti sono quelle particolari frese il cui tagliente non è un tutt'uno col corpo della fresa, ma è applicato dall'esterno, cosicché nel momento in cui quest'ultimo si usura o è ormai a fine vita può essere rimpiazzato facilmente con uno nuovo, infatti il vantaggio di queste tipologie di utensili è quello che si può evitare l'operazione di riaffilatura della lama del tagliente. All'interno di ogni famiglia si è poi effettuata una classificazione in base all'attacco, che rappresenta poi la parte che si accoppia con il cono porta utensile. Prima di andare a fare la classificazione vera e propria, andiamo di seguito a vedere le varie applicazioni possibili contemplate dagli utensili di fresatura.

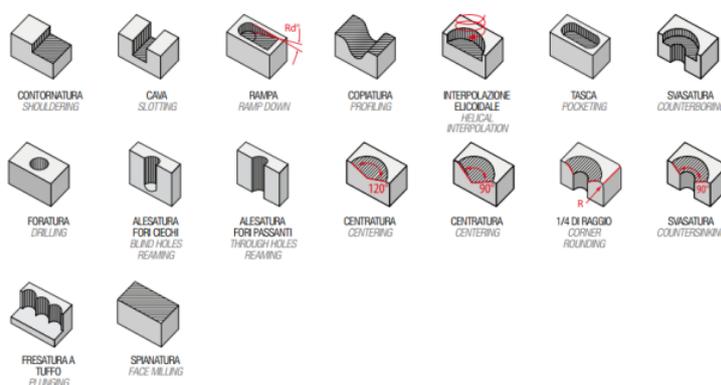


Figura 4.7: Applicazioni utensili di fresatura, [15].

Vediamo elencata nelle tabelle sottostanti la classificazione adottata. Le tabelle di sottostanti sono state volutamente modificate per questioni di privacy aziendale.

Tabella 4.3: Famiglia **1-integrale

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
*3**2*	*****	Normale	C	Spianatura
*3**3	Cilindrico-frontale	Medio/Lunga	C	Spianatura
****5	Cilindrico-frontale	Extra lunga	C	Spianatura

Tabella 4.4: Famiglia ***-integrale

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
2	*****	/	T	*****
****2	*****	/	T	Fresatura di forma
5**41	A disco	/	T	*****
****	*****	/	C	Smussatura conica
5****	a T	/	C	*****

Tabella 4.5: Famiglia **3-integrale

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
36*	***	Normale	W	Spallamenti retti
37*	Cilindrico-frontale	***	CM	*****
3	Cilindrico-frontale	*****	CM	*****
3*3	***	Medio/Lunga	CM	*****
374	***	Extra lunga	CM	*****
*****	Cilindrico-frontale	*****	C	Incavatura-spianatura
9*1*	***	Normale	C	Incavatura-spianatura
****	*****	****	C	Incavatura-spianatura

Tabella 4.6: Famiglia-integrale

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
*34**	Cilindrico-frontale	*****	W	Spianatura
*34**	*****	/	W	*****
*34**	*****	/	W	Spianatura
*3***	Cilindrico-frontale	Lunga	W	Spianatura
*****	*****	/	M	*****
534**	*****	/	M	Spianatura
534**	*****	Normale	CM	Spianatura
534**	Cilindrico-frontale	Lunga	CM	*****
534**	*****	Lunga	CM	*****
534**	*****	*****	CM	Spianatura
4	*****	Normale	C	Spianatura
4	*****	/	C	*****

Tabella 4.7: Famiglia-integrale

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
*3***	a Raggio Concavo	/	C	*****
*****	Semisferica	/	C	*****
5	Semisferica	/	C	*****
5	Semisferica	Normale	C	*****
5	Semisferica	Lunga	C	*****
5	a Palla	/	C	*****
****	/*****	Normale	C	Copiatura
*****	*****	Lunga	C	Copiatura
5	*****	Normale	C	Copiatura
5	*****	Lunga	C	Copiatura
5	*****	Normale	CM	Copiatura
5	*****	Lunga	CM	Copiatura
5	*****	Normale	CM	Copiatura
5	*****	Lunga	CM	Copiatura

Tabella 4.8: Famiglia 5**-integrale

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
53***	a T	/	C	Smussatura a 45 gradi
5***0	a Candela	/	C	Filettatura

Tabella 4.9: Famiglia 5**-a inserti

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
5*	**	/	T	Incavatura
5***3	*****	/	T	Incavatura
65	**	/	T	Incavatura
*3**1	*****	/	M	Incavatura
5*86*	*****	/	M	Incavatura
5***4	a Disco-a inserti	/	M	*****
*7**0	a T-a inserti	/	C	*****

Tabella 4.10: Famiglia 53*-a inserti

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
*****	*****	/	M	Spianatura
6*5	***	/	M	Esecuzione tasche
5****	*****	/	M	Spianatura
5****	*****	/	M	Spallamenti retti
62*	***	/	M	Spianatura
*****	*****	/	M	Spianatura
53631	*****	/	C	Esecuzione canalini
5****	*****	/	C	Spianatura
5***5	*****	/	C	Smussatura a 45 gradi

Tabella 4.11: Famiglia 54*-a inserti

Fam	Descrizione	Serie	Attacco	Lavorazione
*4***	***** a inserto	/	C	Svasatura
*4***	***** a inserto	/	C	*****
*4***	***** a inserto	/	C	*****
*4***	***** a inserto	/	C	*****

4.4 Scelta degli utensili di fresatura

La scelta degli utensili di Fresatura è molto importante per stilare al meglio e con la migliore efficienza di produzione i cicli di fabbricazione che li coinvolgono. Con l'ausilio dei tool di scelta utensile del catalogo Fraisa e alcune evidenze sperimentali fatte durante alcune lavorazioni nel reparto attrezzeria, viene di seguito proposta una procedura di scelta utensile che prenda in considerazione i parametri principali che influenzano e soprattutto indirizzino i vari stakeholder verso la scelta della fresa opportuna. La seguente procedura è stilata prendendo in considerazione le frese a candela integrali, in quanto viene successivamente svolta una analisi degli impieghi che considera questa tipologia di utensili. I parametri principali, spiegati di seguito in dettaglio, che portano alla definizione dell'utensile pertinente, sono:

- materiali lavorati;
- materiali degli utensili;
- angolo di spoglia;
- taglienti;

- angolo d'elica;
- fluido lubrorefrigerante;
- stelo;
- parametri di taglio.

Appartengono alla famiglia delle frese a candela le frese a codolo cilindrico o conico e le frese raggiate. Stilando la procedura per queste tipologie di frese risulta già imposto il tipo di lavorazione che esse sono in grado di fare, infatti questi utensili sono impiegati per molte lavorazioni come: scanalatura, contornatura esterna e interna, incavatura, e lavorazione di superfici complesse quali incisioni di stampi.

4.4.1 Proprietà materiali lavorati

La lavorabilità dei materiali dipende dalle loro proprietà, dunque avere uno sguardo attento e critico su queste ultime risulta importante nella scelta dell'utensile da taglio prima di iniziare l'eventuale lavorazione per asportazione. Le principali proprietà del materiale che devono essere prese in considerazione prima della scelta dell'utensile da taglio sono otto, la microstruttura, la granulometria, il trattamento termico, la fabbricazione, la composizione chimica, la durezza, la resistenza allo snervamento, la resistenza alla trazione, la conducibilità termica, la dilatazione e l'indurimento da lavorazione. Come ben sappiamo, le proprietà dei materiali dipendono dalla loro struttura, dunque per studiare ad un livello di dettaglio adeguato la struttura di un materiale è necessario l'utilizzo del microscopio ottico che permette di scandire la sua microstruttura. Dal punto di vista dei processi manifatturieri, metalli che hanno microstruttura simile hanno anche proprietà di lavorazione simili, ma non è da sottovalutare il caso in cui possono esistere variazioni della microstruttura all'interno dello stesso pezzo e questo, naturalmente influenzerà la sua lavorabilità. La dimensione e la struttura organizzativa dei grani cristallini (granulometria) afferenti al materiale, sono anch'essi parametri utilizzati come indicatori generali della sua lavorabilità. Un metallo duttile, cioè con piccoli grani non sfalsati, tende facilmente sia alle operazioni di taglio che a quelle di finitura, questa tipologia di metallo è duttile, mentre metalli che presentano una granulometria intermedia rappresentano un compromesso che consente sia la lavorabilità di taglio che di finitura. La durezza di un metallo, deve essere correlata direttamente con la dimensione del grano cristallino, è rappresenta una proprietà che viene generalmente utilizzata come indice di lavorabilità del metallo stesso. Il trattamento termico, che consiste in una serie di operazioni di riscaldamento e raffreddamento quando il metallo è allo stato solido, serve per fornirgli le varie proprietà desiderate, un materiale come sappiamo, può subire questo trattamento per ridurre la sua fragilità, per rimuovere le varie tensioni residue, per ottenere duttilità o tenacità, per ottenere una particolare microstruttura, per cambiare la sua durezza o per apportare altre modifiche che influenzano molto la sua lavorabilità. Il metodo di fabbricazione del metallo

è anche un parametro molto importante, infatti a seconda di come viene prodotto si vanno ad influenzare proprietà quali, la dimensione del suo grano, la sua duttilità, la sua forza, la sua durezza, la sua struttura e dunque la sua lavorabilità. La composizione chimica di un metallo è un fattore importante nella determinazione della sua lavorabilità, tuttavia, gli effetti della composizione non sono sempre chiari, perché gli alliganti che compongono una lega metallica, lavorano sia singolarmente che collettivamente. La durezza è dunque una proprietà fondamentale ed è definita come la tendenza del materiale a resistere alla deformazione. In termini di pratica generale di lavorazione, la bassa durezza del materiale migliora la produttività, dal momento che la velocità di taglio è spesso selezionata in base alla durezza del materiale, infatti più bassa è la durezza, più alta è la velocità relativa utensile – pezzo, dunque la vita utensile viene influenzata negativamente con un aumento della durezza del pezzo, poiché i carichi e le temperature di taglio aumentano, riducendo così la vita dell'utensile. La resistenza allo snervamento, che si determina con la prova a trazione, è una proprietà del materiale che può essere alterata durante il suo trattamento termico. L'aumento, mediante trattamento termico della durezza del materiale, produce un aumento della resistenza allo snervamento e quindi, diventa più difficile, produrre una deformazione permanente del componente. Per definizione, un materiale con alta resistenza di snervamento, cioè di forza richiesta per unità di area per creare una deformazione permanente, richiede un alto livello di forza per iniziare la formazione del truciolo durante una lavorazione. Pertanto, materiali con resistenza di snervamento relativamente elevata possono essere più difficili da lavorare e lavorarli può ridurre la durata dell'utensile. La resistenza alla trazione aumenta insieme con resistenza di snervamento poiché il materiale trattato termicamente raggiunge maggiori livelli di durezza. Per quanto riguarda la conducibilità termica i materiali sono spesso etichettati come conduttori di calore o isolanti. I conduttori tendono a trasferire il calore da una zona calda verso una zona fredda ad alta velocità, mentre gli isolanti impediscono il flusso di calore in entrambe le direzioni. La conducibilità termica è una misura di quanto efficientemente un materiale trasferisce il calore. Pertanto, un materiale che ha un valore relativamente alto di conducibilità termica è considerato un conduttore, mentre uno con un livello relativamente basso sarebbe considerato come un isolante. Metalli che presentano bassa conducibilità termica non dissipano il calore liberamente e quindi, durante la lavorazione di questi materiali, sia lo strumento di taglio che il pezzo diventano estremamente caldi. Questo eccesso di calore accelera l'usura al tagliente e riduce la durata dell'utensile, dunque la corretta applicazione di importi sufficienti del liquido di raffreddamento direttamente nella zona di taglio (tra il tagliente e il pezzo) è essenziale per migliorare la vita dell'utensile in questa tipologia di metalli. Molti materiali, soprattutto i metalli, tendono ad aumentare le loro dimensioni quando la loro temperatura aumenta. Questa proprietà fisica è definita dilatazione termica. Il tasso di quanto i metalli si espandono varia, a seconda sul tipo o lega di materiale preso in considerazione. La velocità con cui il metallo si espande può essere determinato usando il coefficiente di espansione del materiale. Maggiore è il valore di questo coefficiente, più un materiale si espanderà quando è sottoposto a

un aumento di temperatura oppure si contrarrà quando è soggetto a una riduzione della sua temperatura. Per quanto riguarda la lavorazione, un piccolo aumento della temperatura nel pezzo in lavorazione si tradurrà in un cambiamento dimensionale che porterà a non ottenere la finitura richiesta a disegno, è dunque necessario che le lavorazioni di questi metalli richiedono una adeguata lubrificazione. Ultima ma non meno importante è la proprietà definita indurimento da lavoro, molti metalli infatti, durante la loro lavorazione a freddo producono degli aumenti drammatici in durezza. Il tasso e l'entità di questo l'indurimento interno varia ampiamente da un materiale a un altro. Anche il calore, è un parametro che gioca un ruolo importante nell'indurimento da lavoro di un materiale. Quando i materiali che esibiscono questa tendenza sono sottoposto a temperatura elevata, questa agisce come un catalizzatore per produrre più alti livelli di durezza nel pezzo. La lavorazione di materiali con questa proprietà dovrebbe essere intrapresa con una generosa quantità di liquido di raffreddamento, inoltre le velocità di taglio si dovrebbero correlare in modo specifico al materiale lavorato e non dovrebbero essere incautamente alterato per soddisfare una maggiore produttività, quindi, il calore in eccesso generato da velocità di taglio insolitamente elevate potrebbe essere estremamente dannoso per la lavorazione promuovendo l'indurimento da lavoro del pezzo. Dal punto di vista dello spessore del truciolo, basso spessore del truciolo dovrebbe essere evitato su questi materiali, poiché i processi di finitura creano calore a causa dell'attrito, calore che produce lo stesso tipo di effetto menzionato precedentemente.

Suddivisione secondo normativa dei materiali Lavorati

Come è noto, per ottenere processi di lavorazione produttivi e senza inconvenienti, è importante abbinare l'utensile più adatto (materiale di taglio, geometria, rivestimento, ecc) al materiale del pezzo da lavorare. Tuttavia, vi sono anche altri parametri, come i dati di taglio, che sono fondamentali per ottenere buoni risultati. Come conseguenza di ciò, data la mancanza di un documento che riassume le varie tipologie di materiali lavorati all'interno del plant, è stata creata una tabella dettagliata al fine di aiutare il Gu nella scelta dell'utensile più appropriato in funzione delle proprietà meccanico-metallurgiche dei materiali stessi. I materiali soggetti alle varie lavorazioni per asportazione di truciolo, sono principalmente: leghe leggere e acciai, necessari sia per la produzione di parti meccaniche che per la produzione di ruote dentate. La tabella è stata creata secondo gli standard ISO, cioè suddividendo i materiali in sei grandi gruppi.



Figura 4.8: Gruppi ISO materiali lavorati, [13].

Il gruppo ISO P, viene definito il gruppo degli acciai ed è costituito principalmente da acciai debolmente legati (dove gli elementi di lega sono presenti in quantità inferiore al 5% del totale), acciai fortemente legati (dove gli elementi leganti sono presenti in quantità superiore al 5% del totale), acciai per getti e gli acciai inossidabili ferritici e martensitici, con durezza dell'ordine di 400 HB. In generale, un acciaio è una lega Ferro-Carbonio, di cui il ferro è il componente principale. Gli acciai non legati hanno un tenore di carbonio inferiore allo 0,8% e sono costituiti esclusivamente da ferro (Fe), senza altri elementi leganti, mentre gli acciai legati o debolmente legati hanno un tenore di carbonio inferiore all'1,7%, e contengono elementi leganti come Ni, Cr, Mo, V e W. Come sappiamo, la lavorabilità dell'acciaio varia a seconda degli elementi leganti, del trattamento termico a cui è sottoposto e del processo di fabbricazione (forgiatura, laminazione, fusione, ecc.) processi che ne modificano la durezza. Il gruppo ISO M, comprende gli acciai inossidabili che hanno un tenore di carbonio basso, minore o al più uguale allo 0,05%, e sono materiali legati con un minimo del 12% di cromo; con varie aggiunte di nichel (Ni), molibdeno (Mo), niobio (Nb) e titanio (Ti), è possibile ottenere caratteristiche diverse, come la resistenza alla corrosione e la resistenza alle alte temperature. Il cromo ha il compito di protezione del materiale, infatti si combina con l'ossigeno (O) presente nell'atmosfera per creare uno strato passivante di Cr_2O_3 sulla superficie dell'acciaio, che rende il materiale non corrosivo. Uno dei tratti comuni di tutte questa tipologia di materiali è il fatto che il tagliente è esposto a una grande quantità di calore e a fenomeni di usura ad intaglio e tagliente di riporto. La lavorabilità dell'acciaio inossidabile varia a seconda degli elementi leganti, dei trattamenti termici e dei processi di fabbricazione (forgiatura, fusione, ecc.). In generale, la lavorabilità è inversamente proporzionale al tenore di lega. Il gruppo ISO K, comprende le varie tipologie di ghisa (lega di materiale ferro-carbonio con tenore di carbonio relativamente alto: $2,06\% < C < 6,67\%$), che al contrario dell'acciaio, sono un tipo di materiale a truciolo corto. Le ghise grigie (GCI) e le ghise malleabili (MCI) sono molto facili da lavorare, mentre le ghise nodulari (NCI), le ghise a grafite compattata (CGI) e le ghise austemperate (ADI) sono meno lavorabili. Tutte le ghise contengono SiC, che ha un'azione molto abrasiva sul tagliente. Il gruppo ISO N, contiene le leghe non ferrose, come l'alluminio, il rame, l'ottone, ecc. che sono più duttili. L'alluminio che presenta

un tenore di silicio del 13% è molto abrasivo. Generalmente, per lavorare questi materiali sono necessari degli inserti con taglienti affilati, i quali permettono di lavorare con alte velocità di taglio, e al contempo migliorare la loro durata. Il gruppo ISO S, rappresenta le superleghe resistenti al calore, le quali a loro volta comprendono una grande varietà di materiali fortemente legati a base di ferro, nichel, cobalto e titanio. Durante la lavorazione questi materiali hanno una forte tendenza all'incollamento creando il cosiddetto fenomeno del tagliente di riporto, e a causa dell'elevato calore sprigionato manifestano anche il fenomeno di incrudimento da lavoro. Sono simili ai materiali del campo ISO M ma al contrario, sono molto più difficili da lavorare e determinano una riduzione della durata dei taglienti appartenenti all'utensile. Il gruppo ISO H, comprende acciai di durezza compresa tra 45 e 65 HRC e anche ghisa fusa in conchiglia con durezza dell'ordine di 400-600 HB. Per la loro durezza, sono difficili da lavorare. Questi materiali generano calore durante la lavorazione e sono molto abrasivi per il tagliente. Come è visibile dalla tabella appena creata, l'effetto degli elementi di lega è molto importante, di conseguenza è necessario capire e comprendere al meglio come gli alliganti influenzano la lavorabilità sia degli acciai che delle leghe leggere. Poiché gli acciai sono tra i più importanti materiali ingegneristici, ci è molto a cuore conoscere gli elementi di lega presenti al loro interno ne influenzano la lavorabilità. Gli elementi che permettono di migliorare la truciolabilità degli acciai sono il piombo e lo zolfo, che inseriti in lega con il ferro e il carbonio creano i cosiddetti acciai automatici o acciai lavorabili ad alta velocità. Gli elementi leganti, che invece peggiorano la lavorabilità degli acciai sono l'alluminio e il silicio, che combinandosi con l'ossigeno formano ossidi e silicati di alluminio che sono dei composti duri e abrasivi che di conseguenza aumentano l'usura degli utensili da taglio. Anche altri elementi leganti, quali nichel, cromo, molibdeno e vanadio che migliorano le proprietà dell'acciaio, generalmente ne riducono la lavorabilità alle macchine utensili. Discorso a parte, deve essere fatto per gli elementi quali il manganese e il carbonio, infatti all'aumentare del contenuto di carbonio nell'acciaio, la lavorabilità diminuisce, tuttavia gli acciai con scarso contenuto di carbonio, con valori minori o uguali cioè allo 0.15 % danno una finitura superficiale scadente a causa della formazione del tagliente di riporto. Per quanto riguarda la lavorabilità per asportazione di altri metalli, è necessario ricordare seguendo la tabella della classificazione fatta: l'alluminio, le ghise, il magnesio e il titanio. L'alluminio è generalmente facile da lavorare per asportazione, tuttavia è necessario fare attenzione alle tipologie di alluminio più duttili le quali tendono a formare tagliente di riporto e quindi a produrre una finitura superficiale scadente, allora per ovviare a questo problema è necessario utilizzare elevate velocità di taglio e grandi angoli di spoglia. Le ghise grigie sono generalmente lavorabili per asportazione, ma è necessario fare attenzione perché sono molto abrasive, riducendo così la vita utensile. Il magnesio si lavora molto facilmente e garantisce buona finitura superficiale e lunga durata degli utensili. Tuttavia, si deve fare attenzione durante le lavorazioni poiché è caratterizzato da una elevata velocità di ossidazione quando è a contatto con l'aria (piroforico) con conseguente pericolo di incendio. Il titanio e le sue leghe hanno bassa conducibilità termica, portando

di conseguenza ad aumenti significativi di temperatura e alla formazione del tagliente di riporto, di conseguenza possono essere difficili da lavorare alle macchine utensili.

4.4.2 Materiali degli utensili

La scelta del materiale che costituisce una fresa è legata alla velocità di taglio che il tagliente può sopportare senza che subisca una celere usura. Per quanto appena detto, la velocità di taglio dipende dal tipo di materiale impiegato. La velocità di taglio è un parametro molto importante per quanto riguarda la produttività aziendale in quanto alti valori di quest'ultima comporta minori tempi di lavorazione. Come è noto dalla legge di Taylor, alte velocità di taglio comportano rapida usura, e per questo motivo sono nati dei materiali degli utensili che sono in grado di sopportarne alti valori mantenendo comunque una buona durata. Naturalmente i materiali degli utensili che permettono di adottare velocità di taglio maggiori sono sicuramente dal punto di vista economico i più costosi. Le principali caratteristiche che devono possedere i materiali per utensili perché possano asportare efficacemente ed economicamente il truciolo dalla superficie da lavorare sono: la durezza a freddo e a caldo, la tenacità, la resistenza all'usura, la conducibilità termica, il coefficiente di attrito e il costo che rappresenta una variabile importante nell'economicità della lavorazione. Il tagliente deve dunque avere una buona durezza sia a temperatura ambiente che ad alte temperature. La durezza a freddo viene ottenuta mediante trattamenti termici specifici e aggiunta di alliganti (elementi in lega). Avere una buona durezza a caldo significa mantenere questa proprietà anche alle alte temperature di lavorazione, raggiunte per via del fatto che è presente dell'attrito tra pezzo in lavorazione e utensile stesso. Per lavorare l'acciaio, l'utensile deve mantenere a caldo una durezza di 40 - 45 HRC. La regola vuole che l'utensile in ogni lavorazione in cui viene utilizzato, deve avere una durezza che deve essere maggiore di almeno 20 punti HRC rispetto a quella del materiale da lavorare. La tenacità è un'altra proprietà importante che deve avere un acciaio per utensili, e rappresenta la capacità di quest'ultimo di resistere agli urti ed evitare la rottura del tagliente. Le proprietà di tenacità e durezza sono praticamente opposte, infatti se un materiale ha una elevata durezza, significa che ha una bassa tenacità, e quindi ha una bassa attitudine a resistere agli urti subiti, e viceversa. La resistenza all'usura, rappresenta invece la capacità del materiale dell'utensile di mantenere pressochè inalterate nel tempo le superfici e gli spigoli di taglio, sottoposti all'usura per strisciamento del materiale e del truciolo che defluisce sul petto dell'utensile stesso. La conducibilità termica è anch'essa importante in quanto i materiali devono scambiare velocemente il calore prodotto nella zona di taglio al fine di mantenere a valori accettabili la temperatura del tagliente, questo implica che il coefficiente di attrito tra materiale in lavorazione e utensile deve essere il più basso possibile, così da evitare eccessivi riscaldamenti nella zona di taglio. Queste caratteristiche appena delineate, sono presenti in misura diversa nei numerosi materiali attualmente utilizzati per asportazione di truciolo. Per le tipologie di materiali presenti possiamo vedere le varie caratteristiche appena viste sfruttando la seguente tabella.

Tabella 4.12: Proprietà materiali utensili

Tipo	Res. shock termici	Res. usura	Velocità taglio	Tenacità	Durezza a caldo
Acciai al Carb	Diminuisce dall'alto verso il basso	Aumenta dall'alto verso il basso	Aumenta dall'alto verso il basso	Diminuisce dall'alto verso il basso	Aumenta dall'alto verso il basso
HSS					
WC					
WC rivestiti					
Ceramica					
CBN					
Diamante					

4.4.3 Angolo di spoglia

La superficie di scorrimento dell'utensile da taglio è l'unica superficie di scorrimento del truciolo e l'orientamento di questa superficie dell'utensile è indicata dagli angoli di spoglia. A seconda dell'orientamento della superficie dell'utensile rispetto al piano di riferimento, l'angolo di spoglia può essere positivo, negativo o addirittura pari a zero. Ogni tipo ha vantaggi e svantaggi specifici. Il valore degli angoli di spoglia determina la forza di taglio e il fabbisogno di potenza, la durata dell'utensile da taglio, la deviazione del truciolo, ecc. L'angolo di spoglia principale influenza indirettamente anche la lavorabilità del materiale.

- angolo di spoglia positivo: avere un angolo di spoglia positivo, offre la possibilità di avere taglienti affilati, e minore deformazione di truciolo durante la lavorazione, questo è molto importante perchè il fabbisogno di potenza durante la lavorazione e la forza di taglio hanno valori molto bassi. Tuttavia, a causa del basso valore dell'angolo di taglio β , la durata dell'utensile si riduce, inoltre qualunque carico di impatto durante la lavorazione può causare rottura del tagliente. Dunque l'utilizzo di utensili con angoli di spoglia principale positivo è utile quando il materiale da lavorare è duttile, come gli acciai, ottenendo una buona lavorabilità delle superfici in quanto si ha una continua formazione di truciolo, [6];
- angolo di spoglia negativo: a differenza dell'angolo di spoglia positivo l'utensile che ha un angolo di spoglia negativo è sicuramente più resiliente sotto carico d'impatto, inoltre resiste molto bene alla deformazione plastica alle alte temperatura di taglio in quanto avendo il tagliente più spesso è in grado di dissipare più calore. Dunque questa tipologia di utensili ha rispetto alla precedente una durata utensile superiore, tuttavia a causa del maggiore angolo di taglio la deformazio-

ne a taglio del truciolo è maggiore richiedendo al contrario del caso precedente maggiore potenza di taglio. L'utilizzo di utensili con questi angoli non fornisce formazione continua di truciolo, il che risulta negativo in termini di lavorabilità, [6];

- angolo di spoglia nullo: questa tipologia di utensile non è molto utile dal punto di vista del taglio, [6].

4.4.4 Taglienti

La determinazione del numero di taglienti è molto importante. Si può dire che frese che presentano due o tre taglienti presentano una migliore asportazione di truciolo rispetto alle frese con più di tre taglienti, ma al contempo, come ovvio che sia, presentano una peggiore finitura superficiale. Le frese con un numero di taglienti elevato sono infatti, per quello detto precedentemente, utilizzate per rifinire materiali più duri. L'influenza del numero di taglienti in funzione del materiale lavorato è espresso nella figura sottostante.

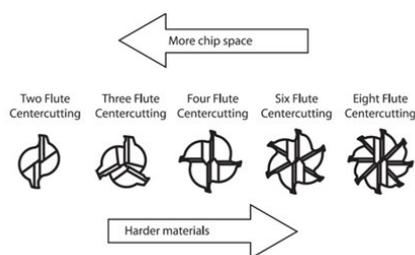


Figura 4.9: Numero di taglienti al in funzione del materiale, [17].

4.4.5 Angolo d'elica

Anche la configurazione e la costruzione dei taglienti è abbastanza importante nel processo di scelta dell'utensile adeguato. Tutte le frese a candela hanno un angolo d'elica e l'elica può essere destra o sinistra, a seconda di dove viene scaricato il truciolo durante la lavorazione. Le frese per impieghi generali hanno angolo d'elica di circa 30° . Qualsiasi aumento dell'angolo dell'elica aumenta l'azione di taglio efficace riducendo così le forze di taglio e la quantità di calore generato durante il processo di fresatura, migliorando il processo di formazione del truciolo. Le frese angolari con angolo elicoidale inferiore vengono utilizzate su materiali più difficili da lavorare, dove la massima resistenza e rigidità del bordo sono importanti per eseguire con precisione la lavorazione.

4.4.6 Raggio di punta

a seconda del raggio di punta, abbiamo la fresa a palla, con raggio di punta elevato per la creazione di tasche, le frese che presentano un piccolo angolo alla punta del tagliente, che ha il compito di rinforzare la fresa riducendo la scheggiatura di quest'ultima e una maggiore durata dell'utensile, e le frese che hanno un angolo nullo alla punta, che rappresentano la tipologia di frese general purpose.

4.4.7 Fluido lubrorefrigerante

La scelta di un fluido lubrorefrigerante adeguato è molto importante per ottenere delle lavorazioni ottimali senza danneggiamenti dell'utensile. Per ogni accoppiamento materiale lavorato-utensile risulta più adeguato un tipo di refrigerante piuttosto che un altro. Dall'intervista dei vari operatori durante la lavorazione, si è potuto evincere che la scelta del tipo di lubrificante adeguato al tipo di materiale di materiale che ci si appresta a lavorare è molto importante. Solitamente per applicazioni di fresatura tradizionale si utilizza l'olio da taglio o l'acqua emulsionata, che risultano essere i più economici. Tuttavia, siccome esistono alcuni materiali difficilmente lavorabili, esistono alcuni oli speciali quali: l'olio da taglio solforato o alcuni minerali.

4.4.8 Stelo

Determinare lo stelo più adatto alle proprie esigenze è un elemento importante per migliorare la lavorazione e la rigidità. Come si è potuto evincere durante le osservazioni sperimentali si ha che selezionando il diametro dello stelo maggiore si ha una maggiore rigidità riducendo al minimo le vibrazioni e la deflessione dell'utensile. Scegliere il miglior codolo è essenziale per ottenere elevate precisioni di lavorazione. I tipi di gambo incontrati sono:

- codolo cilindrico semplice;
- codolo weldon;
- cono morse, per applicazioni obsolete.

4.4.9 Parametri di taglio

La scelta dei parametri di taglio in fresatura è molto importante per la buona riuscita della lavorazione che ci si appresta a fare. I parametri di taglio possono essere calcolati, ma la maggior parte delle volte, i loro valori vengono forniti dal catalogo del fornitore di fiducia di frese. All'interno del catalogo vengono forniti oltre ai dati geometrici dell'utensile, delle tabelle in cui vengono indicati in funzione del diametro del tagliente,

e del numero di denti, i vari parametri di taglio da imporre in quella determinata lavorazione. di seguito andiamo a vedere le formule che ci permettono di calcolare i loro valori, [12].

Velocità di taglio [m/min]:

$$V_t = \frac{n * D * \phi}{1000} \quad (4.1)$$

Velocità di avanzamento [mm/min]:

$$F = f_z * z * n \quad (4.2)$$

Avanzamento del dente [mm]:

$$f_z = \frac{F}{z * n} \quad (4.3)$$

Volume di truciolatura [cm^3/min]

$$Q = \frac{a_p * a_e * F}{1000} \quad (4.4)$$

Dove:

- a_p =profondità assiale [mm];
- a_e =profondità radiale [mm];
- D=diametro tagliente;
- z=numero di taglienti utensile;

La Velocità di taglio è anch'essa un parametro che influenza il processo di taglio essendo responsabile delle alte temperature che si hanno in corrispondenza della zona di lavoro. Come è oramai noto, avere delle alte temperatura in corrispondenza della zona di taglio porta a deteriorare l'utensile, imponendo a quest'ultimo una minore durata. Secondo W. Taylor la legge che lega tra di loro velocità di taglio e durata di affilatura dell'utensile è fornita dalla seguente relazione:

$$V_t * T^n = C \quad (4.5)$$

Dove V_t è la velocità di taglio, mentre T è la durata del tagliente misurata in minuti, in cui si sviluppa un labbro di usura di ampiezza eccessiva, n è poi un esponente che dipende dalle condizioni di taglio, mentre C è una costante. I valori di n e C vengono forniti per la particolare accostamento pezzo – utensile e per ciascuna condizione di taglio. Analizzando la legge di Taylor si può facilmente dedurre che aumentando la velocità di taglio diminuisce la durata dell'utensile e viceversa, essendo il loro una costante imposta dalle particolari condizioni di lavorazione. Secondo lo stesso Taylor la velocità di taglio dipende da molteplici fattori quali, durezza del materiale da lavorare, tipo di materiale dell'utensile, sezione del truciolo, uso o meno del refrigerante, e durata di affilatura in servizio continuativo. In base alla durezza del materiale da lavorare, se

quello in questione è molto duro, per garantire una vita utensile accettabile è necessario utilizzare una velocità di taglio bassa, al contrario, se il materiale in questione è tenero, cioè è meno duro, è necessario utilizzare per garantire una vita utensile adeguata una velocità di taglio alta. Per quanto riguarda il tipo di materiale dell'utensile, in prima battuta è necessario dire che si tratta di un acciaio al carbonio la velocità di taglio deve essere bassa, altrimenti se si tratta di un inserto al carburo possiamo tenere delle velocità di taglio elevate. In base alla sezione di truciolo possiamo dire che se lavoriamo in sgrossatura dobbiamo mantenere delle velocità di taglio basse, mentre in processi di finitura, per garantire una giusta durata dell'utensile possiamo utilizzare delle velocità di taglio alte. Se durante la lavorazione si usa il refrigerante o meno, possiamo dire che per lavorazioni a secco dobbiamo mantenere una velocità di taglio bassa, mentre per lavorazioni effettuate con l'utilizzo del refrigerante possiamo utilizzare una velocità di taglio alta. Infine, in base alla durata di affilatura in servizio continuativo, possiamo dire che se l'utensile deve essere impiegato a lungo dobbiamo garantire una velocità relativa utensile- pezzo piccola, mentre se l'utensile viene affilato spesso possiamo utilizzare valori senza dubbio più elevati. Naturalmente per i valori di velocità di taglio, è necessario, come è stato precedentemente detto, seguire attentamente le indicazioni dei cataloghi delle varie case produttrici di utensili, se queste indicazioni non sono seguite potrebbe nascere dei problemi durante il processo di taglio, come quello del tagliente di riporto. Il fenomeno del tagliente di riporto si può formare sulla punta dell'utensile durante la lavorazione a bassa velocità di taglio. In questi regimi di bassa velocità relativa utensile -pezzo, il materiale non è duttile a causa di una bassa temperatura nella zona di taglio (punto di contatto utensile – pezzo in lavorazione), infatti, non deformandosi facilmente tende a depositarsi sul petto dell'utensile utilizzato per la lavorazione. Durante l'operazione di taglio, ad un certo punto il tagliente di riporto diventa instabile e di conseguenza si rompe inevitabilmente. A seguito della rottura si ha che la parte superiore del tagliente di riporto viene trascinata via dal truciolo sul petto dell'utensile, mentre la parte inferiore si deposita casualmente sulla superficie lavorata. Durante la lavorazione del pezzo, il processo di formazione del tagliente di riporto e la sua rottura sono fenomeni che si ripetono continuamente. Questo evento influenza negativamente la finitura superficiale della superficie in lavorazione. Si può comunque affermare che in generale il tagliente di riporto è un fenomeno negativo, ad eccezione di quando è sottile e stabile; in tali condizioni, infatti, protegge la superficie dell'utensile. Un modo facile e veloce per far sparire questo fenomeno è quello di aumentare la velocità di taglio, [2].

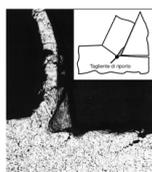


Figura 4.10: Fenomeno del tagliente di riporto, [1].

4.4.10 Proposta nuova scheda utensile

La scheda utensile costituisce la carta d'identità aziendale della fresa all'interno della quale si trovano le principali informazioni riguardanti l'utensile in esame. Risulta necessario a seguito di quanto appena detto, proporre una nuova tipologia di scheda utensile che prenda in considerazione i seguenti parametri:

1. caratteristiche geometriche costruttive principali dei taglienti: lunghezza, diametro, angolo di spoglia principale γ , angolo di spoglia dorsale α ;
2. numero di taglienti;
3. materiale e rivestimento eventuale del tagliente, con informazioni sulla relativa durezza;
4. tipologia di codolo e relative caratteristiche geometriche;
5. tipologia di materiali che la fresa è in grado di lavorare sfruttando la tabella ISO proposta;
6. informazioni relative ai parametri ottimali di funzionamento proposti dal catalogo fornitore;
7. inserimento dei riferimenti del catalogo fornitore che permettono ai vari stakeholder di consultare prontamente la brochure relativa, contattando prontamente il fornitore relativo nel caso di eventuali problemi.

Alcuni di queste informazioni presenti nella proposta della nuova scheda utensile possono essere facilmente contenute all'interno del codice identificativo interno dell'utensile, così nel seguito si propone una nuova codifica che sia di ausilio a questa metodologia proposta.

4.5 Proposta di una nuova codifica

Nella definizione della nuova codifica si propone un codice alfanumerico a 11 caratteri che contenga i parametri che bisogna prendere in considerazione nella individuazione dell'utensile necessario alle varie esigenze aziendali. Gli elementi appartenenti al codice alfanumerico vengono presentati schematicamente di seguito. I primi tre elementi del codice devono identificare se il tipo di utensile è standard o speciale, allora a seconda del tipo di articolo (fresa, punta..ecc), la proposta è:

- se utensile standard: (iniziale del tipo di articolo)+(codice progressivo a due cifre), il codice progressivo a due cifre ha il compito di definire univocamente le caratteristiche geometriche dell'articolo, ad esempio: F01, fresa standard frontale, F02, fresa standard raggiata..ecc, la definizione delle varie famiglie è lasciata all'adozione del gruppo utensili;

- se utensile speciale: (S+iniziale del tipo di articolo)+(codice progressivo a una cifra), ad esempio: FS1, fresa speciale frontale..ecc, la definizione delle varie famiglie è lasciata all'adozione del gruppo utensili.

I successivi tre elementi del codice hanno il compito di individuare rispettivamente materiale del tagliente, il numero di taglienti e il materiale che sono in grado di lavorare in modo ottimale sfruttando la tabella ISO proposta. Per quanto riguarda il materiale del tagliente è necessario creare in parallelo una tabella che a seconda del tipo e del relativo rivestimento eventualmente presente, corredata di relativa durezza, fornisca una lettera da A a Z in modo del tutto progressivo; mentre per quanto concerne il materiale lavorato si possono sfruttare i codici della tabella ISO, indicando di conseguenza il materiale ottimale di lavorazione del determinato utensile. I codici della tabella ISO identificati dai colori nei vari cataloghi sono :

- P acciaio;
- M acciaio inossidabile;
- K ghisa;
- N leghe non ferrose;
- S leghe di titanio;
- H acciaio temprato.

Il settimo e l'ottavo carattere del codice devono rappresentare il numero progressivo dell'articolo da utilizzare con lo scopo di differenziare codici simili tra di loro, mentre il nono e il decimo devono raffigurare il diametro del tagliente. Infine, l'ultimo numero ha il compito rappresentare i riferimenti del fornitore in considerazione con una lettera mediante l'inserimento dell'elenco delle lettere associate per fornitore in una tabella parallela. Questa nuova codifica consente di snellire la quantità di informazioni contenute nella nuova tabella utensile proposta.

4.6 Analisi degli impieghi

Una volta viste le formule relative ai parametri di taglio dai vari cataloghi, ci si appresta all'analisi degli impieghi degli utensili di fresatura. Analizzare gli impieghi significa andare a considerare due utensili di fresatura a campione appartenenti al parco frese presenti in tool room andando a verificare per ognuna la corretta applicazione dei parametri di taglio proposti dal catalogo fornitore. L'analisi si svolge seguendo lo schema logico seguente:

1. si prendono in considerazione due frese integrali a candela approvvigionate da fornitore fraisa;

2. si ricercano tutti i montaggi relativi a quella particolare fresa richiamati nei vari part programm;
3. si vanno ad analizzare uno per uno i vari part programm che coinvolgono il particolare montaggio identificando di volta in volta i parametri di taglio relativi, imposti durante la programmazione di quella particolare lavorazione;

All'interno dei vari part programm sono imposti:

- numero di giri [rpm];
- avanzamento [mm].

Dalla conoscenza di questi parametri utilizzando le formule relative ai parametri di taglio, mediante l'ausilio di un foglio di calcolo, si ottengono i valori calcolati, che sono riportati nelle tabelle sottostanti. L'analisi fatta per ogni fresa riporta:

- i parametri relativi al catalogo fornitore;
- le caratteristiche salienti delle fresa, necessarie al calcolo dei parametri di taglio;
- i valori calcolati a partire dai valori provenienti dai vari part programm.

Fresa 1

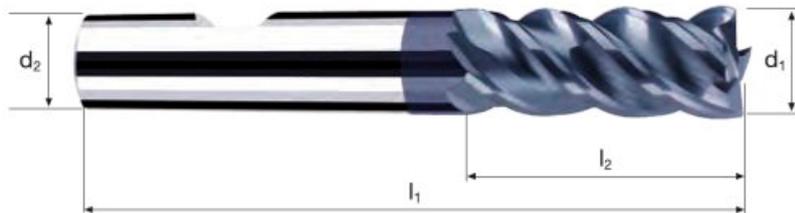


Figura 4.11: Fresa 1, [12].

Tabella 4.13: Riferimenti catalogo fraisa

Catalogo di riferimento Fraisa	
Articolo	15323
Catalogo	2016/2017
Codice articolo	.220
Rivestimento	P=TiAlCrN
Codice id. fraisa	P.15323.220

Tabella 4.14: Caratteristiche fresa Catalogo Fraisa

Caratteristiche Fresa	
Diametro Tagliente d1[mm]	20
z	4
Materiale lavorazione	Acciaio
Materiale lavorazione >32 HRC	Ti6Al4V

Tabella 4.15: Parametri contornatura Catalogo Fraisa

Parametri fraisa							
Materiale	HRC	Vt [m/min]	fz [mm]	ap [mm]	ae [mm]	n [rpm]	Q [cm ³ /min]
Acciaio	35-42	115	0.11	36	4	1830	116
Acciaio	42-48	80	0.1	36	4	1275	73.5
Acciaio	52-56	50	0.06	36	4	795	27.5
Ti6Al4V	>32	60	0.07	36	4	955	38

Tabella 4.16: Parametri lavorazione dal pieno Catalogo Fraisa

Parametri fraisa							
Materiale	HRC	Vt [m/min]	fz [mm]	ap [mm]	ae [mm]	n [rpm]	Q [cm ³ /min]
Acciaio	35-42	90	0.06	30	20	1430	207
Acciaio	42-48	65	0.055	30	20	1035	138
Acciaio	52-56	40	0.04	30	20	635	40
Ti6Al4V	>32	50	0.055	30	20	795	105

La tabella che segue è stata volutamente modificata per questioni di privacy aziendale.

Tabella 4.17: Parametri di utilizzo

Parametri Calcolati							
Montaggio	Part Program	Vt [m/min]	fz [mm]	ap [mm]	ae [mm]	Q [cm ³ /min]	OP
JAY14170	***UO09217	**	0.091	***75	1.8	2/**8	C
JAY14***	*A***092**	**	0.091	3***5	1.8	23.58	C
JAY14**3	*****216	**	0.***	25	6	6**	C
JAY14223	M*HU***47	**	0.**7	25	6	**	C
J*Y14224	/A*/09277	8*	****	**	*	12.**	C
JAY1****	MAH/*UO09278	**	0.077	32	1	12.8	C
*AY14***	SI//G*9*7	**	0**91	*****	4	40	C
JAY14224	S/I**4002	60	***80	15	1	***	C
J*****	S***0*	***	****	**	*	4.59	C
J**/**	****04	**	**80	15	***	4.59	C
J/7**2**	S/*/**095	**	0***7	32	1	1*.*	C
J***24	SIGHI41	82	****	***	1	1***	C
MHERQ0824	MHERQ00115	**	0.0**	7	**	**	C
MHERQ0824	MHERQ00124	50	0.***	**	**	**	C
MHERQ0824	MHERQ00154	**	0.**6	11	0.**5	0.99	C
MHER0824	MHER00159	**	0.0*6	8	**5	**	C
MHER0842	MHER00125	**	0.0**50	**14	5	**77	C
MHERQ08*2	MHERQ001*8	**	**50	14	*	7.7***	C
MHERK0*14	MHERK0**25	**	0.075	30**	0.**5	2.***65	C
****K09**	MHER***6	40	0.0*5	**30	**	2.8**	C
MHERK***4	MHERK***	4**0	0.0**5	30	0.**5	1*9**	C
MHER0914	MHER00129	**	0.075	30	0.5	2.865	C
TAUE11**	MHETE00264	**	*05	3*	1**	3.***	C
TAUE**17	MHETE00266	4**	0.08*8	3**	0.*5	2.8*8*	C
TAUE11**	MHETE0/*7	**	0.0**	30	1	3.*8*1	C
TAUE1117	MHEET***69	**	0.***5	30	0.5	2.865	C
TAUE998	MHET0***64	**	0.**0	14	5	7.**	C
TAUE**998	MHET00267	**	0.0*0	14*	5	***	C

L'utilizzo di questa fresa in tutti i montaggi che la coinvolgono è sempre relativo ad operazioni di contornatura su acciaio strutturale AISI 9310 di durezza pari a 40 HRC. Dal confronto tra i parametri relativi proposti dal fornitore e i parametri calcolati si può osservare che essendo questi ultimi nettamente inferiori la loro scelta è in perfetto accordo rispetto a quanto proposto. Limitare i parametri di taglio al di sotto del valore di soglia è molto importante al fine di aumentare sia la durata dell'utensile e sia per garantire operazioni con bassi valori di vibrazione, in modo da garantire una buona precisione di lavorazione.

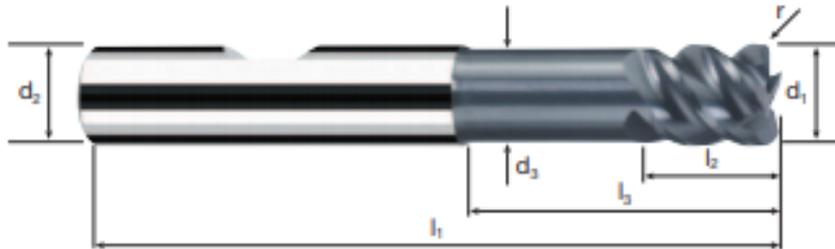
Fresa 2

Figura 4.12: Fresa 2, [12].

Tabella 4.18: Riferimenti Catalogo Fraisa

Catalogo di riferimento Fraisa	
Articolo	5253
Catalogo	2016/2017
Codice articolo	.300
Rivestimento	P=TiAlCrN
Codice id. fraisa	P.5253.300

Tabella 4.19: Caratteristiche fresa

Caratteristiche Fresa	
Diametro Tagliente d1[mm]	6
z	4
Materiale lavorazione	Acciaio

Tabella 4.20: Parametri contornatura Catalogo Fraisa

Parametri fraisa							
Materiale	HRC	Vt [m/min]	fz [mm]	ap [mm]	ae [mm]	n [rpm]	Q [cm ³ /min]
Acciaio	35-42	150	0.05	6	3.6	7960	34.5
Acciaio	42-48	120	0.035	6	3.6	6365	19
Acciaio	48-52	80	0.025	6	3.6	4245	9
Acciaio	52-56	60	0.02	6	3.6	3185	5.5

Tabella 4.21: Parametri lavorazione dal pieno Catalogo Fraisa

Parametri fraisa							
Materiale	HRC	Vt [m/min]	fz [mm]	ap [mm]	ae [mm]	n [rpm]	Q [cm ³ /min]
Acciaio	35-42	120	0.04	3	6	6365	18.5
Acciaio	42-48	100	0.03	3	6	5305	11.5
Acciaio	48-52	60	0.02	3	6	3185	4.5
Acciaio	52-56	40	0.015	3	6	2120	2.5

La tabella che segue è stata volutamente modificata per questioni di privacy aziendale.

Tabella 4.22: Calcolo parametri utilizzo

Parametri Calcolati							
Montaggio	Part Program	Vt [m/min]	fz [mm]	ap [mm]	ae [mm]	Q [cm ³ /min]	OP
JAYZ14605	SIGZ**45	**	3*8	5**5	0.**	0.2**	C
MHERZ0826	MHERZ00115	**	0.025	2	6	5.1	LP
MHERZ08**	MHERZ001**	**	0.0**	2	6**	5.**1	LP
MHER0826	MHER002**	9**4	0.0**20	2.**5	6**	6	LP
CUQ14430	MAHU00**02	1**7	0.*2*5	**3	6	*.6**	C
Q30	O**76	20	0.0**	*.*8	6	*.7**	C
C*1****	SIG4019	25	**23	1.5	3	0.*5*	C
CUQ****0	SIG/4159	17	0.0*5	3	*6	1.8**	C

L'utilizzo di questa fresa in tutti i montaggi che la coinvolgono è sempre relativo ad operazioni di contornatura lavorazione dal pieno su acciaio strutturale AISI 9310 di durezza pari a 40 HRC. Per quanto riguarda le lavorazioni dal pieno che coinvolgono tre part programm soltanto, il confronto tra i parametri proposti e quelli calcolati pone quest'ultimi nettamente inferiori o al più uguali ai parametri proposti, mentre per quanto riguarda le lavorazioni di contornatura, il confronto tra i parametri proposti e quelli calcolati sono anch'essi molto inferiori tranne che per la profondità radiale che nella maggior parte delle volte risulta aumentata di 2-3 mm con il scopo di aumentare la produttività. Anche dall'analisi di questi parametri risulta in generale evidente che limitare i parametri di taglio al di sotto del valore di soglia è molto importante per aumentare sia la durata dell'utensile e sia per garantire operazioni che abbiamo bassi valori di vibrazione, in modo da garantire una buona precisione di lavorazione

Conclusioni e sviluppi futuri

Oggi giorno le imprese, per essere competitive a livello di mercato, si spingono verso continui miglioramenti dei processi produttivi nei propri settori di appartenenza. Dunque, per essere al passo coi tempi le aziende devono saper cambiare continuamente sia i prodotti offerti che i servizi relativi, reinventando costantemente i processi produttivi attraverso un miglioramento del proprio know-how. AgustaWestland è ben conscia di questa situazione e il lavoro svolto si inquadra bene in quest'ottica. L'obiettivo perseguito in questo lavoro è stato quello di andare a trovare delle nuove soluzioni che sfruttassero quello già presente in azienda per creando un approccio razionale di analisi e di ottimizzazione degli utensili di fresatura presenti nella tool room aziendale. Questo lavoro è partito proponendo due soluzioni di armadi utensili automatizzati, infatti a mio parere, dato che l'azienda gestisce un numero elevato di utensili questo investimento risulta necessario per avere un controllo semplice ed efficace della logistica utensili. Da questo punto in poi, l'analisi si è focalizzata sugli utensili di fresatura. Il primo lavoro svolto è stato quello di proporre uno snellimento degli utensili gestiti, infatti si sono a tal proposito eliminati 348 codici utensili non utilizzati nelle varie operazioni di taglio. Una volta ottenuta la rimozione di questi codici si è poi proceduto con la classificazione delle frese secondo il tipo di lavorazione che si può ottenere, imponendo di conseguenza la geometria necessaria. Una volta ottenuto questo primo quadro della situazione, ci è poi proceduto alla stesura di una procedura operativa che tenesse conto dei principali parametri vincolanti la scelta dell'utensile di fresatura, proponendo a valle una nuova tipologia di scheda utensile unificata che prendesse in esame tutti questi parametri. Per correlare la nuova tipologia di scheda utensile all'interno del processo produttivo si è poi proposta una nuova codifica utensile che permettesse in modo semplice ed efficace di prendere in considerazione alcuni parametri importanti riguardanti le principali caratteristiche della fresa. Ultima ma non meno importante, è stata l'analisi svolta sui parametri di taglio imposti nei vari part program per ottenere le varie lavorazioni ad asportazione di truciolo, analisi che si è rivelata importante per capire se lavorazioni fossero fatte seguendo i parametri imposti da fornitore. Il lavoro appena svolto risolve comunque una minima parte del problema e sarebbe opportuno a livello aziendale estendere questo tipo di analisi anche alle

altre famiglie di utensili presenti in reparto, ossia punte, bareni, maschi e alesatori. Continuando su questa strada, mediante l'investimento di ulteriori risorse, si potranno dunque ottenere degli ulteriori risultati che garantiranno processi produttivi efficienti ed efficaci col minor dispendio economico. Concludo dicendo che questa esperienza è per me risultata un mezzo fondamentale per affacciarsi al mondo del lavoro, per estendere le mie conoscenze e per consolidare quelle acquisite durante gli studi universitari. In più, soprattutto a livello tecnico, tramite tutte le attività svolte sono stati raggiunti buoni risultati in termini di preparazione teorica e pratica sugli argomenti caratterizzanti questo lavoro. I risultati sono stati perseguiti anche mediante l'uso di alcuni programmi di gestione degli Utensili, i quali hanno contribuito significativamente al miglioramento delle mie competenze tecniche. Si può concludere che questa esperienza ha avuto un impatto estremamente positivo anche in termini di crescita personale grazie al confronto, giorno per giorno, con un ambiente molto differente da quello accademico.

Bibliografia

- [1] M. Santochi, F. Giusti, Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione, Casa editrice ambrosiana, 2^a edizione, 2000.
- [2] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, Tecnologia meccanica, Pearson, 2^a edizione, 2014
- [3] F. Grimaldi, Manuale delle macchine utensili a CNC, Hoepli, 2007
- [4] B. Maiocchi, M. Rossi, Manuale delle macchine utensili, Tecniche Nuove, 2014
- [5] G. Tani Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali - Facoltà di Ingegneria Università di Firenze - Via S. Marta 3 - FIRENZE - ITALIA
- [6] F. Rabezana, Manuale degli utensili, Tecniche Nuove, 2014
- [7] “https://moodle2.units.it/pluginfile.php/138861/mod_resource/content/1/Asportazione_truciolo_1.pdf”
- [8] “http://dma.ing.uniroma1.it/users/m_tec1_c1/Truciolo%201.pdf”
- [9] “<http://federmeccanica.it/images/files/industria-metalmeccanica-in-cifre-giugno-2017.pdf>”
- [10] “<https://seieditrice.com>”
- [11] “<http://federmeccanica.it/component/k2/la-fabbrica-4-0-traina-export-e-produttivita-2.html>”
- [12] “<http://www.fraisa.com/it/prodotti/utensili-per-fresatura>”
- [13] “<https://www.sandvik.coromant.com/it-it/products/Pages/milling-tools.aspx>”

- [14] “<https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/en-gb/c-2940-142.pdf>”
- [15] “<http://www.uop.it/products/standard-tools/solid-carbide-tools/>”
- [16] “<http://www.uop.it/products/standard-tools/powder-metal-hss-e/>”
- [17] “[http://mindworks.shoutwiki.com/wiki/Cutter_Types_\(Mill\)](http://mindworks.shoutwiki.com/wiki/Cutter_Types_(Mill))”
- [18] “<http://www.leonardocompany.com>”
- [19] “<https://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/brochures/it-it/c-2940-142.pdf>”
- [20] “http://www.fraisa.com/it/assets/media/pdf/prospekte/it/Broschuere_ToolCare2_IT.pdf”
- [21] “<http://www.lep.polito.it/sistemidiproduzione/Esercizi/Produzione%20per%20asportazione/Cicli%20di%20Lavorazione%20def.pdf>”