



Università degli Studi di Roma “La Sapienza”
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Meccanica e Aeronautica

Corso di Laurea Triennale in
Ingegneria Meccanica

Esame di Tecnologia Meccanica

Lavoro d’Anno

*“Progettazione del ciclo produttivo
di un giunto a flange elastiche Periflex”*

Docente:

Prof. Francesco Veniali

Gruppo: DAGA (n°48)

Studenti:

Daniele Cortis

Alessandro Pierini

Giordano Persichini

Antonio Pasciuti





||| Indice

Capitolo 1 GIUNTO A FLANGE ELASTICHE PERIFLEX.....	7
1.1 Generalità	7
1.2 Scelta dei materiali	9
1.3 Analisi delle superfici funzionali	10
1.4 Varianti progettuali.....	13
1.5 Disegno del finito.....	13
Capitolo 2 FONDERIA	14
2.1 Disegno del finito.....	14
2.2 Scelta del tipo di formatura	14
2.2 Realizzazione del grezzo	15
2.2.1 Scelta del piano di separazione	15
2.2.2 Calcolo dei sovrametalli.....	16
2.2.3 Calcolo dei raggi di raccordo	17
2.2.4 Assegnazione degli angoli di sformo	17
2.2.5 Determinazione del ritiro	17
2.2.6 Disegno del grezzo.....	17
2.3 Analisi termica del getto.....	18
2.3.1 Solidificazione direzionale	18
2.3.2 Scelta e dimensionamento della materozza	20
2.3.3 Dimensionamento del sistema di colata	25
2.4 Progettazione dell' anima.....	29
2.5 Dimensionamento del modello	31
2.5.1 Considerazioni tecnologiche.....	31
2.5.2 Disegno del modello	31
2.6 Ciclo di formatura	32
2.6.1 Scelta delle staffe	32
2.6.2 Composizione della terra da fonderia	33
2.6.3 Resistenza della forma alle spinte metallostatiche	34
2.6.4 Operazioni di formatura	35
2.7 Lavorazioni finali.....	38
2.8 Stima dei costi di produzione	39

Capitolo 3 LAVORAZIONE ALLE MACCHINE UTENSILI	41
3.1 Disegno del finito	41
3.2 Analisi delle superfici da lavorare	41
3.2.1 Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza della fasi.....	42
3.2.2 Raggruppamento delle operazioni in sottofasi	44
3.2.3 Scelta della sequenza delle operazioni.....	46
3.3 Analisi delle lavorazioni.....	48
3.3.1 Tornitura.....	48
3.3.2 Fresatura.....	55
3.3.3 Cartellino per il ciclo di lavorazione.....	62
3.3.4 Foglio analisi lavorazione.....	62
3.4 Scelta delle macchine utensili	63
3.5 Stima dei costi di produzione.....	67
 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	 70



||| Allegati

Allegato 1

Tavola n° 1 - Giunto a flange elastiche Periflex

Allegato 2

Tavola n° 1 - Mozzo di supporto del giunto a flange elastiche Periflex

Tavola n° 2 - Grezzo di fusione del mozzo di supporto del giunto a flange elastiche Periflex

Tavola n° 3 - Modello da fonderia per il mozzo di supporto del giunto a flange elastiche Periflex

Allegato 3

Fascicolo n° 1 - Estratti catalogo Coromant tornitura

Fascicolo n° 2 - Estratti catalogo Coromant foratura

Fascicolo n° 3 - Estratti catalogo maschiatura e stozzatura

Fascicolo n° 4 - Cartellino per il ciclo di lavorazione

Fascicolo n° 5 - Foglio analisi lavorazione

Fascicolo n° 6 - Scheda tecnica tornio TRENS SN 500 SA

Fascicolo n° 7 - Scheda tecnica fresatrice ITAMA FV 300

Fascicolo n° 8 - Scheda tecnica stozzatrice CAMS Mod. 200

||| GIUNTO A FLANGE ELASTICHE PERIFLEX

1.1 Generalità ¹

Il giunto Periflex per accoppiamento albero-albero è un giunto superelastico in gomma, particolarmente adatto soprattutto al collegamento di due alberi con motorizzazioni diesel e comandi elettrici. È disponibile in commercio per coppie nominali da 25 a 15000 Nm, ed analizzando le dimensioni del giunto in esame si prevede una coppia nominale di utilizzo compresa tra i 10000 ed i 13000 Nm.

Grazie alla speciale forma dell'elemento elastico, il giunto Periflex è in grado di compensare spostamenti estremamente elevati in ogni direzione con reazioni di carico trascurabili. Il collare elastico ha un taglio che permette il proprio montaggio e smontaggio radiale senza la necessità quindi di spostare gli organi accoppiati. La trasmissione della coppia nei giunti Periflex è assolutamente senza gioco. È altresì idoneo ad assorbire i picchi di coppia ed a smorzare le vibrazioni.

Il giunto Periflex per accoppiamento albero-albero è particolarmente indicato per l'industria siderurgica, gru ad elevato carico e vie a rulli. Altre applicazioni indicate sono impianti industriali in genere, macchine per costruzione, macchine per l'industria mineraria, macchine per la fabbricazione della carta così come imbarcazioni e ingegneria meccanica.



Figura 1.1 – Giunto a flange elastiche Periflex

¹ Catalogo "Giunto Periflex per accoppiamento albero-albero" - Stromag Italia, <http://www.stromag.it>, 2009.

I mozzi del giunto e le flangie di pressione sono realizzati in acciaio e sono forniti con uno strato protettivo anticorrosione. Il collare è di gomma naturale con inserti in tessuto posizionati radialmente o diagonalmente. Le diverse possibilità di posizionamento del tessuto permettono di realizzare collari con differenti rigidità torsionali. Inoltre sono disponibili collari in esecuzione non infiammabile, isolati elettricamente e resistenti all'olio. Il collare standard può essere montato radialmente grazie al taglio; per semplificarne il montaggio può inoltre essere separato in due parti uguali senza che questo ne riduca la coppia trasmissibile.

Il giunto Periflex per accoppiamento albero-albero, in relazione alla coppia e alla velocità, genera una forza assiale che deve essere assorbita da un cuscinetto adeguato. I giunti Periflex sono adatti a temperature di esercizio da -20°C a $+80^{\circ}\text{C}$. L'elemento elastico può raggiungere temperature più alte di quella dell'ambiente durante il lavoro.

Normalmente i giunti elastici rappresentano il punto di rottura predeterminato di una linea di comando. I sovraccarichi del sistema portano pertanto alla rottura degli elementi elastici del giunto. Questo comportamento è voluto e serve a proteggere l'intero sistema da eventuali danneggiamenti.

Per il montaggio dei giunti Periflex (Figura 1.1), i mozzi (1) e (2), con le relative flangie di pressione (3), devono essere calettati sulle estremità degli alberi e le parti del sistema devono essere allineate. Il collare in gomma (4) viene montato sui mozzi e fissato con le viti (5) e le rosette (6) serrate alla coppia prestabilita, mediante le flangie di pressione.

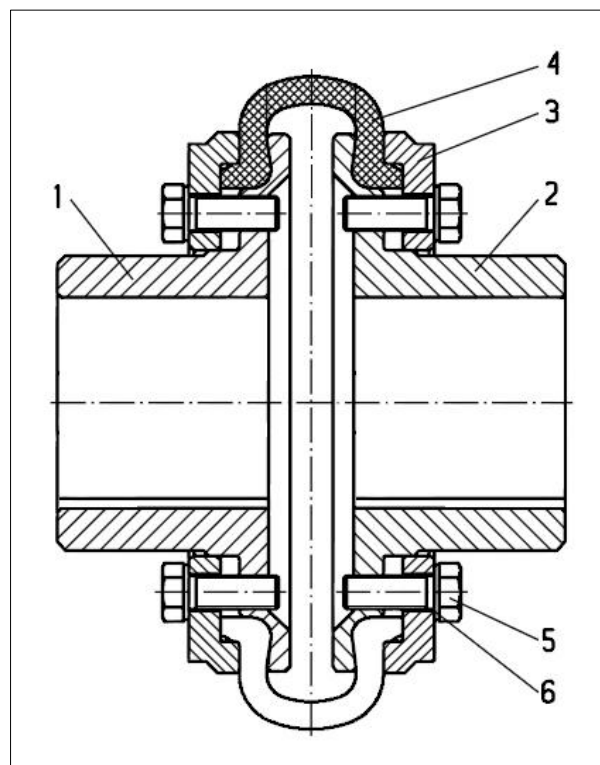


Figura 1.2 – Giunto a flange elastiche Periflex

1.2 Scelta dei materiali

La scelta dei materiali per la realizzazione dei componenti del giunto Periflex è stata orientata al raggiungimento del miglior compromesso tra i processi tecnologici che sono stati adottati per tale processo produttivo (fonderia in terra ed asportazione di truciolo) senza trascurare l'aspetto economico.

La realizzazione del mozzo, che avviene per fonderia e successivamente per lavorazione alle macchine utensili, ha indirizzato la scelta, secondo la norma UNI 3158 (figura 1.3), verso un acciaio per getti non legato, utilizzato per costruzioni meccaniche di impiego generale, che presenta sicuramente una buona colabilità, anche se l'impiego di un acciaio al carbonio avrebbe risposto meglio a criteri di economicità, funzionalità, lavorabilità alle macchine utensili.

L'acciaio scelto è l'*Fe G 520* designato a partire dalle sue caratteristiche meccaniche (carico di rottura minimo 520 N/mm²).

Per quanto riguarda i restanti componenti del giunto, flangie di pressione, viti di serraggio, rosette elastiche e collare elastico, non verranno prodotte direttamente ma acquistate su commessa.

Qualità di acciaio*	Prova di trazione (vedere 5.2)					Resilienza (vedere 5.3)	
	Carico unitario di rottura		Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità		Allungamento		Strizione
	<i>R</i>		<i>R_{p0,2}</i> min.		<i>A</i> min.		<i>Z</i> min.
UNI 3158	N/mm ²	kgf/mm ²	N/mm ²	kgf/mm ²	%	%	<i>KV</i> min. J
Fe G 400	400 ÷ 550	41 ÷ 56	200	20,5	25	40	30
Fe G 450	450 ÷ 600	46 ÷ 61	230	23,5	22	31	25
Fe G 520	520 ÷ 670	53 ÷ 68	260	26,5	18	25	22
Fe G 570	570 ÷ 720	58 ÷ 73	300	30,5	15	21	18**

* Per le definizioni e la classificazione dei tipi di acciai, vedere UNI EU 20; per la loro designazione, vedere UNI EU 27.
 ** La norma ISO 3755 non stabilisce la resilienza, lasciando di concordarne il valore fra committente e fornitore all'ordinazione.

Figura 1.3 – Acciaio non legati di qualità in getti per costruzioni meccaniche di impiego generale UNI 3158

1.3 Analisi delle superfici funzionali

Nei disegni costruttivi dei componenti del giunto Periflex sono state indicate le tolleranze solo per le quote legate a dimensioni del pezzo funzionalmente importanti. Per le altre dimensioni è normalmente sufficiente la precisione che si ottiene con i normali processi tecnologici di seguito adoperati.

Lo studio delle correlazioni tra lavorazioni meccaniche, quote, tolleranze e finiture superficiali è stato invece oggetto di una accurata analisi, che si è svolta analizzando ogni singolo componente del giunto Periflex.

Mozzo

Le superfici funzionali del mozzo di supporto interessano le connessioni con l'albero di trasmissione e la flangia di pressione (figura 1.4).

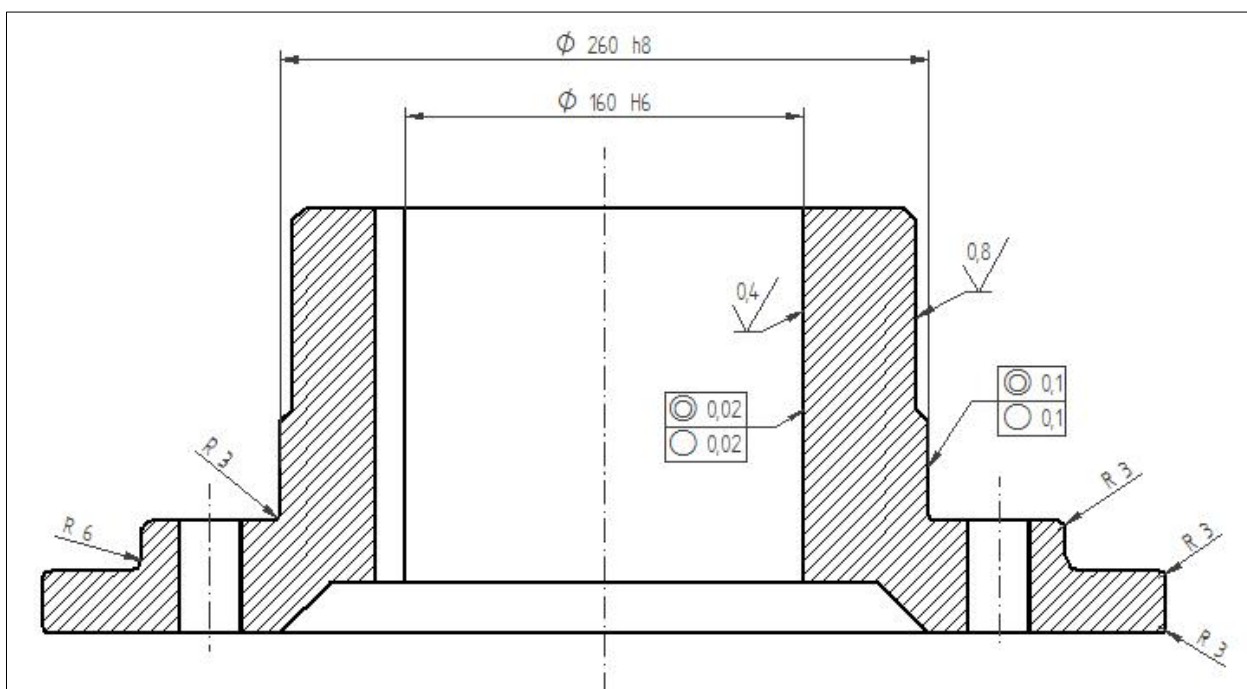


Figura 1.4 – Superfici funzionali mozzo di supporto

Analizzando l'accoppiamento con l'albero secondo la norma ISO UNI 6387-68 si è previsto uno scostamento fondamentale di classe H6, dove la classe IT6 rientra nelle classi di lavorazione precise, dell'ordine della decina di μm (rettifica IT5-IT6 e tornitura IT7)².

Per quanto riguarda invece la flangia di pressione, poiché è sufficiente un buon accoppiamento con tolleranze dell'ordine di 0,1 mm che non crei interferenza tra il mozzo e la flangia stessa

² Ing. Francesca Campana, "Dispense Disegno di Macchine" Anno Accademico 2008/09.

durante il montaggio, si è scelto secondo la norma ISO UNI 6387-68 uno scostamento fondamentale di classe h8 per la superficie del mozzo ed H9 per la superficie della flangia.

Tolleranze geometriche rilevanti riguardano per la forma, la circolarità della superficie del mozzo, e per la posizione, la concentricità o coassialità dell'asse del mozzo stesso. In base alle tolleranze dimensionali precedentemente definite si ha:



Per le tolleranze superficiali³ (figura 1.5) si assegna un valore di rugosità media pari a $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ per la superficie esterna di accoppiamento con la flangia (valore di rugosità in cui rientrano le principali lavorazione di tornitura), e di $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ per la superficie interna di accoppiamento con l'albero di trasmissione (superficie che per ottenere le tolleranze dimensionali si presume dovrà essere rettificata).

L'accoppiamento con il collare elastico non prevede tolleranze dimensionali rilevanti, infatti per quanto riguarda la superficie di contatto tra il mozzo e il collare elastico si prescrive un raggio di raccordo di circa 6 mm, valore tipicamente raggiungibile tramite la fonderia in forma transitoria che verrà adottata in seguito.

Infine per evitare concentrazioni di tensioni si realizzeranno raggi di raccordo di 3 mm ogni spigolo vivo del mozzo di supporto del giunto Periflex.

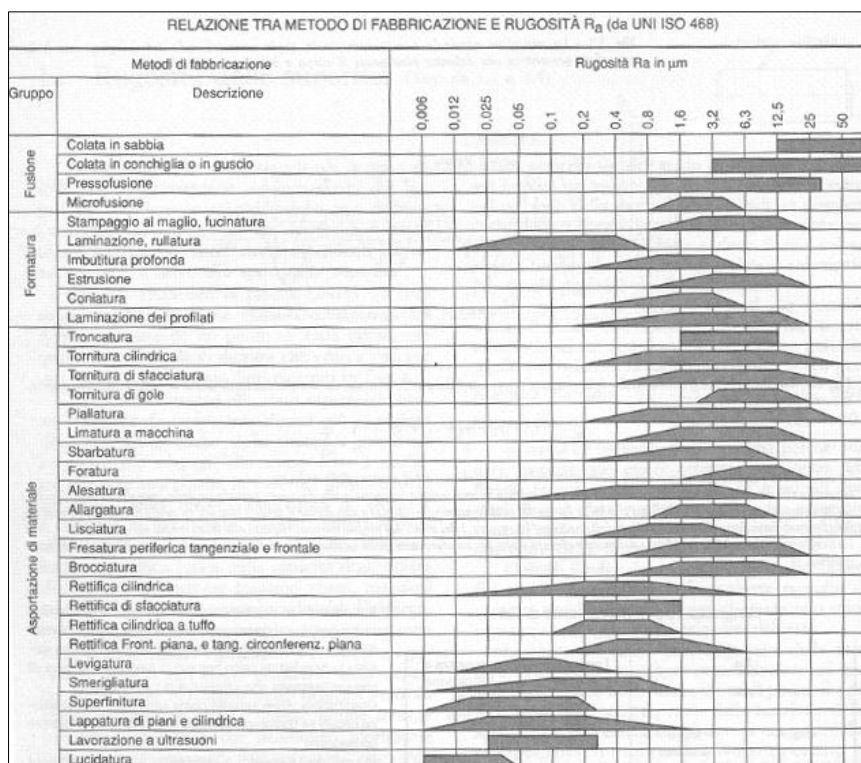


Figura 1.5 – Relazioni tra metodo di fabbricazione e rugosità R_a – UNI ISO 468

³ Ing. Francesca Campana, "Dispense Disegno di Macchine" Anno Accademico 2008/09.

Flangia di pressione

Le superfici funzionali che riguardano la flangia di pressione interessano l'accoppiamento con il mozzo di supporto.

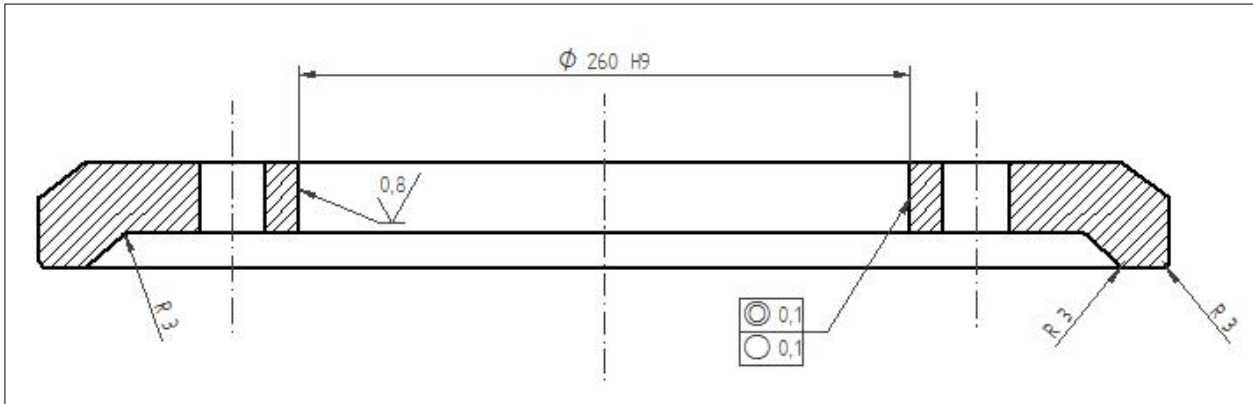


Figura 1.6 – Superfici funzionali flangia di pressione

Secondo la norma ISO UNI 6387-68 si prevede uno scostamento fondamentale di classe H9, dove la classe IT9 rientra negli scostamenti dell'ordine di 0,1 mm.

Tolleranze geometriche rilevanti, anche in questo caso, riguardano per la forma, la circolarità della superficie, e per la posizione, la concentricità o coassialità dell'asse della flangia stessa. In base alle tolleranze dimensionali precedentemente definite si ha:

Circolarità

○	0,1
---	-----

 Coassialità

◎	0,1
---	-----

Per le tolleranze superficiali si assegna un valore di rugosità media pari a $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ per la superficie esterna di accoppiamento con la flangia (valore di rugosità in cui rientrano le principali lavorazioni di tornitura).

Anche in questo caso per evitare concentrazioni di tensioni si realizzeranno raggi di raccordo di 3 mm precisamente nei punti di contatto della flangia con il collare elastico del giunto Periflex.

1.4 Varianti progettuali

Non si riscontrano modifiche progettuali a priori che possano migliorare il processo tecnologico di produzione del giunto in esame.

1.5 Disegno del finito

Per il disegno del finito del giunto Periflex si rimanda all'Allegato 1 – Tavola 1.



||| FONDERIA

2.1 Disegno del finito

Per il disegno del finito del mozzo da realizzare tramite il processo di fonderia si rimanda all'Allegato 2 – Tavola 1.

2.2 Scelta del tipo di formatura

Le specifiche di produzione richiedono la realizzazione di 51 giunti Periflex, di conseguenza è necessario fabbricare 102 mozzi di supporto.

La tecnologia scelta è la fonderia in terra, pertanto si rende ora necessario scegliere il tipo di formatura.

Tale scelta è stata condizionata da diversi fattori, che ci hanno fatto optare per una formatura manuale con staffe in forma transitoria. I principali vincoli che hanno condizionato la nostra scelta sono stati:

- Il grezzo di fonderia non richiede un'elevata finitura superficiale, poiché tale pezzo verrà lavorato successivamente alle macchine utensili per ottenere le tolleranze richieste dal progetto;
- le dimensioni del grezzo rientrano nei così detti "getti piccoli"⁴ e gli spessori minimi⁵ realizzabili sono ottenibili normalmente tramite il processo di fonderia in terra;
- le modeste dimensioni del lotto, fanno optare per una forma transitoria, non potendo evidentemente ammortizzare l'eventuale scelta di una forma permanente durante il nostro ciclo produttivo;
- la convenienza di scegliere un processo tecnologico semplice da realizzare, non andando a scapito delle specifiche di progetto;
- la necessità di contenere il più possibile i costi di produzione.

⁴ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 4-2

⁵ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 4-13

2.2 Realizzazione del grezzo

Nel seguente paragrafo verranno illustrate le operazioni che porteranno a definire tutte le caratteristiche del grezzo da fusione, tenendo sempre conto nello studio che le scelte sono il risultato di un'analisi tecnica ed economica del problema.

2.2.1 Scelta del piano di separazione

La prima operazione da fare per definire il disegno del grezzo da fusione è la scelta del piano di separazione delle due semiforme.

Poiché il pezzo in esame è di discrete dimensioni, si è cercato di contenere i costi di formatura cercando di ridurre al minimo l'altezza delle staffe, è stato deciso quindi di colare il pezzo posizionandolo con la dimensione maggiore nella direzione orizzontale, parallela al piano delle staffe (figura 2.1).

Un altro motivo tecnologico che ha sostenuto questa scelta, è stata la necessità di evitare la presenza di sottosquadri, zone che avrebbero danneggiato inevitabilmente la forma durante l'estrazione del modello, rendendo impossibile o molto difficoltoso il processo di formatura nel caso si fosse adottato un modello scomponibile a tasselli.

A tutto questo si aggiunge la possibilità di utilizzare un'anima verticale per realizzare il foro centrale, anima che posizionata in questa maniera risulta esente da spinte metallostatiche, che a causa dell'elevata quantità di acciaio da colare, avrebbero avuto una grande influenza sulla progettazione di un'anima orizzontale.

Tutte queste scelte portano ad una maggiore difficoltà di inserimento delle anime verticali nella forma, durante il ciclo di formatura, complicando anche il processo di chiusura delle staffe, ma sono problematiche comunque accettabili.

A tal proposito si anticipa che a causa delle dimensioni del pezzo da colare, il peso del getto e delle staffe non sarà trascurabile, ed il processo di formatura e di sformatura non avverrà manualmente ma mediante l'utilizzo di sistemi meccanici e/o automatici.

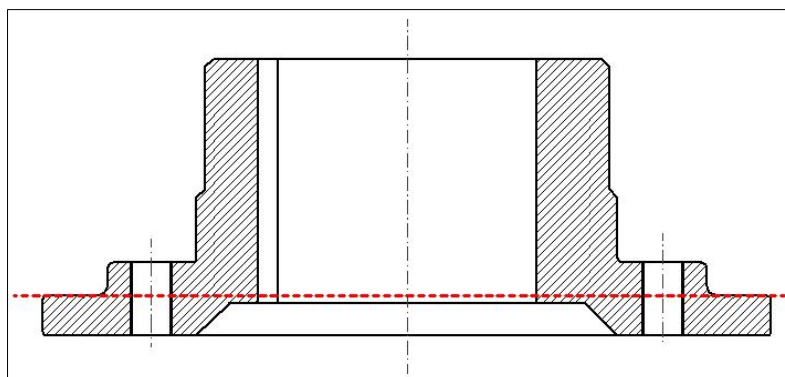


Figura 2.1 – Piano di separazione

2.2.2 Calcolo dei sovrametalli

Il processo di fusione in esame non permette di ottenere superfici con tolleranze che soddisfino in pieno le esigenze funzionali del progetto, quindi partendo dallo studio delle superfici funzionali trattate al Capitolo 1, risulta necessario prevedere uno spessore di metallo (sovrametallo) da asportare successivamente quando il pezzo verrà lavorato alle macchine utensili.

Anche in questo caso l'entità del sovrametallo da prevedere su ogni superficie è stata calcolata facendo un compromesso tra una esigenza di carattere economico, al fine di ridurre al minimo il materiale da asportare e i tempi di lavorazione alle macchine utensili, e una di carattere tecnologico per garantire un margine di sicurezza dovuto agli errori di formatura, difetti superficiali e ritiri del getto difficilmente prevedibili.

In base alla tabella UNI 6226-73 (tabella 2.1) dove è stato considerato un grado di precisione medio (B) relativo a getti ripetuti, sono state fatte le seguenti scelte in termini di sovrametalli, le quali sono riportate in maniera visiva in figura 2.1. In tale scelta non sono stati presi in considerazioni smussi, eventuali raccordi, cavità e fori che verranno realizzati successivamente.

Tolleranze dimensionali e sovrametalli per lavorazione di getti in acciaio non legato, colati in sabbia

Massima dimensione del getto grezzo (mm)	Dimensione nominale (mm)																							
	fino a 80 mm			oltre 80 fino a 180			oltre 180 fino a 315			oltre 315 fino a 500			oltre 500 fino a 800			oltre 800 fino a 1250			oltre 1250 fino a 1600			oltre 1600 fino a 2500		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
fino a 120	6	4	3	7	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oltre 120 fino a 500	7	5	4	8	5	5	10	6	6	14	8	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oltre 500 fino a 250	8	5	5	9	6	6	11	7	7	15	9	8	18	11	9	20	13	-	-	-	-	-	-	-
oltre 1250 fino a 2500	9	6	6	10	7	7	12	8	8	16	10	9	20	12	10	22	14	11	25	15	-	30	17	-

Tabella 2.1 – Tabella UNI 6226-73

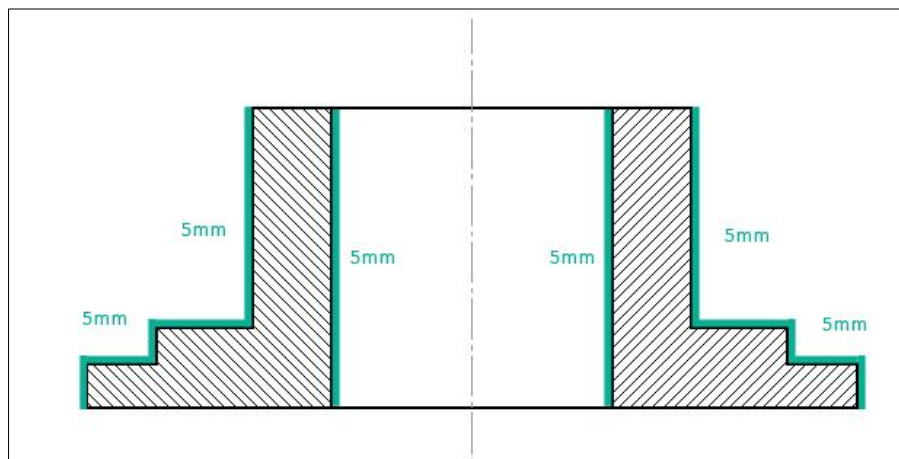


Figura 2.2 – Sovrametalli

2.2.3 Calcolo dei raggi di raccordo

Per evitare durante la fase di colata usure e danneggiamenti della forma, si prevedono raggi di raccordo nelle zone dove sono presenti spigoli vivi.

Per tali raggi di raccordo si è scelto un valore di 7 mm, facilmente ottenibile mediante il processo tecnologico di fonderia in terra.

2.2.4 Assegnazione degli angoli di sforno

L'operazione di estrazione del modello dalla forma, è un'operazione delicata e per evitare che durante tale operazione le superfici perpendicolari al piano di divisione trascinino via del materiale di formatura, si eliminano tali superfici inclinandole attraverso opportuni angoli di sforno.

Per modelli in legno⁶ si prescrive in genere un valore indicativo dell'angolo di sforno di 2°.

2.2.5 Determinazione del ritiro

Si tiene conto della contrazione volumetrica del getto durante la solidificazione, maggiorando le dimensioni finali desiderate del grezzo; tale maggiorazione si impone sulla progettazione del modello, tramite un coefficiente di ritiro lineare medio⁷, che per gli acciai è del 2%.

2.2.6 Disegno del grezzo

Per il disegno del grezzo si rimanda all'Allegato 2 – Tavola 2.

⁶ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 4-5

⁷ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 4-1

2.3 Analisi termica del getto

Nel seguente paragrafo verranno trattati tutti i problemi connessi con il processo di colata, come la solidificazione del getto e il dimensionamento del sistema di colata.

2.3.1 Solidificazione direzionale

Si è iniziato lo studio della solidificazione direzionale definendo degli step di lavoro logici da seguire:

- si ipotizza una suddivisione del getto in parti a modulo termico crescente;
- si verifica che tale divisione verifichi la solidificazione direzionale:
in caso contrario ci cerca di apportare delle modifiche (es. aggiunta di sovrametalli, modifica di alcuni spessori);
- se le verifiche confermano le ipotesi iniziali si procede con il dimensionamento della materozza.

La prima operazione è stata dunque suddividere il getto, ed è stato ipotizzato che la solidificazione proceda dalle zone esterne verso l'interno. In base a questa ipotesi il grezzo è stato diviso in tre parti (figura 2.3).

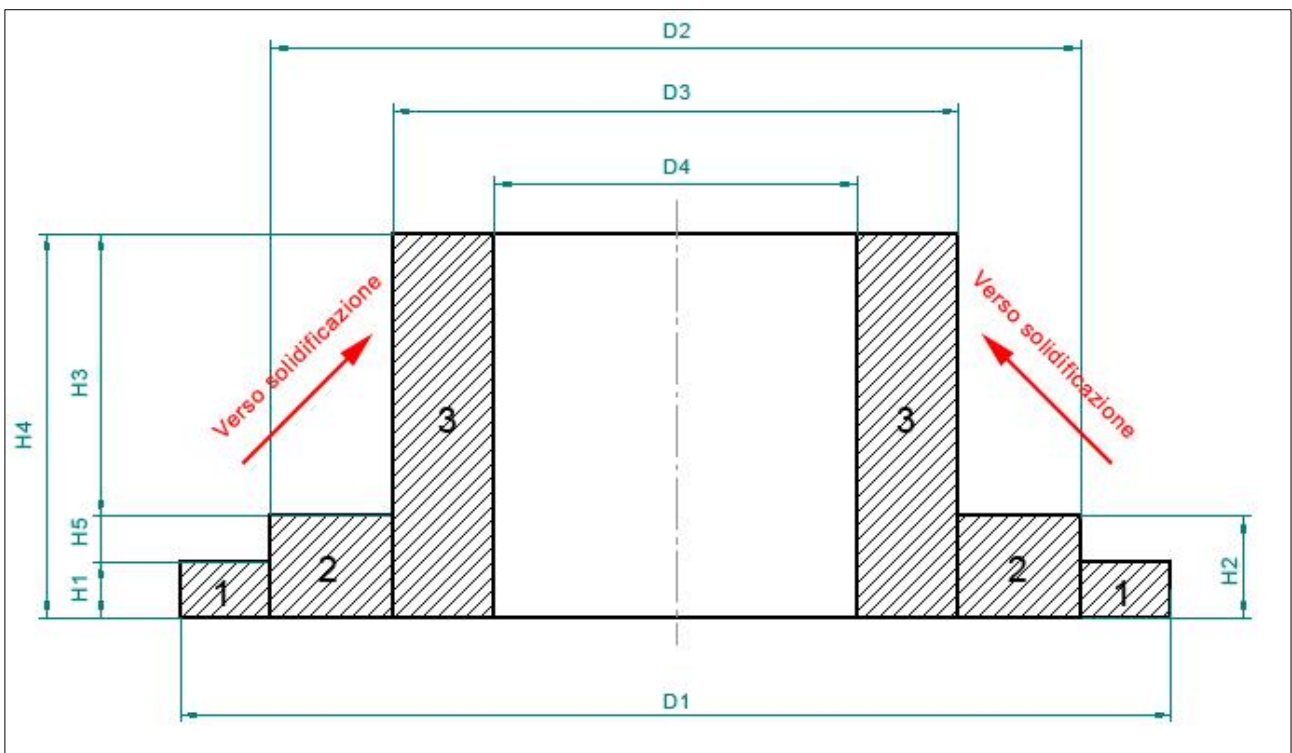


Figura 2.3 – Solidificazione direzionale

La seconda operazione è stata la verifica della solidificazione dimensionale ipotizzata e, a tal fine per semplificare i conti e rendere le possibili modifiche successive più agevoli, tutti i dati stati implementati in un foglio di calcolo elettronico, che si riporta di seguito:

Dimensioni (mm)				Densità (Kg/mm ³)	
H ₁	30	D ₁	460	0,000007833	
H ₂	50	D ₂	370		
H ₃	120	D ₃	270	Π	
H ₄	170	D ₄	150	3,14159265	
H ₅	20				
Parte	Volume	(mm ³)	Peso (Kg)	Superficie	(mm ²)
1	V ₁	1760077,28	13,79	S ₁	160692,46
2	V ₂	2513274,12	19,69	S ₂	123778,75
3	V ₃	6729291,46	52,71	S ₃	261066,35
Tot.	V _{tot}	11002642,86	86,18	S _{tot}	545537,56
Moduli termici					
Calcolati		Teorici (M _i = 1,1M _{i-1})		Verifica (M _i >M _{it})	
M ₁	10,95	M _{1t}	10,95	OK	
M ₂	20,30	M _{2t}	12,05	OK	
M ₃	25,78	M _{3t}	13,25	OK	

Si precisa che nei conti dei moduli termici sono stati trascurati angoli di sformo, raccordi e ritiro, questo per rendere più rapido ed agevole il calcolo delle superfici e perché si presuppone una minima incidenza sulla variazione dei moduli termici stessi.

I risultati dimostrano che le ipotesi di lavoro iniziali erano corrette perché si verifica che i moduli termici tra due zone consecutive seguono la seguente equazione tecnologica empirica, che assicura in linea teorica la direzione della solidificazione:

$$M_{i+1} = 1,1 M_i$$

Si procede dunque con i dati ottenuti al dimensionamento e alla scelta della/e materozza/e.

2.3.2 Scelta e dimensionamento della materozza

In base alla posizione di colata del getto definita nel paragrafo 2.2.1, si è deciso di utilizzare una materozza con un collare d'attacco laterale, questo per garantire sempre il contenimento dell'altezza delle staffe, e per avere una migliore collocazione della materozza stessa all'interno della forma, rispetto ad esempio al posizionamento sulla sommità del getto.

La prima operazione è stata calcolare il modulo termico teorico che avrebbe dovuto avere la materozza per essere in grado di alimentare la cavità di ritiro del getto, tramite la formula tecnologica empirica seguente:

$$M_m = 1,2 M_3 = 31 \text{ mm}$$

Successivamente è stato tracciato il grafico di Caine (figura 2.4), che sarà utile nei successivi passi per verificare o meno il corretto dimensionamento della materozza. Tale grafico è stato tracciato sia per una materozza normale ($c = 1$), sia per una materozza coibentata ($c = 0.07$), al fine di paragonare i risultati ed optare la scelta tecnologica più conveniente.

$$Y = \frac{a}{X - c} + b$$

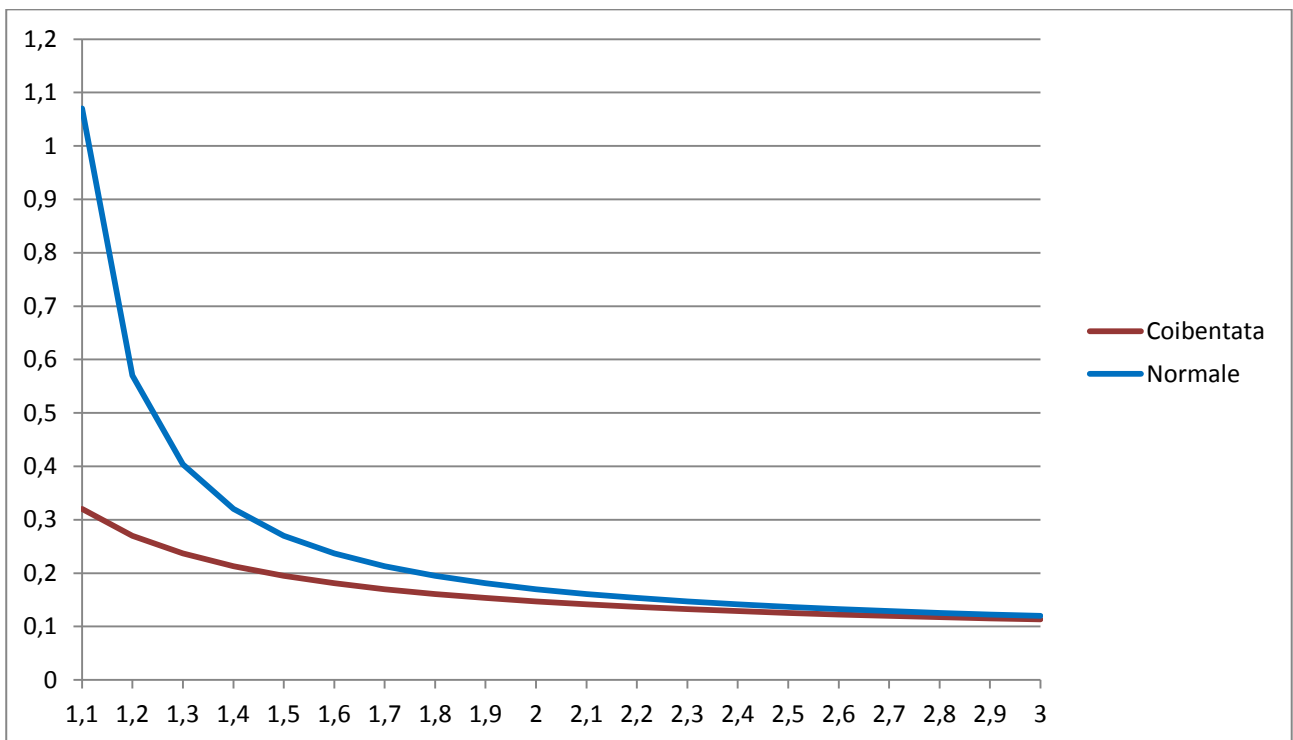


Figura 2.4 – Grafico di Caine

Poiché in commercio esistono fondamentalmente due tipi di materozze: quelle a *cielo aperto*, che affiorano sulla parte superiore della forma e quelle *cieche*, che sono totalmente immerse nella forma, l'analisi per la scelta della materozza è partita studiando queste due tipologie. Anche in questo caso tutti i dati sono stati implementati in un foglio di calcolo elettronico.

Materozza cilindrica a cielo aperto

Seguono le principali relazioni⁸ che legano il volume V, il modulo di raffreddamento M e le dimensioni caratteristiche delle materozze cilindriche a cielo aperto:

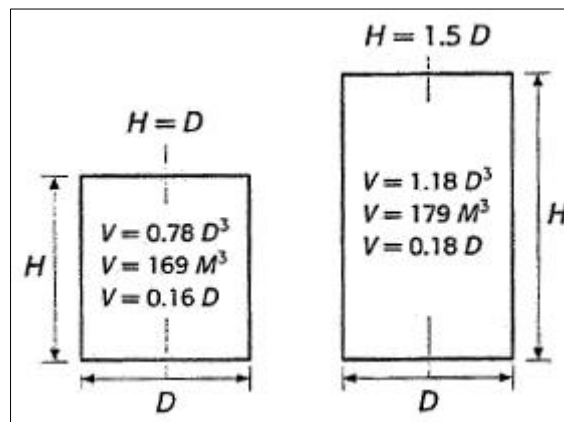


Figura 2.5 – Materozza cilindrica a cielo aperto

Modulo termico materozza ($M_m = 1,2 M_3$)	
M_m	31

Si impone come vincolo iniziale il modulo termico che dovrebbe avere la materozza e si ricava:

Dimensioni (mm)		Caine	
Vm	5297269,85	X	1,20
Dm	164,96	Y	0,48
Hm	247,45	Materozza normale	Caine non verificato
		Materozza coibentata	Caine verificato

Si procede per tentativi aumentando il diametro della materozza, fino a trovare delle dimensioni che verificano il grafico di Caine:

Dimensioni (mm)		Caine	
Dm	170	X	1,24
Vm	5797340,00	Y	0,53
Hm	255	Materozza normale	Caine verificato
Mm	31,88	Materozza coibentata	Caine verificato

Come si nota dai risultati precedenti, la materozza coibentata garantisce da subito il rispetto del grafico di Caine, in paragone ad una materozza non coibentata che richiede un aumento di 5 mm di diametro e di circa 10 mm di altezza per verificare Caine.

⁸ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Fig. 4-31

Materozza cieca

Seguono le principali relazioni⁹ che legano il volume V , il modulo di raffreddamento M e le dimensioni caratteristiche delle materozze cieche:

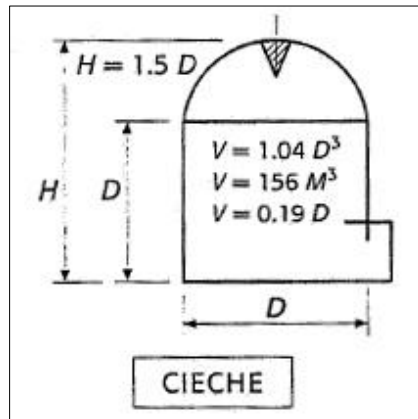


Figura 2.6 – Materozza cieca

Modulo termico materozza ($M_m = 1,2 M_3$)					
M_m	31				
Si impone come vincolo iniziale il modulo termico che dovrebbe avere la materozza e si ricava:					
Dimensioni (mm)		Caine			
V_m	4616615,07	X	1,20		
D_m	164,35	Y	0,42		
H_m	246,52	Materozza normale		Caine non verificato	
		Materozza coibentata		Caine verificato	
Si procede per tentativi aumentando il diametro della materozza, fino a trovare delle dimensioni che verificano il grafico di Caine:					
Dimensioni (mm)		Caine			
D_m	170	X	1,24		
V_m	5109520,00	Y	0,46		
H_m	255	Materozza normale		Caine non verificato	
M_m	32,00	Materozza coibentata		Caine verificato	
Dimensioni (mm)		Caine			
D_m	175	X	1,28		
V_m	5573750,00	Y	0,51		
H_m	263	Materozza normale		Caine verificato	
M_m	32,94	Materozza coibentata		Caine verificato	

Anche in questo caso la materozza coibentata garantisce da subito il rispetto del grafico di Caine, in paragone ad una materozza non coibentata.

⁹ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Fig. 4-31

Analizzando i conti precedenti, si osserva che conviene scegliere a parità di ingombro (H e D) una materozza cieca perché riduce le quantità di volume necessaria per rispettare la regola empirica del modulo termico (1,2 M) e tra una materozza coibentata e non coibentata, si sceglie una materozza coibentata perché verifica con più facilità il grafico di Caine, assicurando in linea teorica dei pezzi esenti da difetti.

Dimensioni (mm)	
D_m	165
V_m	4671810,00
H_m	248
M_m	31,05
OK	

Dimensionamento del collare d'attacco laterale della materozza

Nel caso di materozze cieche, il collare d'attacco è generalmente abbastanza esteso in lunghezza, per motivi di formatura e sezione rettangolare; in questo caso il suo dimensionamento deve tener conto del rapporto tra i moduli termici della materozza e dell'ultima parte del pezzo a solidificare, secondo la seguente relazione empirica:

$$M_m : M_c : M_3 = 1,2 : 1,1 : 1$$

Dalla precedente relazione si trova il modulo teorico del collare d'attacco:

$$M_{ct} = 28,35 \text{ mm}$$

In base alle relazioni¹⁰ di figura 2.7 imponendo la dimensione a del collare d'attacco pari al diametro della materozza D_m si trova la dimensione b e il modulo termico del collare M_c :

$$a = 165 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$M_c = 29,12 \text{ mm}$$

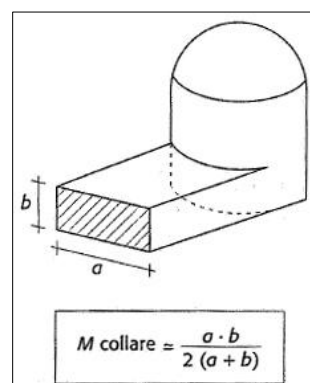


Figura 2.7 – Collare d'attacco laterale

¹⁰ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Fig. 4-35

Raggio d'influenza della materozza

Come ultima operazione si verifica il raggio d'influenza della materozza, si controlla cioè che tutto il pezzo risenta dell'effetto della materozza.

Tale raggio d'influenza può essere valutato, in modo approssimato, con la seguente relazione:

$$R = k \cdot s = 4 \cdot 170 = 680 \text{ mm}$$

Dove s è lo spessore medio del getto nella zona di attacco della materozza, e k è un parametro che dipende dal materiale del pezzo, e per gli acciai varia da 3,5 a 5.

Poiché la superficie del pezzo nella zona d'attacco della materozza è circolare, si calcola il suo perimetro attraverso un raggio medio dello spessore ($r_m = 105 \text{ mm}$) e considerando linearizzato tale risultato lo si paragona con quello dell'effetto utile della materozza:

$$P = 2\pi r_m = 660 \text{ mm}$$

Oltre alla zona d'influenza della materozza si considera anche l'effetto d'estremità del pezzo, che per gli acciai risulta circa 2,5 volte lo spessore di tale zona.

$$\text{Effetto d'estremità: } 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ mm}$$

In base ai precedenti risultata che la materozza con il suo effetto copre completamente il pezzo.

Nel caso in cui dopo i primi getti si verificassero dei problemi, si possono aggiungere dei raffreddatori sulle estremità del pezzo che aumentano di circa 50 mm l'effetto d'estremità.



2.3.3 Dimensionamento del sistema di colata

Si sceglie un sistema di colata pressurizzato che consente che i diversi canali siano sempre pieni di metallo liquido durante la colata evitando la possibilità del distacco della vena fluida, rendendo uniforme la portata e diminuendo il rischio di trascinare scorie.

Il proporzionamento scelto è $1 : 2 : 1 = A_{str} : A_g : A_s$ dove si indicano rispettivamente con: A_{str} la sezione dell'attacco di colata, A_g la sezione del canale distributore e A_s la sezione del canale di colata (figura 2.8).

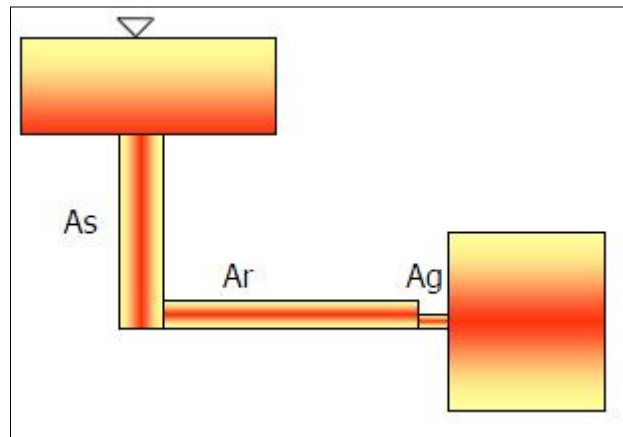


Figura 2.8 – Schema sistema di colata

Per il dimensionamento del sistema di colata si parte dagli attacchi di colata e dal tempo di riempimento, parametro essenziale per la riuscita della colata, onde evitare che qualche parte solidifichi prima del termine della colata, ed evitare danneggiamenti della forma a causa di velocità troppo alte.

Per la determinazione del tempo, stante la complessità termo fluidodinamica del problema, si propongono tre formule empiriche¹¹ che hanno fornito i risultati migliori:

$$t = 3,2 \sqrt{G} = 28 \text{ s} \quad (\text{dove } G \text{ è il peso del getto espresso in Kg})$$

$$t = 0,32 \cdot s \cdot G^{0,4} = 147 \text{ s} \quad (\text{dove } s \text{ è lo spessore medio del getto espresso in mm})$$

$$t = 0,95 + \frac{23 S}{8,88 \sqrt{G}} = 65 \text{ s} \quad (\text{dove } S \text{ è la sezione media del getto in pollici, e } G \text{ il peso in libbre})$$

Mediando i tempi appena calcolati si ottiene un tempo di riempimento medio $t_r = 80 \text{ s}$.

Successivamente nella fase di scelta del materiale di formatura bisognerà scegliere un materiale che abbiamo in t_i di irraggiamento maggiore del tempo di riempimento t_r per evitare la cottura della forma:

$$t_r < t_i$$

¹¹ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Paragrafo 4-3-5

Il passo successivo è calcolare la velocità approssimata della vena fluida all'uscita del canale di colata. A tal proposito si prescrive che la velocità all'uscita degli attacchi di colata che non terminino sull'anima, deve essere compresa tra 1 e 1,5 m/s per non danneggiare la forma¹².

Detta v_{str} la velocità ed h il dislivello di colata si ottiene:

$$v_{str} = \sqrt{\frac{2gh}{k}} \quad (\text{dove } k \text{ tiene conto delle perdite di carico e varia da 1 a 4})$$

Nel nostro caso h rappresenta l'altezza della staffa e, si anticipa ciò che verrà meglio analizzato in seguito nel paragrafo 2.5.1 che sarà di 355 mm.

$$v_{str} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,355}{4}} = 1,32 \text{ m/s}$$

Successivamente dove aver determinato la velocità della vena fluida si calcola la portata Q in m^3/s che devono avere gli attacchi di colata:

$$Q = \frac{V_g}{t_r} = \frac{0,01}{80} = 0,000126 \text{ m}^3/s$$

Poiché si è prefissato di avere due attacchi di colata sul pezzo, la portata dovrà essere suddivisa fra entrambi avendo una portata singola Q' pari a:

$$Q' = \frac{Q}{2} = 0,000063 \text{ m}^3/s$$

Ora è possibile passare a calcolare la sezione degli attacchi di colata per avere una portata Q' :

$$A = \frac{Q'}{v_{str}} K$$

dove K tiene conto delle perdite di carico e della contropressione durante il riempimento, e può essere ricavato dalla seguente relazione:

$$K = \frac{v_{str}}{\sqrt{\frac{2g}{k}}} \left[\frac{r'}{\sqrt{h}} + \frac{r''}{\sqrt{h_m}} \right] = \frac{1,32}{\sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{4}}} \left[\frac{0,58}{\sqrt{0,355}} + \frac{0,42}{\sqrt{0,03}} \right] = 2,03$$

dove:

$h = 355$ mm (altezza della staffa)

$h_m = 30$ mm (altezza totale – altezza getto sopra piano di separazione)

$r' = 0,58$ (% di metallo sopra)

$r'' = 0,42$ (% di metallo sotto la sezione d'attacco)

¹² Prof. Francesco Veniali, Dispense di Tecnologia Meccanica, A.A. 2008/09, Dimensionamento sistema di colata

A questo punto è possibile calcolare la sezione dei singoli attacchi di colata:

$$A = \frac{Q'}{v_{str}} K = 0,000097 \text{ m}^2 = 97 \text{ mm}^2$$

In base alle proporzioni del sistema pressurizzato 1:2:1 ora è possibile scegliere le sezioni delle altre parti del sistema di colata.

Fra le sezioni disponibili commercialmente (figura 2.9) si è scelto:

- sezione attacco di colata doppio

$$A_{str} = 194 \text{ mm}^2 \text{ (teorica)} \rightarrow A_{str} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (commerciale)}$$

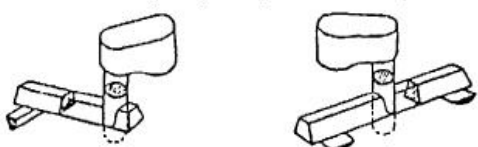
- sezione del canale distributore

$$A_g = 388 \text{ mm}^2 \text{ (teorica)} \rightarrow A_g = 527 \text{ mm}^2 \text{ (commerciale)}$$

- sezione del canale di colata

$$A_s = 194 \text{ mm}^2 \text{ (teorica)} \rightarrow A_s = 255 \text{ mm}^2 \text{ (commerciale)}$$

Colate con trappole trapezoidali per accise e attacchi (5)



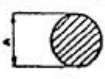



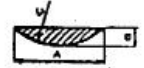
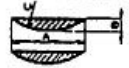
Canale di colata		Canale alimentatore		Attacco semplice	
					
Diámetro mm (A)	Sezione mm ²	Dimensioni (A × B × C)	Sezione mm ²	Dimensioni (A × B × C)	Sezione mm ²
15	177	9 × 12 × 13	137	10 × 7 × 10	85
18	255	9 × 15 × 16	192	11 × 9 × 13	130
20	314	10 × 17 × 18	243	13 × 9 × 14	154
22	380	11 × 18 × 20	290	14 × 10 × 16	192
25	491	13 × 20 × 22	363	16 × 11 × 18	243
30	707	17 × 24 × 26	527	20 × 14 × 21	357
35	962	18 × 28 × 31	713	23 × 17 × 24	480
40	1257	22 × 32 × 35	945	26 × 19 × 28	630
45	1590	24 × 36 × 40	1200	29 × 21 × 32	800
Attacco doppio		Attacco semplice lingua		Attacco doppio lingua	
					
Dimensioni (A × B × C)	Sezione mm ²	Dimensioni (A × B - C)	Sezione mm ²	Dimensioni (A × B - C)	Sezione mm ²
7 × 6 × 7	91	26 × 5 - 18	89	18 × 4 - 13	99
8 × 6 × 9	126	31 × 6 - 22	127	22 × 4 - 15	120
9 × 7 × 10	160	34 × 7 - 24	164	25 × 5 - 17	172
10 × 7 × 11	187	38 × 7 - 27	182	27 × 5 - 19	185
11 × 8 × 12	240	43 × 8 - 30	235	31 × 5 - 21	255
14 × 10 × 15	360	52 × 10 - 34	356	37 × 7 - 26	355
16 × 11 × 18	486	60 × 12 - 36	494	43 × 8 - 30	471
18 × 13 × 20	620	69 × 13 - 49	614	49 × 9 - 34	603
21 × 14 × 23	805	78 × 15 - 55	802	55 × 11 - 38	831

Figura 2.9 – Sezioni commerciali del sistema di colata

Per quanto riguarda il bacino di colata si sceglie un sistema con trappole per le scorie. Per il suo dimensionamento si fa riferimento alle seguenti indicazioni¹³ (figura 2.10):

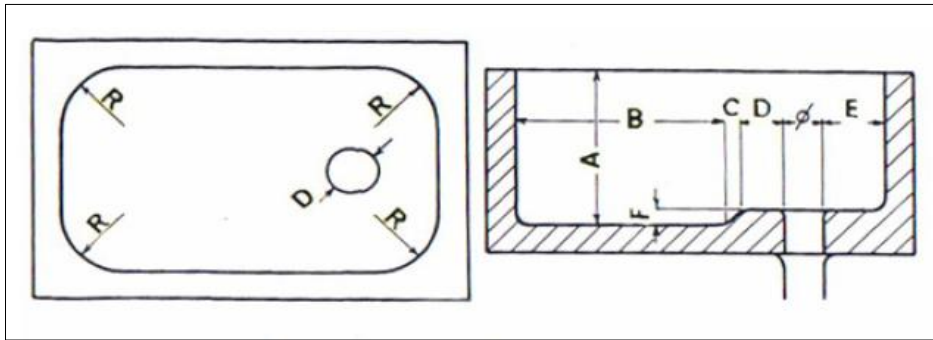


Figura 2.10 – Dimensioni bacino di colata

Qualunque sia la forma del bacino è buona norma che i raggi di raccordo delle pareti interne (R) siano pari ad una volta e mezzo il diametro del foro di uscita (Φ). Nel senso verticale invece le proporzioni da rispettare sono:

A = 4 volte il diametro del foro di uscita

B = 5 il diametro del foro di uscita

C = 0,5 il diametro del foro di uscita

D = 1 volta il diametro del foro di uscita

E = 1,5 il diametro del foro di uscita

F = 0,5 il diametro del foro di uscita

Una rappresentazione in 3D del grezzo con la materozza ed il sistema di colata è visibile nella figura 2.11.

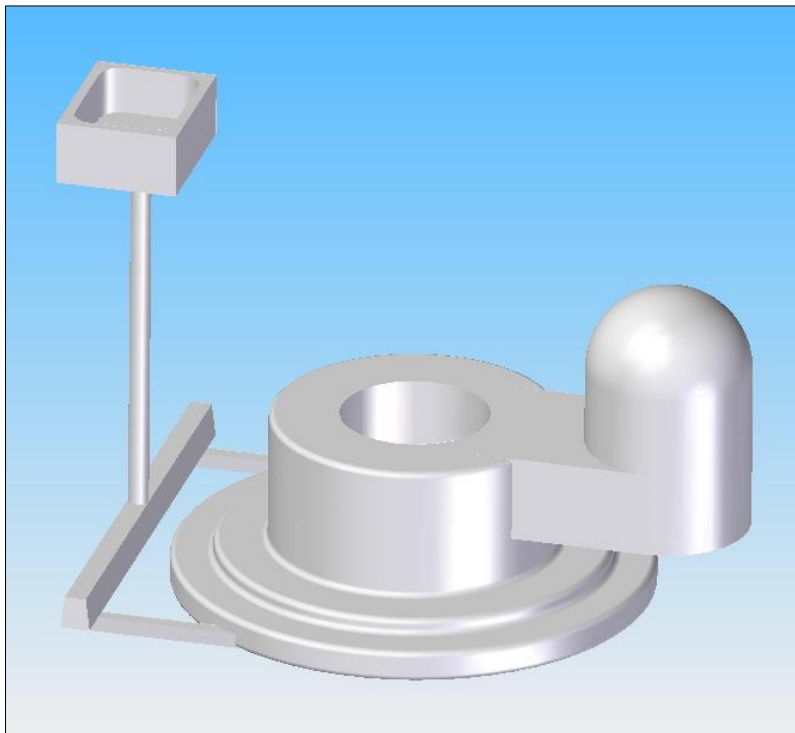


Figura 2.11 – Grezzo, materozza e sistema di colata

¹³ Prof. Francesco Veniali, Dispense di Tecnologia Meccanica, A.A. 2008/09, Dimensionamento sistema di colata

2.4 Progettazione dell' anima

Come precedentemente detto in base alla modalità di colata si è scelto di utilizzare un anima verticale.

Poiché l'anima deve sopportare sollecitazioni termiche e sollecitazioni meccaniche non deve essere troppo snella e non deve essere circondata da troppo liquido; si verifica tale condizione attraverso la formula empirica di figura 2.12, dove vengono messe in relazione le dimensioni del foro da realizzare attraverso l'anima verticale.

Dimensioni riferite al grezzo di fusione:

$S = 64 \text{ mm}$

$D = 150 \text{ mm}$

$L = 170 \text{ mm}$

$2S \leq D \leq 3S$ (se $L \leq 3D$)

$128 \leq 150 \leq 192$ (se $170 \leq 450$)

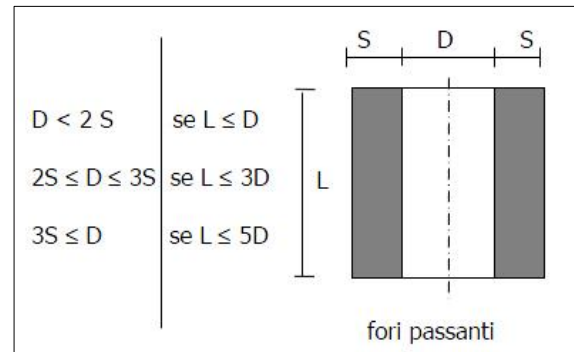


Figura 2.12 – Diametro fori anima

Essendo le anime verticali esenti da spinte metallostatiche, la principale caratteristica che si richiede nel nostro caso è la permeabilità al deflusso dei prodotti gassosi che si formano durante la colata. A tale scopo verrà usata un'anima provvista di una lanterna, struttura interna che prevede alcune canalizzazioni per la fuoriuscita dei gas (figura 2.13).

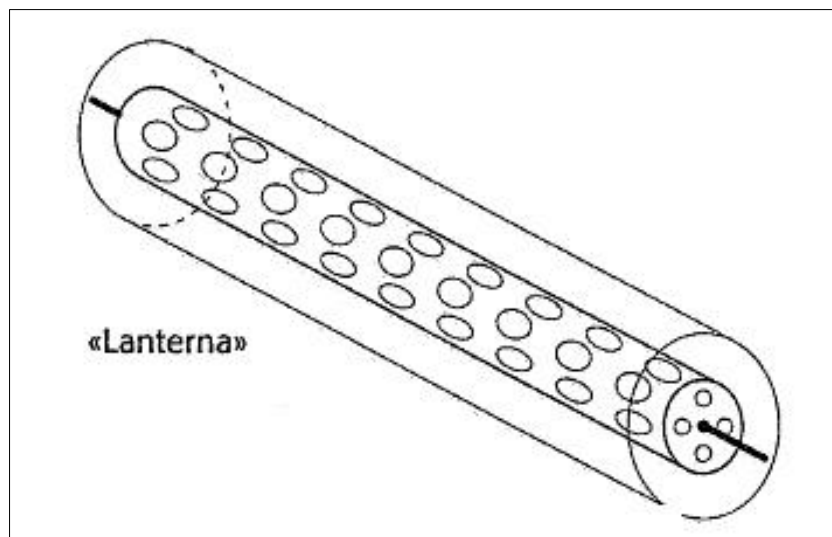


Figura 2.13 – Lanterna

Si prevedono inoltre degli angoli di sforno¹⁴ sull'anima pari a 12° . In figura 2.14 è rappresentato il disegno dell'anima.

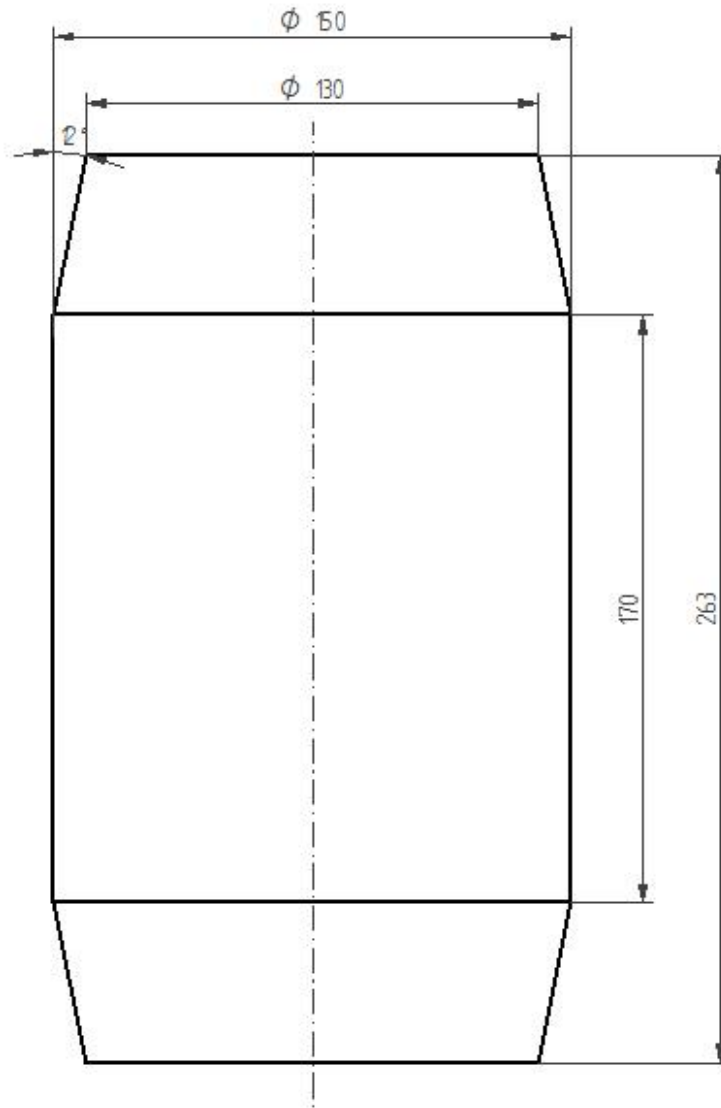


Figura 2.14 – Dimensionamento anima

¹⁴ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Fig. 4-5

2.5 Dimensionamento del modello

Nel seguente paragrafo si prenderanno in considerazione tutte le esigenze per la scelta del modello da utilizzare.

2.5.1 Considerazioni tecnologiche

Poiché la nostra produzione rientra in una produzione limitata ad un centinaio di esemplari di dimensioni piccole-medie, le esigenze economiche ci impongono di limitare i costi del modello, che perciò verrà realizzato in legno verniciato secondo la classica configurazione del modello diviso in due parti e, la sua realizzazione sarà commissionata esternamente (paragrafo 2.8).

Nei precedenti paragrafi si sono ottenute tutte le informazioni necessarie al corretto dimensionamento del modello: piano di separazione, sovrametalli, angoli di sformo, raggi di raccordo, ritiro del getto e dimensionamento anima.

Una rappresentazione in 3D del modello superiore ed inferiore è visibile in figura 2.15.

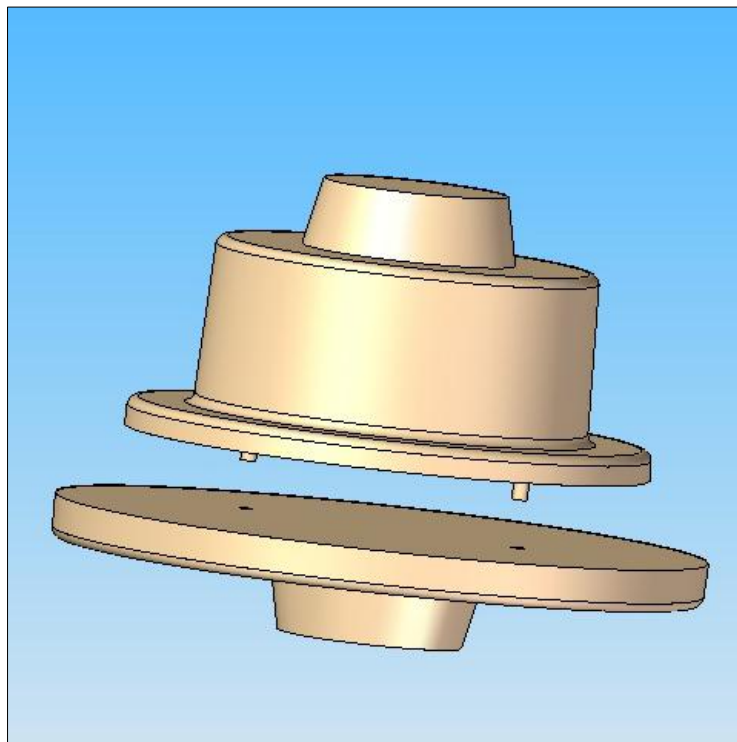


Figura 2.15 – Modello scomponibile

2.5.2 Disegno del modello

Per il disegno del modello si rimanda all'Allegato 2 – Tavola 3.



2.6 Ciclo di formatura

Nel seguente paragrafo verranno illustrate tutte le operazioni che comporranno il ciclo di formatura.

2.6.1 Scelta delle staffe

In base alle dimensioni del getto da colare, seguendo le indicazioni della norma UNI 6765-70 (figura 2.16), si sono scelte delle staffe quadrate per manovra con paranco, aventi le seguenti dimensioni:

- staffa superiore E 800 x 800 x 355
- staffe inferiore E 800 x 800 x 160

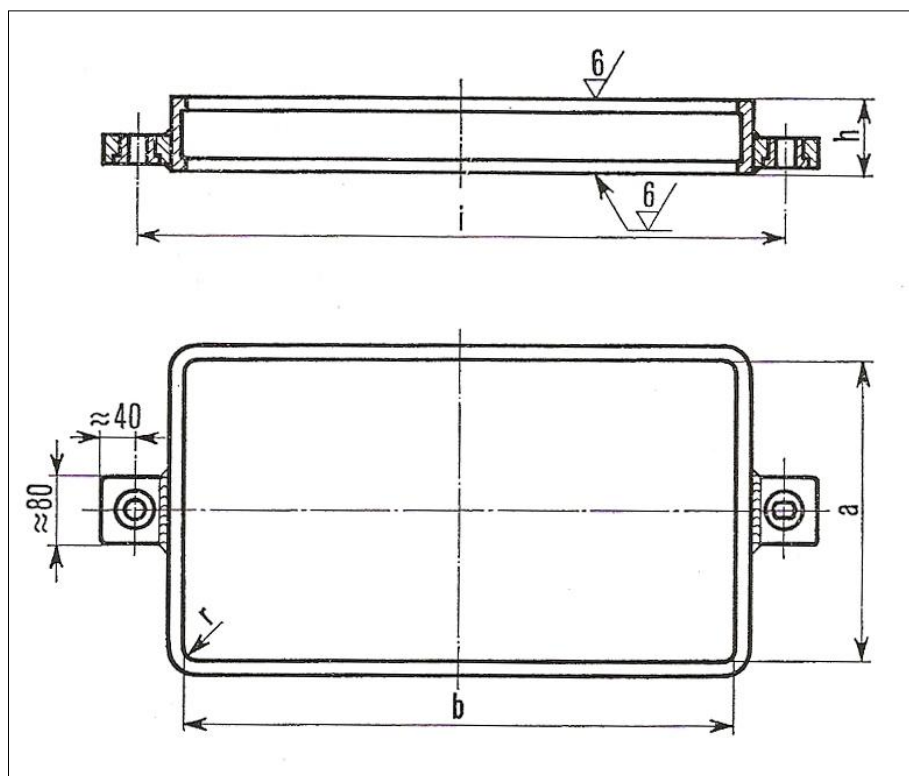


Figura 2.16 – Dimensioni staffe norma UNI 6765-70

La scelta delle staffe movimentate tramite paranco si è resa necessaria a causa dell'elevato peso del getto e delle staffe stesse.

2.6.2 Composizione della terra da fonderia

Nella scelta della terra si è cercato il miglior compromesso per assicurare tutte le caratteristiche principali che una terra da fonderia deve avere: plasticità, coesione, refrattarietà, permeabilità e sgretolabilità, senza però dimenticare il fine economico-tecnologico, cioè contenere il più possibile le spese non andando a scapito delle specifiche di progetto.

Per ridurre i costi di produzione si è anche ipotizzato un riutilizzo della terra già usata, rigenerandone una parte ad ogni ciclo di formatura, circa il 20%, reintegrando le parti “esauste” (legante ed acqua).

Composizione della terra:

- Sabbia media (AFS 35-60) 60%

Nel nostro caso si ha un getto di discrete dimensioni, e la scelta di grani non troppo fini favorisce la permeabilità, mentre gioca un po' sfavore della finitura superficiale, la quale non ha grande importanza per il grezzo di fusione poiché il pezzo verrà lavorato successivamente alle macchine utensili come detto in precedenza.

- Sabbia fine (AFS 50-150) 15%

Si introduce anche una certa quantità di sabbia più fine per migliorare la compattazione e la resistenza della terra, migliorando leggermente anche la finitura superficiale che si ottiene al fine di evitare bave.

- Betonite 20%

Ha una funzione legante e conferisce alla terra la plasticità e la coesione. Non si esagera nella quantità perché troppo argilloide rende la terra poco permeabile, pregiudicando quando detto in precedenza.

- Acqua 5%

Ha il compito di conferire potere legante all'argilla.

- Polvere distaccante (nero fumo)

Migliora le caratteristiche di refrattarietà evitando il contatto tra sabbia e metallo.

La forma sarà al verde, cioè in terra appena allestita che non richiederà cottura, quindi essa conterrà ancora tutta l'umidità. Per garantire l'assenza di grumi e l'omogeneità dell'impasto la terra viene lavorata al disintegratore e nella successiva compattazione si cercherà di raggiungere una densità di 1.6 Kg/dm³ circa.

Per quanto riguarda il processo di rigenerazione, per prima cosa si frantumano le zolle dopo di che si separano ed eliminano le frazioni di legante, polvere e parti metalliche. Si provvede poi ad essiccare la terra e la si reintegra con i componenti necessari.

Il tempo di irraggiamento t_i della terra dovrà essere maggiore del tempo t_r (80 sec.) di riempimento calcolato nel paragrafo 2.3.3 relativo al dimensionamento del sistema di colata.

2.6.3 Resistenza della forma alle spinte metallostatiche

Per evitare che durante la solidificazione del getto la staffa superiore possa alzarsi facendo fuoriuscire del metallo liquido, essa deve essere assoggettata a forze la cui risultante abbia direzione verso il basso. Si verifica questa condizione tramite la seguente sommatoria delle forze in gioco:

$$P_{staffa} + P_{terra} + P_{carico} > F_{spinte\ metallostatiche}$$

Si ricavano le spinte metallostatiche del getto seguendo la stessa suddivisione adottata per il calcolo dei moduli termici e, successivamente si calcola la risultante di queste singole forze verso l'alto (figura 2.17):

$$F_1 = \gamma V_{terra\ 1} = 1,4\ kN = 143,2\ Kg$$

$$F_2 = \gamma V_{terra\ 2} = 1,4\ kN = 142,7\ Kg$$

$$F_3 = \gamma V_{terra\ 3} = 0,6\ kN = 61\ Kg$$

$$F_{spinte\ metallostatiche} = 347\ Kg$$

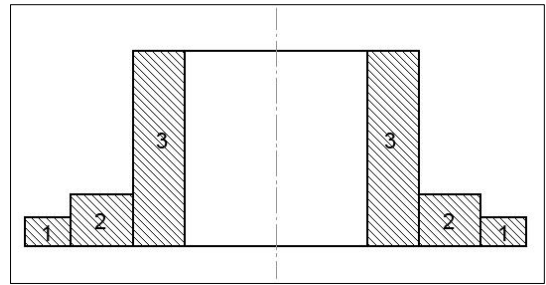


Figura 2.17 – Spinte metallostatiche

Si ricava ora la forza che la sabbia da fonderia esercita sopra il getto:

$$P_{terra} = \gamma_{terra} (V_{staffa\ sup} - V_{getto\ sup}) = 3,5\ kN = 353,5\ Kg$$

Trascurando il peso della staffa si ottiene che la forza che esercita la terra supera di circa 7 Kg la forza che esercitano le spinte metallostatiche ed in teoria non ci sarebbe bisogno di carichi aggiuntivi posizionati sulla staffa superiore.

Ma poiché il limite è molto piccolo, per motivi di sicurezza, si suggerisce di applicare un carico di circa 50 Kg al fine di evitare eventuali fuoriuscite del metallo, anche perché nel calcolo dei volumi si è trascurato il volume che occuperebbero la materozza ed i canali di colata.

2.6.4 Operazioni di formatura

1) La staffa inferiore viene posizionata sul piano di lavoro, al suo interno viene inserito il modello inferiore in posizione centrale e cosparso di polvere distaccante. Vengono inseriti gli attacchi di colata.

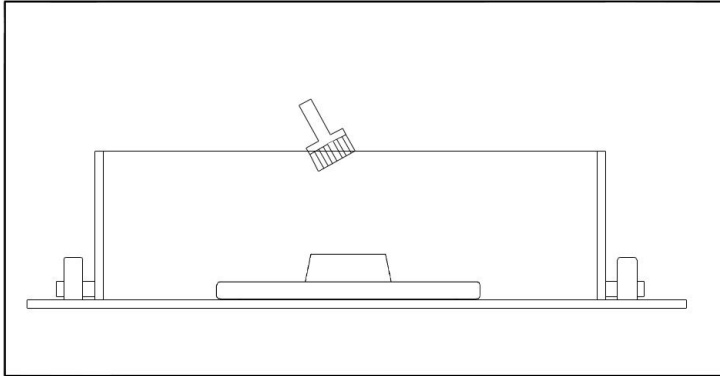


Figura 2.18 – Formatura 1

2) La staffa viene gradualmente riempita con la terra che viene compressa da opportuni compattatori, fino a raggiungere la densità di 1.6 Kg/dm^3 circa. La compressione non deve essere eccessiva per non compromettere la permeabilità della terra.

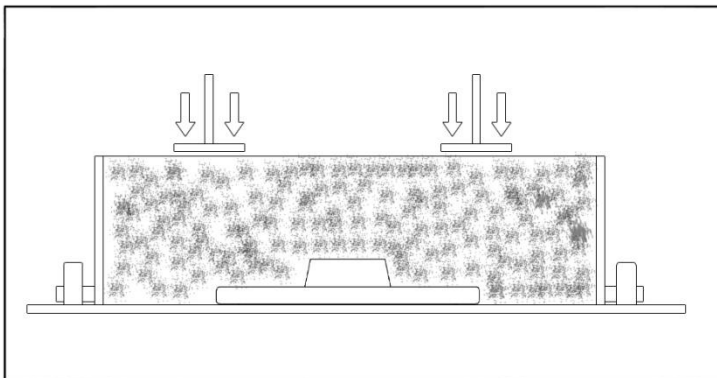


Figura 2.19 – Formatura 2

3) Una volta completamente riempita la staffa e compattata la terra si procede a spianare la superficie superiore per rimuovere la terra in eccesso.

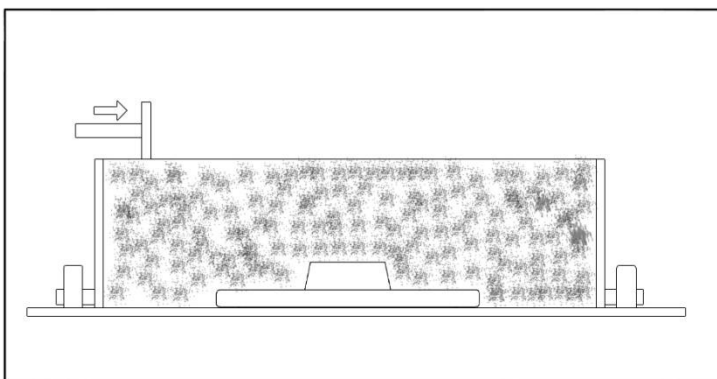


Figura 2.20 – Formatura 3

4) Vengono realizzate le tirate d'aria per ottenere un sufficiente drenaggio dei vapori che si producono durante la colata del metallo liquido nella forma; le tirate sono realizzate con dei particolari aghi metallici del diametro di 2mm circa.

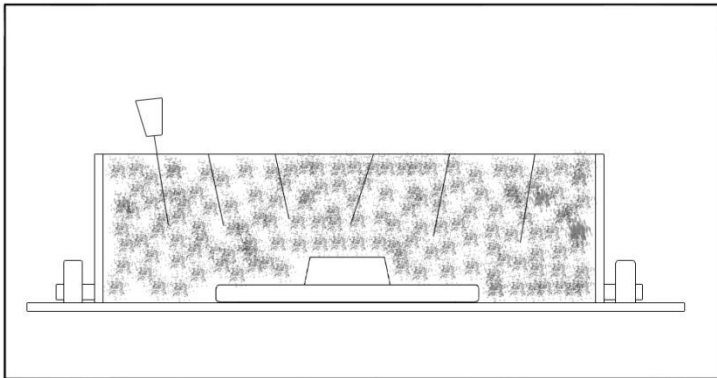


Figura 2.21 – Formatura 4

5) Dopo che la forma si è indurita la staffa viene rovesciata.

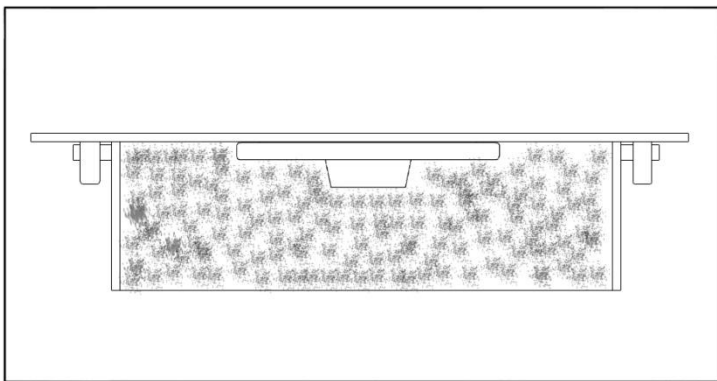


Figura 2.22 – Formatura 5

6) La superficie viene cosparsa di polvere distaccante, viene posizionato il modello superiore, la materozza e le restanti parti del canale di colata.

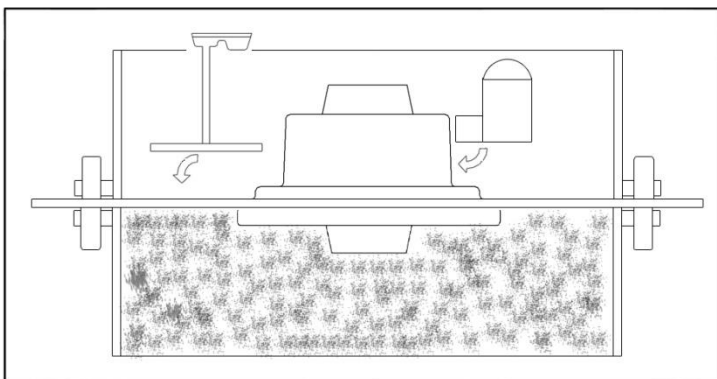


Figura 2.23 – Formatura 6

7) La staffa viene gradualmente riempita con la terra che viene compressa da opportuni compattatori, si spiana la terra in eccesso e si realizzano le tirate d'aria come descritto in precedenza.

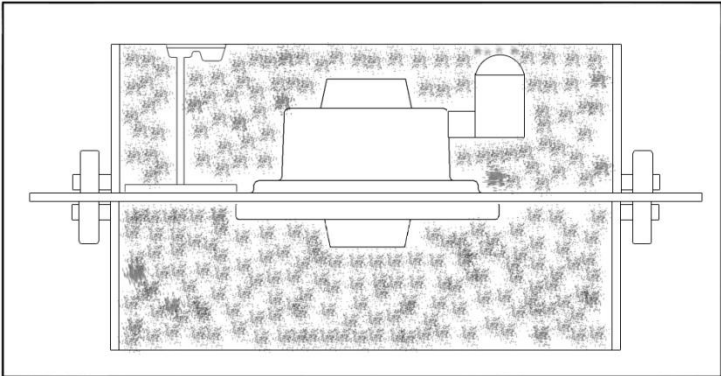


Figura 2.24 – Formatura 7

8) Le staffe vengono nuovamente separate, si estraggono i modelli superiore ed inferiore, viene inserita l'anima verticale all'interno della forma e si ricompongono le staffe.

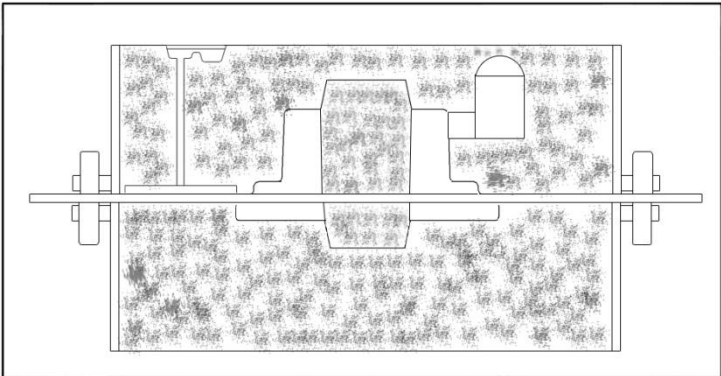


Figura 2.25 – Formatura 8



2.7 Lavorazioni finali

Le operazioni successive alla colata sono le seguenti:

- 1) *distaffaggio*: rimozione della staffa superiore tramite il paranco
- 2) *sformatura*: rimozione del getto dalla forma
- 3) *rimozione canali di colata e materozza*: eliminazione tramite segazione
- 4) *pulitura bave*: rimozione di eventuali bave generate dalla colata
- 5) *trattamenti termici*: eventuali trattamenti termici richiesti sul pezzo dal progetto

2.8 Stima dei costi di produzione

Si effettua come ultima operazione del capitolo 2 la stima dei costi di produzione del processo di fonderia, dal quale si ricaverà il prezzo unitario di vendita del grezzo di fonderia del mozzo di supporto del giunto Periflex.

I costi di produzione saranno suddivisi nelle seguenti categorie di costi diretti ed indiretti:

costi diretti

- acciaio
- formatura
- finitura del getto
- materiali e consumi secondari

costi indiretti

- realizzazione del modello
- stoccaggio materiali, spedizione e vendita
- amministrazione

Ogni singola voce a sua volta sarà caratterizzata al suo interno da:

- manodopera
- materiali usati
- energia utilizzata

Anche in questo caso tutti i dati sono stati implementati in un foglio di calcolo elettronico.

Le informazioni sui costi sono state ricavate dalle seguenti fonti:

- www.enel.it (energia elettrica per aziende)
- www.eurosidescalo.com (stima costo acciaio)
- www.woodbusinessportal.it (stima costo legno per il modello)
- Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Meccanica, www.dipmec.univpm.it (KW forno ad arco elettrico EBT, Kg di consumo elettrodi)
- Prof. F.Veniali, Dispense di Tecnologia Meccanica, Università "La Sapienza" di Roma, Facoltà di Ingegneria, A.A. 2008/09 (stima approssimativa del costo delle ore di manodopera, del costo della materozza, del sistema di colata e dell'anima).

COSTI ACCIAIO				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
Materiale	Kg	€	€	
Acciaio	120	0,5	60,00	1 pezzo
Tot. Costo Materiale	14400	0,5	7200,00	102 pezzi
Energia	KWh/t	€	€	
Forno elettrico ad arco	385	0,48	2772,00	15 colate = 15t
Elettrodi Kg	33	10	330,00	2,2 Kg/t
Tot. Costo Energia			3102,00	
Manodopera	Ore	€	€	
Operaio fusione	15	35	525,00	1 ora a colata
Tot. Costo acciaio			10827,00	
COSTI FORMATURA				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
Materiale	n°	€	€	
Materozza cieca	102	5	510,00	
Sistema di colata	102	10	1020,00	
Anima	102	2	204,00	
Materiale	Kg	€	€	
Terra	56000	0,5	28000,00	550 Kg a formatura
Polvere distaccante	61	1	61,00	0,5 Kg a formatura
Tot. Costo Materiale			29795,00	
Energia	KWh	€	€	
Paranco	0,75	0,48	30,60	85 ore di lavoro
Manodopera	Ore	€	€	
Operaio formatura	85	35	2963,10	50 min a formatura
Tot. Costo formatura			32788,70	
COSTI FINITURA DEL GETTO				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
Manodopera	Ore	€	€	
Distaffaggio	0,2	35	7,00	
Sformatura	0,4	35	14,00	
Rimozione canali di colata e matorzza	0,5	35	17,50	
Sbavatura	0,4	35	14,00	
Operaio finitura	1,5	35	38,50	
Tot. Costo Manodopera			3927,00	
Energia	KWh	€	€	
Macchinari vari	3	0,48	220,32	102 ore di utilizzo
Tot. Costo finitura			4147,32	
COSTI MATERIALI E CONSUMI SECONDARI				
Descrizione			Importo totale €	Note
10% in più dei costi precedenti			4776,30	
COSTI REALIZZAZIONE DEL MODELLO				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
Materiale	Kg	€	€	
Legno	40	0,375	15,00	
Manodopera	Ore	€	€	
Lavorazione modello	24	50	1200,00	
Tot. Costo modello			1215,00	
ALTRI COSTI INDIRETTI				
Descrizione			Importo totale €	Note
30% in più dei costi diretti			16126,30	
COSTI TOTALI				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
Materiale	Kg	€	€	
Recupero materiale di scarto come rottame 35%	5040	0,3	-1512,00	
Stima dei costi di produzione			Importo totale €	Note
Costo di produzione di un lotto			71392,62	102 pezzi
Costo di produzione singolo pezzo			699,93	
Utile lordo +15%			104,99	
Prezzo di vendita singolo pezzo			804,92	

||| LAVORAZIONE ALLE MACCHINE UTENSILI

3.1 Disegno del finito

Per il disegno del finito del mozzo da realizzare tramite lavorazione alle macchine utensili si rimanda all'Allegato 2 – Tavola 1.

3.2 Analisi delle superfici da lavorare

Il primo passo consiste nell'individuare le superfici che dovranno essere lavorate e, in base alla loro forma, posizione, finitura superficiale e dimensionale, scegliere i processi di lavorazione da usare. Si riportano a tal proposito in figura 3.1 le superfici funzionali del mozzo, già trattate nel paragrafo 1.3.

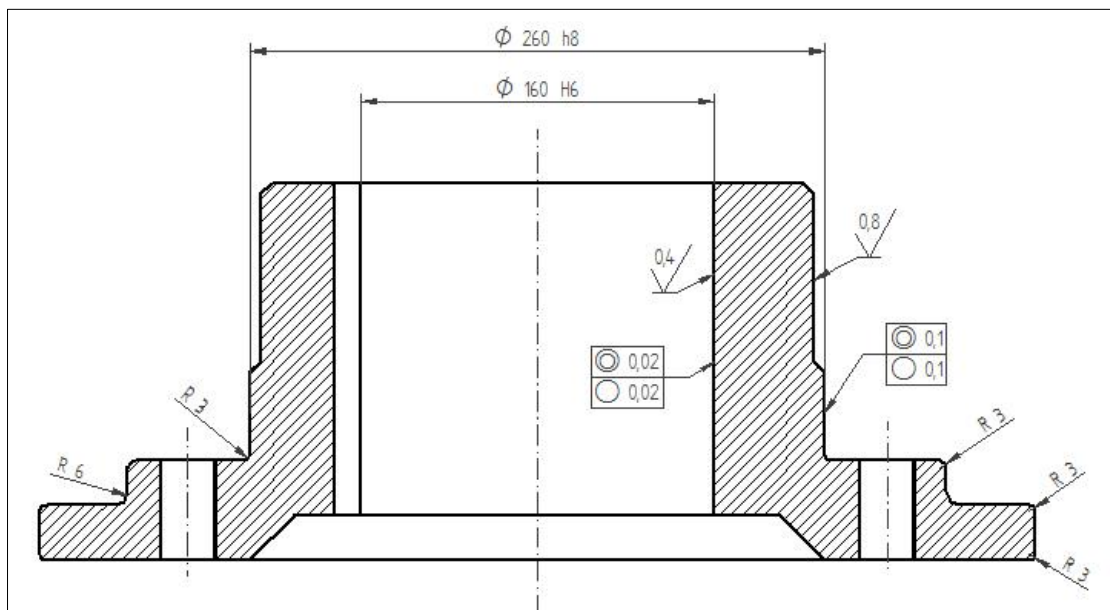


Figura 3.1 – Superfici funzionali mozzo di supporto

3.2.1 Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza della fasi

In figura 3.2 si indicano le superfici da lavorare.

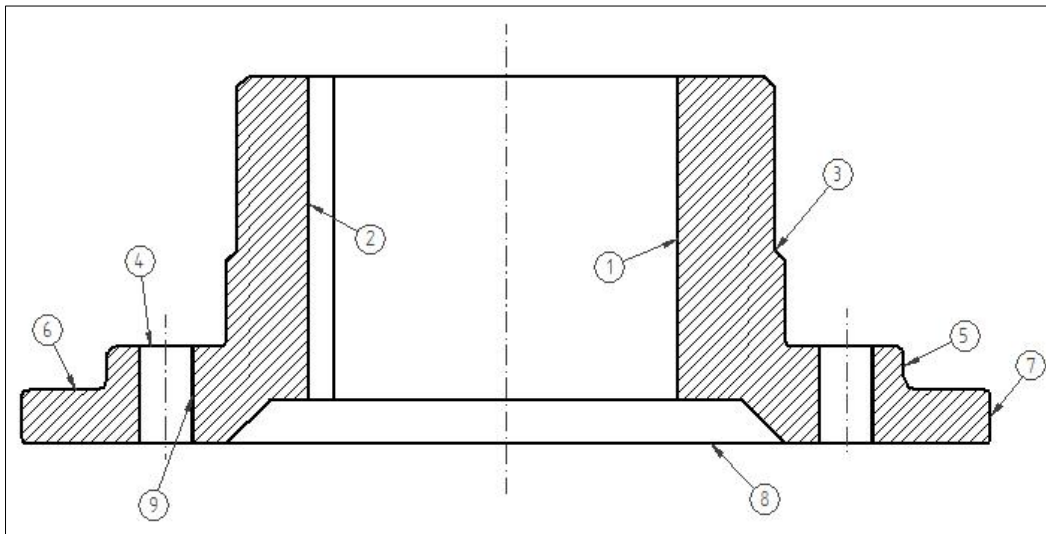


Figura 3.2 – Superfici da lavorare

Dopo aver individuato le superfici da lavorare si riportano nella tabella 3.1 i processi di lavorazione per ciascuna superficie.

Numero superficie	Tipologia	Processi possibili
1	Cilindrica interna coassiale alla 3, 5, 7	Tornitura
2	Piana (cava linguetta)	Stozzatura
4, 6	Cilindrica esterna piane ortogonali all'asse della 1	Tornitura
3, 5, 7	Cilindrica esterna piane ortogonali alle 4 e 6	Tornitura
8	Cilindrica interna coassiale alla 1, 3, 5, 7	Tornitura
9	Cilindrica interna (foro viti)	Foratura

Tabella 3.1 – Processi di lavorazione

Si raggruppano ora le superfici con il medesimo processo di lavorazione nella tabella 3.2.

Numero superficie	Processo
1, 3, 4, 5, 6, 7, 8	<i>Tornitura</i>
9	<i>Fresatura</i>
2	<i>Stozzatura</i>

Tabella 3.2 – Processi di lavorazione

Una volta fissati i processi di lavorazione necessari (fasi), bisogna controllare eventuali vincoli di precedenza tra di essi.



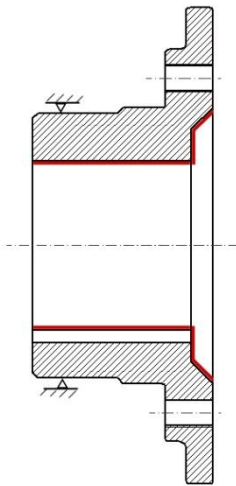
3.2.2 Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

Ora è necessario controllare se tutte le superfici esaminate possono essere lavorate con lo stesso piazzamento del pezzo durante ciascun tipo di lavorazione (stessa sottofase), questo per evitare errori di riposizionamento e perdite di tempo durante il montaggio e lo smontaggio del pezzo stesso. Essendo il nostro pezzo di dimensioni e peso non trascurabili (circa 80kg), si rende necessario ridurre al minimo le movimentazioni dello stesso, cercando di eseguire più operazioni possibili nella stessa sottofase.

Si individuano per le tre fasi, tornitura, fresatura, stozzatura le seguenti sottofasi:

Tornitura:

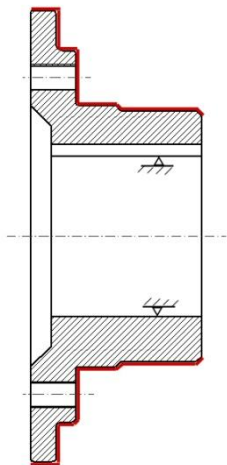
- Sottofase 10: Tornitura superficie 1 ed 8



Si sceglie di tornire queste superfici nella stessa sottofase per dei motivi di riferimento, avendo la necessità di avere più di una superficie ortogonale all'altra (figura 3.3). Il pezzo viene afferrato esternamente lungo la superficie 3, senza smontare il pezzo durante le operazioni di tornitura.

3.3 – Tornitura sottofase 10

- Sottofase 20: Tornitura superficie 3, 4, 5, 6, 7



Si sceglie di tornire queste superfici nella stessa sottofase per dei motivi di riferimento, avendo la necessità di avere più di una superficie ortogonale all'altra (figura 3.4). Il pezzo viene afferrato esternamente lungo la superficie 1, senza smontare il pezzo durante le operazioni di tornitura.

Figura 3.4 – Tornitura sottofase 20

Foratura:

- Sottofase 10: Foratura superficie 9

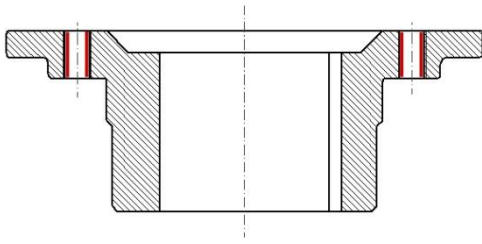


Figura 3.5 – Foratura

Si preferisce eseguire il processo di foratura mediante fresatrice anziché al trapano, perché tramite la fresa è possibile utilizzare un divisore, strumento che consente un preciso posizionamento dei fori sul pezzo ogni 45° .

Stozzatura:

- Sottofase 10: scanalatura superficie 2

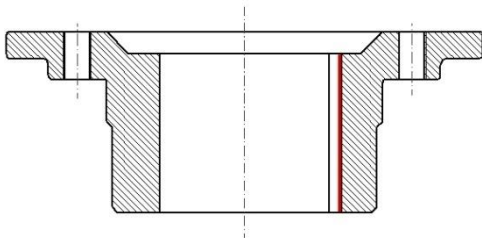


Figura 3.6 – Stozzatura

Tramite una stozzatrice si esegue la cava interna al mozzo.

3.2.3 Scelta della sequenza delle operazioni

Si verificano ora eventuali relazioni di precedenza tra un'operazione e l'altra. Nell'analisi si è tenuto conto di esigenze sia economiche, sia tecnologiche.

Tornitura:

- Sottofase 10: Tornitura superficie 1 ed 8

Operazione 10/1:

tornitura cilindrica interna s1 di sgrossatura (che porta il diametro da 150 a 160 mm)

Operazione 10/2:

tornitura cilindrica interna s1 di finitura (che porta alla tolleranza H6 richiesta)

Operazione 10/3:

tornitura cilindrica interna s8 di sgrossatura (realizzazione svasatura di 20 mm)

Operazione 10/4:

smussatura e realizzazione raggi di raccordo

- Sottofase 20: Tornitura superficie 3, 4, 5, 6, 7

Operazione 20/1:

tornitura cilindrica esterna s3, s4, s5, s6, s7, di sgrossatura (eliminazione sovrametalli 5mm)

Operazione 20/2:

tornitura cilindrica esterna s3, di sgrossatura (eliminazione sovrametalli 5 mm)

Operazione 20/3:

tornitura cilindrica esterna s3, di finitura (che porta alla tolleranza h8 richiesta)

Operazione 20/4:

smussatura e realizzazione raggi di raccordo

Fresatura:

- Sottofase 10: Foratura superficie 9

Operazione 10/1:
centratura del foro

Operazione 10/2:
foratura di 8 mm

Operazione 10/3:
allargatura di 16 mm

Operazione 10/4:
allargatura di 21 mm

Operazione 10/5:
maschiatura (filettatura 24 mm)

Stozzatura:

- Sottofase 10: Scavo superficie 2

Operazione 10/1:
stozzatura per realizzare la cava di 12 mm



3.3 Analisi delle lavorazioni

Per le fasi di lavorazione di tornitura e di fresatura, viene scelta un'operazione e si descrivono in modo dettagliato tutti i passi seguiti nella determinazione dell'utensile, dei parametri tecnologici, dei tempi di lavorazione, delle forze e delle potenze di taglio.

3.3.1 Tornitura

Viene analizzata l'operazione di tornitura cilindrica interna di finitura della s1 (operazione 10/2), che verrà effettuata su un tornio parallelo con mandrino autocentrante dall'esterno.

Scelta degli utensili

Si sceglie ora un utensile idoneo al tipo di macchina da impiegare (tornio parallelo) ed alla superficie da realizzare. Verranno determinati il materiale del tagliente e la geometria di taglio¹⁵. Successivamente tali informazioni verranno utilizzate per scegliere l'utensile migliore alle nostre esigenze su un catalogo commerciale.

Il materiale di un utensile è strettamente legato alla velocità di taglio che deve sopportare senza che si verifichi una rapida usura dello stesso. Le principali caratteristiche che tali materiali devono avere sono; la durezza a caldo e a freddo, la tenacità, la conducibilità termica, un basso coefficiente d'attrito, una elevata resistenza all'usura ed un costo contenuto; tutte caratteristiche non sempre conciliabili.

Nel nostro caso è stato scelto un inserto di carburi sintetizzati il quale ha una elevata durezza a caldo ed una elevata resistenza all'usura, questo per non compromettere il lavoro di finitura durante le successive lavorazioni dei pezzi, oltre al fatto che è tra le tipologie più diffuse commercialmente.

Per quanto riguarda la geometria di taglio iniziamo con l'*angolo di spoglia inferiore* α . Esso è funzione del tipo di materiale da lavorare, quindi tanto maggiore è la pressione di taglio, tanto maggiore deve essere la sezione resistente dello spigolo del tagliente (piccoli valori di α).

Nel nostro caso il materiale da lavorare è un acciaio per getti FeG520, debolmente legato con un tenore massimo di C dello 0,23% e le tabelle consigliano un angolo $\alpha = 5^\circ \div 7^\circ$ per inserti di carburi sintetizzati.

L'*angolo di spoglia principale* γ è di fondamentale importanza nei processi di taglio, in quanto consente di determinare l'inclinazione del tagliente principale, nonché la posizione del petto dell'utensile rispetto alla superficie di riferimento ed ha una diretta influenza sul meccanismo di formazione del truciolo. Inoltre si osserva che per elevati valori dell'angolo γ si riducono il lavoro di deformazione e l'attrito di scorrimento del truciolo, con conseguente riduzione della temperatura di taglio e della potenza assorbita nel taglio.

¹⁵ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Cap.9

Tuttavia a tale vantaggio si contrappone il problema della resistenza dello spigolo del tagliente che diminuisce all'aumentare di γ . Nel nostro caso, essendo il materiale da lavorare un acciaio per getti debolmente legato, ed avendo considerato l'impiego di utensili con inserto in carburi sinterizzati è consigliabile assumere l'angolo $\gamma = 6^\circ \div 12^\circ$.

L'angolo β di taglio ha influenza sulla robustezza del tagliente ed essendo il completamento a 90° degli angoli α e γ , avrà valori compresi tra $\beta = 79^\circ \div 71^\circ$.

L'angolo ψ del tagliente principale, influenza invece le componenti delle forze di taglio e lo spessore del truciolo. Si cerca quindi di avere un angolo il più ampio possibile per consentire l'asportazione del truciolo, senza però causare un aumento eccessivo delle forza principale di taglio. Per condizioni di lavoro normali, si consiglia un angolo $\psi = 20^\circ \div 70^\circ$, crescente con la rigidità del sistema macchina-pezzo-utensile.

Insieme all'angolo ψ , l'angolo λ di inclinazione del tagliente principale, governa il deflusso del truciolo, si cerca quindi soprattutto in lavoro di finitura di orientare il truciolo verso la superficie esterna da lavorare adottando angoli positivi.

Infine gli angoli χ e χ' di registrazione, insieme all'avanzamento e al raggio di raccordo della punta determinano la geometria della superficie lavorata, cioè la rugosità teorica da ottenere. Poiché stiamo analizzando un lavoro di finitura, che prevede di raggiungere un valore di rugosità $R_a = 0,4 \mu\text{m}$, valore limite per lavorazioni al tornio, questa è una scelta di elevata importanza. Poiché la rugosità teorica diminuisce col diminuire dell'avanzamento e con l'aumentare del raggio di raccordo, si presuppone un avanzamento a molto basso, ed un raggio di raccordo molto ampio. D'altra parte però un raggio di raccordo tra i taglienti elevato, crea problemi di taglio come l'asportazione non uniforme del truciolo, con una conseguente scarsa finitura superficiale. Si consiglia quindi in lavorazioni di finitura di avere piccoli avanzamenti e piccoli raggi di raccordo. Con un utensile chiamato finitore simmetrico avente χ e $\chi' = 50^\circ$ ed un raggio di raccordo $r = 0,6 \text{ mm}$ si dovrebbero ottenere valori teorici di $R_a = 0,5 \mu\text{m}$, prossimi alle tolleranze richieste dal progetto per la nostra superficie.

La scelta del porta utensile verrà fatta da catalogo e dovrà essere compatibile con l'inserto, deve garantire che non si superino gli angoli di registrazione, e la sua sezione deve essere adatta al tipo di operazione in termini di rigidità ed ingombro.

In base a queste considerazioni di sceglierà tramite la consultazione di un catalogo l'utensile più adatto alle nostre esigenze.

Il catalogo consultato è il catalogo Coromant, www.coromant.sandvik.com.

La consultazione del catalogo è partita dal materiale del pezzo da lavorare identificando la classificazione Coromant dei materiali e individuando il nostro acciaio nella ISO P (figura 3.7):

MATERIALE DEL PEZZO			
ISO P	Acciaio Materiale di riferimento: Acciaio debolmente legato, CMC02.1/ HB 180	ISO N	Leghe di alluminio Materiale di riferimento: Fuse, non invecchiate, CMC 30.21/HB 75
ISO M	Acciaio inossidabile Materiale di riferimento: Acciaio inossidabile austenitico, CMC 05.21/ HB180	ISO S	Leghe resistenti al calore Materiale di riferimento: Base Ni, CMC 20.22/HB 350
ISO K	Ghisa Materiale di riferimento: Ghisa grigia, CMC 08.2/HB 220 Ghisa nodulare, CMC 09.2/HB 250	ISO H	Acciaio temprato Materiale di riferimento: Temprato, CMC 04.1/HRC 60

Figura 3.7 – Classificazione Coromant dei materiali

Successivamente si è identificata la condizione di lavorazione (figura 3.8), che nel nostro caso rientra tra le condizioni normali:

CONDIZIONI DI LAVORAZIONE		
		
Condizioni - buone Taglio continuo. Elevate velocità. Pezzo semilavorato. Ottimo bloccaggio del componente. Piccole sporgenze.	Condizioni - normali Passate di profilatura. Moderate velocità di taglio. Pezzo fuso o forgiato. Buon bloccaggio del pezzo.	Condizioni - difficili Taglio interrotto. Presenza di pesante crosta di forgiatura o di fusione sul pezzo. Insufficiente bloccaggio del pezzo.

Figura 3.8 – Condizione di lavorazione Coromant

Tra i principali inserti per lavorazione interna è stato scelto il T-MAX P, destinato alla lavorazione interna di fori di grandi dimensioni con piccole sporgenze e condizioni stabili.

Si è verificato poi che tali inserti rispettino le tolleranze di rugosità superficiale richieste (figura 3.9)

Finitura superficiale - inserti standard					
Inserti T-MAX P negativi					
P M K N S H					
Finitura F					
Finitura superficiale, μm	Raggio di punta dell'inserto				
	R_a	R_t	0.4	0.8	1.2 ¹⁾
0.6	1.6	0.07	0.10	0.12	
1.6	4.0	0.11	0.15	0.19	
3.2	10.0	0.17	0.24	0.29	
6.3	16.0	0.22	0.30	0.37	

Figura 3.9 – Condizione di lavorazione Coromant

Ad una prima impressione potrà sembrare che la massima rugosità R_a sia di $0,6 \mu\text{m}$ ma in realtà mediante l'utilizzo di inserti di versione Wiper (figura 3.10), pur mantenendo lo stesso avanzamento, si potrà raddoppiare la finitura superficiale che risulterà eccellente, eliminando l'operazione di rettifica, come si era preventivato nel nostro caso.

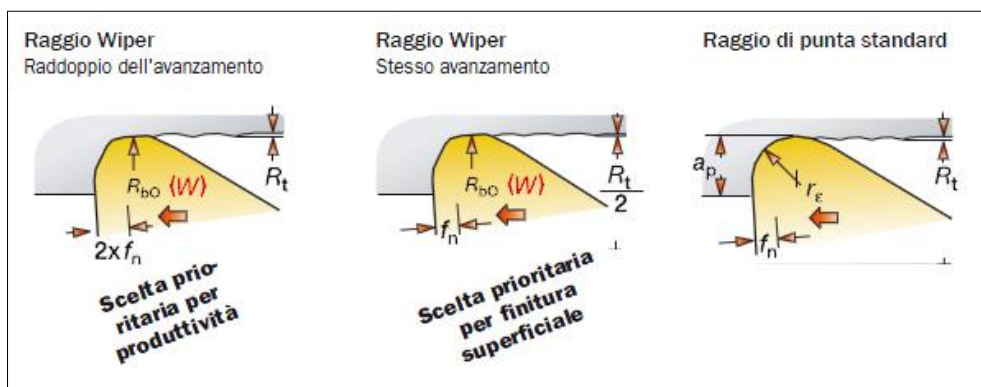


Figura 3.10 – Inserti T-MAX P Wiper

La verifica del raggiungimento della finitura superficiale richiesta ($R_a = 0,4 \mu\text{m}$) è stata effettuata oltre che teoricamente, tramite un programma di calcolo automatico in base ai dati di taglio sul sito della Coromant; il risultato ottenuto è di $R_a = 0,32 \mu\text{m}$ che rientra pienamente nelle nostre specifiche di progetto.

In base a questi dati si è andati alla pagina relativa all'inserto e sono stati scelti la geometria, la qualità e dati di taglio (figura 3.11).

ISO/ANSI		FINITURA DI ACCIAIO			DATI DI TAGLIO, CMC 02.1 / HB 180			
P F		Inserti con posizionamento di base negativo			Velocità di taglio v_c (m/min)			
CODICE DI ORDINAZIONE		○	◐	●	Profondità di taglio a_p mm	Avanzamento f_n mm/giro	GC	
		GC4215	GC4215	GC4225			15	GC
	CNMG 09 03 04-WF	☆	★		0.5 (0.3-1.5)	0.15 (0.05-0.25)	515	
	09 03 08-WF	☆	★	☆	1 (0.3-2)	0.3 (0.1-0.5)	415	345
	12 04 04-WF	☆	★	☆	0.4 (0.25-3)	0.15 (0.05-0.25)	515	425
	12 04 08-WF	☆	★	☆	1 (0.25-4)	0.3 (0.1-0.5)	415	345
	12 04 12-WF	☆	★	☆	1.5 (0.4-4)	0.5 (0.2-0.6)	335	275
	DNMX 11 04 04-WF	☆	★	☆	1 (0.2-1.5)	0.2 (0.08-0.3)	475	395
	11 04 08-WF	☆	★	☆	1 (0.2-3)	0.3 (0.1-0.4)	415	345
	15 04 04-WF	☆	★	☆	0.8 (0.2-3)	0.2 (0.08-0.3)	475	
	15 04 08-WF	☆	★	☆	1.5 (0.2-3)	0.3 (0.1-0.4)	415	345
	15 04 12-WF	☆	★	☆	1.5 (0.4-3.5)	0.4 (0.15-0.55)	370	305
	15 06 04-WF	☆	★		0.8 (0.2-3)	0.2 (0.08-0.3)	475	
	15 06 08-WF	☆	★	☆	1.5 (0.2-3)	0.3 (0.1-0.4)	415	345
15 06 12-WF	☆	★	☆	1.5 (0.4-3.5)	0.4 (0.15-0.55)	370	305	

Figura 3.11 – Versioni inserti T-MAX P Wiper

L'utensile scelto è il **CNMG 09 03 04-WF 4215**.

Esso rientra nella tipologia GC4215 (HC) - P15 (P01-P30): qualità di metallo duro rivestita-CVD per operazioni che vanno dalla sgrossatura alla finitura in applicazioni a taglio continuo o leggermente interrotto di acciaio e getti di acciaio. Il substrato con Gradient-Sintering è ottimizzato per durezza e tenacità con un rivestimento resistente all'usura e alle alte temperature senza compromettere l'efficienza del filo tagliente nelle applicazioni con e senza refrigerante¹⁶.

Simboli di lettere che specificano la designazione dei materiali da taglio: HC = Metallo duro rivestito, chiamato anche cermet, contenente principalmente carburi di titanio (TIC) o nitruri di titanio (TIN), oppure entrambi.

Sono di seguito riportati i dati dell'inserto, tratti dal sito della Coromant (figura 3.12):

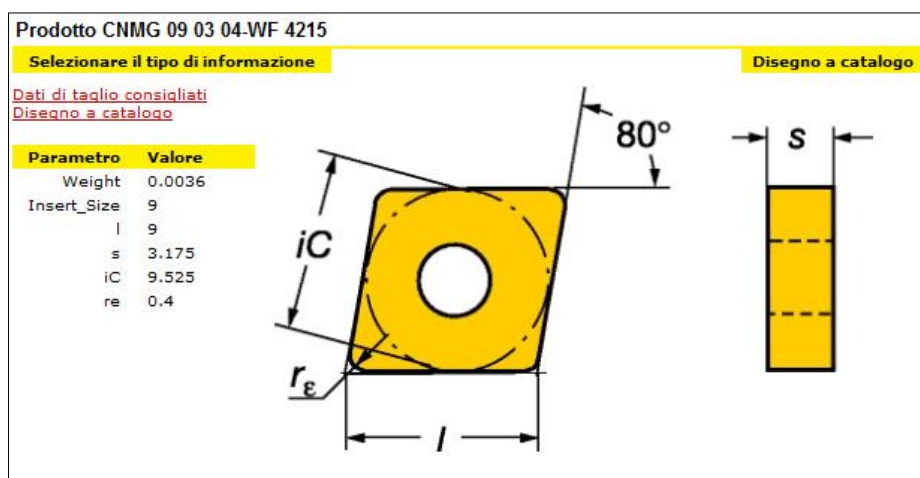


Figura 3.12 – Dati inserto

Come si può notare i dati rispecchiano in linea di massima le indicazioni teoriche trattate all'inizio del paragrafo, con la sola eccezione che in questo caso si tratta di inserti negativi. Tale scelta è stata condizionata dal fatto che rispetto agli inserti positivi Coromant si garantisce una maggiore finitura superficiale.

In Allegato 3 – Fascicolo n°1, si riportano le parti del catalogo Coromant utilizzato per la scelta dell'inserto.

¹⁶ Sandvik Coromant, "Catalogo generale 2009", <http://www.coromant.sandvik.com/it>

Scelta dei parametri di taglio

Un idonea scelta dei parametri di taglio (velocità di taglio, avanzamento e profondità di passata) consente di ottimizzare le varie operazioni del ciclo di lavorazione.

Per ottimizzare l'operazione di finitura si potrebbe procedere stabilendo un criterio di ottimizzazione, minimo costo o massima produzione, tenendo conto delle condizioni limite esistenti, e delle esigenze funzionali dell'elemento. Nel nostro caso, volendo ottenere una finitura superficiale molto spinta senza dover ricorrere ad una rettifica, siamo vincolati a scegliere avanzamenti, profondità di passata e le velocità di taglio consigliati dal produttore dell'inserto (peraltro già ottimizzati), per ottenere la rugosità R_a richiesta:

$$V_t = 515 \text{ m/min} = 8,583 \text{ m/s}$$

$$a = 0,1 \text{ mm/giro}$$

$$p = 0,5 \text{ mm}$$

In base a questi dati è possibile calcolare il numero n di giri che deve avere il mandrino del tornio:

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 515}{\pi \cdot 80} = 2049 \text{ rpm}$$

Sul tornio verrà scelta la velocità più prossima a quella sopra indicata.

A questo punto, utilizzando la relazione di Kronenberg si calcola la potenza meccanica richiesta dall'operazione, anche se, dati i bassi valori di avanzamento e profondità di passata, il controllo della potenza non è necessario:

$$P = F_t \cdot V_t = K_s A \cdot V_t = K_{so} (ap)^{1-z} \cdot V_t = (2,4 R^{0.454} \beta^{0.666}) (ap)^{1-z} \cdot V_t = 2 \text{ kW}$$

Avendo posto:

$$R = 52 \text{ daN/mm}^2$$

$$\beta = 80^\circ$$

$$z = 0.197 \text{ (per gli acciai)}$$

$$V_t = 8,583 \text{ m/s}$$

$$a = 0,1 \text{ mm}$$

$$p = 0,5 \text{ mm}$$

Infine il tempo di lavorazione è dato da:

$$T = \frac{L}{a \cdot n} = \frac{170}{0,1 \cdot 2049} = 0,83 \text{ min} = 50 \text{ s}$$

Adottando i parametri di taglio consigliati, e considerando la durata dell'utensile di circa 15min, potremo effettuare 18 passate di finitura prima che l'inserto sia da cambiare. Inoltre, essendo l'inserto bilaterale, potremo utilizzarlo per 36 volte.

Dovendo effettuare in totale 102 lavorazioni di finitura saranno necessari circa 3 inserti del tipo specificato.

In figura 3.13 sono riportati per nota i parametri di taglio ottenuti in modo automatico mediante il programma disponibile sul sito della Coromant, i quali confermano i nostri calcoli, con l'eccezione della potenza meccanica richiesta, che presenta un delta di 0,5kW circa.

Questa discrepanza è dovuta probabilmente al fatto che vengono utilizzati dal software coefficienti e carico di resistenza a trazione diversi.

Poiché nell'impostazione dei materiali nel software non è presente il nostro acciaio (FeG520), ci siamo orientati verso un acciaio con caratteristiche simili (C20C21), tenore di carbonio massimo al 20%, durezza di 150-160 HB, e carico di rottura di circa 500-600 N/mm².

Materiale pezzo			Dati di taglio consigliati	
Standard nazionale UNI			Velocità di taglio (vc):	515 m/min
Denominazione C20C21			Durezza	160 HB
Grado/geometria inserto 4215			Velocità mandrino (n):	2049 giri/min
Wiper			Volume truciolo asportato (Q):	26 cm ³ /min
Parametri (selezionare fn, hex o hm)			Tempo per passata (Tc):	0.83 min
Angolo di entrata (α _r)	50 °		Potenza netta (Pc):	1.5 kW
Raggio del naso (re):	0.4 mm		Rugosità massima (Rt):	1.6 μm
Avanzamento (fn):	0.10 mm/r		Ruvidità media (Ra):	0.32 μm
		Spessore massimo truciolo (hex):	Ruvidità media (Rq,RMS):	0.35 μm
		Spessore medio truciolo (hm):		
		0.08 mm		
		0.06 mm		
Profondità di taglio (ap):	0.5 mm			
Diametri lavorati (Dm1,Dm2):	80 mm	80 mm		
Lunghezza assiale di taglio (lz):	170 mm			
si sovrappongono				
Velocità max. Mandrino	Durata attrezzo:	Numero passate (nap):		
10000	15.0	18		

mm Pollici

Figura 3.13 – Parametri di taglio

3.3.2 Fresatura

Viene analizzata ora l'operazione di foratura (operazione 10/2) per la realizzazione dei fori che serviranno per il serraggio della flangia di pressione sul mozzo. Tale operazione come precedentemente detto viene eseguita utilizzando una fresatrice perché su tale macchine è possibile utilizzare uno strumento chiamato divisore, che permette la lavorazione di pezzi circolari e, l'esecuzione di forature disposte a raggiera ad ogni grado di angolazione richiesto.

In questo caso il moto di taglio sarà rotatorio e posseduto sempre dall'utensile, il moto di alimentazione sarà rettilineo e posseduto dal pezzo, così come il moto di appostamento che servirà a far coincidere l'asse dell'utensile con quello del foro.

Scelta degli utensili

L'operazione di foratura è quella più comune e serve per ottenere un foro cilindrico con qualità equivalente ad una sgrossatura e segue l'operazione di centratura che ha la funzione di guida per il posizionamento dell'utensile. L'utensile più semplice per eseguire tale operazione è la classica punta elicoidale.

Verranno ora determinati i parametri necessari a scegliere poi l'utensile migliore alle nostre esigenze su un catalogo commerciale.

Per prima cosa bisogna realizzare un foro 8 mm, quindi il diametro della testa della punta sarà necessariamente di tale dimensione. Successivamente bisognerà controllare la proporzione tra il diametro della punta e la profondità da forare, nel nostro caso 45 mm.

Alla fine vengono analizzati gli angoli η e φ , rispettivamente dei taglienti principali e delle scanalature elicoidali. Essi vengono scelti quale risultato di un complesso di esigenze, tra cui i principali sono: permettere l'evacuazione dei trucioli, portare nella zona dei taglienti il fluido lubro-refrigerante, conferire alla parte terminale della punta una resistenza meccanica adatta al materiale da lavorare.

Vengono ora scelti i seguenti angoli η e φ in base al materiale da lavorare e al diametro della punta¹⁷ (figura 3.14).

¹⁷ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Tab. 9-2

Diametro [mm]	Angolo φ		
	N	D	T
fino a 0,5	13° + 20°	–	–
oltre 0,5 fino a 1	15° + 22°	–	–
oltre 1 fino a 3,5	17° + 23°	8° + 12°	30° + 38°
oltre 3,5 fino a 6	19° + 26°	10° + 16°	30° + 42°
oltre 6 fino a 10	22° + 28°	10° + 16°	35° + 45°
oltre 10	25° + 30°	10° + 16°	35° + 45°

Materiale	Angolo η dei taglienti
Acciaio e acciaio in getti, legato e non legato $R_m = 400 + 700$ MPa	118°
Ghisa grigia	118°
Ghisa malleabile	118°
Ottone	118°
Nichel	118°
Lega di zinco	118°
Metallo antifrizione	118°
Acciaio $R_m = 700 + 1400$ MPa	130°
Acciaio inossidabile austenitico	140°
Rame	140°
Lega di alluminio a truciolo lungo	140°
Lega di alluminio a truciolo corto	140°
Lega di magnesio	140°
Materie plastiche stampate	80°

Figura 3.14 – Valori tipici angoli η e φ

$$\eta = 22^\circ \div 28^\circ$$

$$\varphi = 118^\circ$$

Per quanto riguarda la velocità di taglio e l'avanzamento, si consigliano i seguenti valori in base al materiale ed al diametro del foro¹⁸.

$$R = 500 \div 700 \text{ Mpa}$$

$$a = 0,1 \div 0,16 \text{ mm}$$

$$V_t = 25 \div 35 \text{ m/min}$$

In base a queste considerazioni di sceglierà tramite la consultazione di un catalogo l'utensile più adatto alle nostre esigenze.

¹⁸ M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, Tab.9-3

Il catalogo consultato è il catalogo Coromant, www.coromant.sandvik.com.

La consultazione del catalogo è partita dal materiale da lavorare, identificando la classificazione Coromant dei materiali, individuando il nostro acciaio nella ISO P (figura 3.15):

MATERIALE DEL PEZZO	
ISO P	Acciaio Materiale di riferimento: Acciaio debolmente legato, CMC02.1/ HB 180
ISO M	Acciaio inossidabile Materiale di riferimento: Acciaio inossidabile austenitico, CMC 05.21/ HB180
ISO K	Ghisa Materiale di riferimento: Ghisa grigia, CMC 08.2/HB 220 Ghisa nodulare, CMC 09.2/HB 250
ISO N	Leghe di alluminio Materiale di riferimento: Fuse, non invecchiate, CMC 30.21/HB 75
ISO S	Leghe resistenti al calore Materiale di riferimento: Base Ni, CMC 20.22/HB 350
ISO H	Acciaio temprato Materiale di riferimento: Temprato, CMC 04.1/HRC 60

Figura 3.15 – Classificazione Coromant dei materiali

Successivamente si è identificata la tipologia di lavorazione (figura 3.16), che nel nostro caso rientra tra materiali di foratura generale:

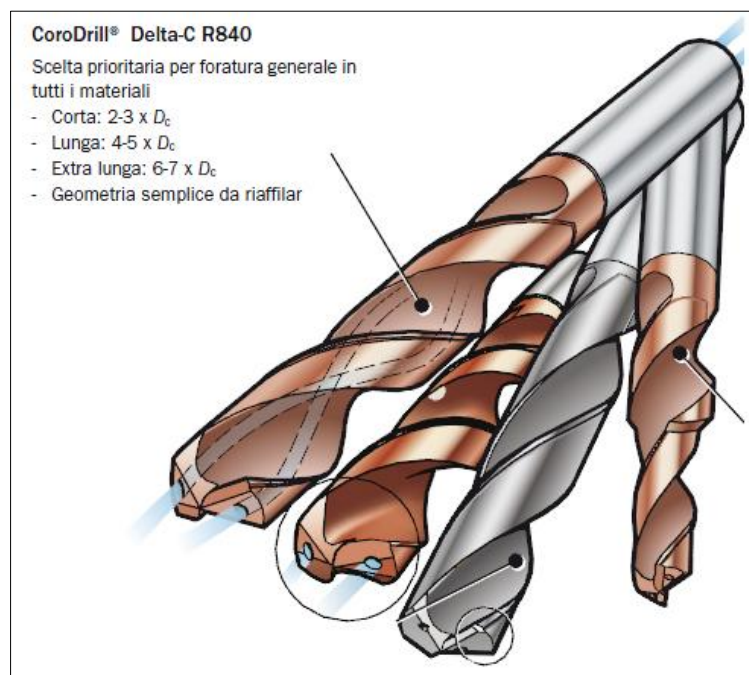
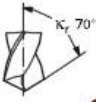


Figura 3.16 – Tipologia di lavorazione Coromant

La massima profondità del foro rientra nel 6-7 x D_c , essendo D_c il diametro della punta, e la profondità da forare 45 mm.

In base ai precedenti dati, tra le principali punte di questa categoria (figura 3.17), si è scelto il seguente modello CoroDrill Delta-C 6-7 x D_c : **R840-0800-70-A1A**

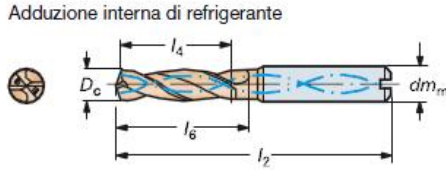
CoroDrill® Delta-C 6 – 7 × D_c
R840
Attacco cilindrico



Diametro punta: 5.0–16.30 mm
 Max. profondità foro: 6 - 7 × D_c
 Rivestimento: TiN/TiAlN multistrato

Tolleranza foro: IT8-9-10
 Finitura superficiale: R_a 1–2 μm
 Fluido da taglio: Emulsione o olio da taglio
 Standard della punta: DIN 6537
 Tolleranze: dm_m = h6
 D_c = m7:
 D_c 3.01-6 +0.016/+0.004
 D_c 6.01-10 +0.021/+0.006

Adduzione interna di refrigerante



l_4 = profondità di foratura consigliata

D _c mm	Misura filetto	Codice di ordinazione	Adduzione interna di refrigerante					Dimensioni, mm				
			P	M	K	N	S	H	dm _m	l ₂	l ₄	l ₆
5	M6 75%	R840-0500-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	6	93	42	50
5.1	M6 65%	R840-0510-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	6	93	42	50
5.16		R840-0516-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	6	93	42	50
7.5		R840-0750-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
7.54		R840-0754-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
7.6		R840-0760-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
7.7		R840-0770-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
7.8		R840-0780-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
7.9		R840-0790-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
7.94		R840-0794-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
8		R840-0800-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8	105	56	67
8.1		R840-0810-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75
8.2		R840-0820-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75
8.3		R840-0830-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75
8.33		R840-0833-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75
8.4		R840-0840-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75
8.5		R840-0850-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75
8.6	M10 70%	R840-0860-70-A1A	☆	☆	☆	☆	☆	☆	10	120	62	75

Figura 3.17 – Punta CoroDrill Delta-C 6-7xD_c

Si tratta di una punta elicoidale con angolo η tra i taglienti pari a 140° ed angolo tra le scanalature elicoidali di 28°, i quali rispecchiano con buona approssimazione le considerazioni iniziali.

La qualità di lavorazione della nostra punta rientra nella categoria GC1220 (figura 3.18).

ISO/ANSI		Diametro delle punte / Qualità					
		D _c	Coromant	D _c	Coromant	D _c	Coromant
Acciaio	P	0.30-1.40	H10F	1.50-2.90	GC1020	3.00-20.00	GC1220
Acciaio inossidabile	M	-	-	-	-	3.00-20.00	GC1220
Ghisa	K	0.30-1.40	H10F	1.50-2.90	GC1020	3.00-20.00	GC1220
Materiale non ferroso	N	0.30-1.40	H10F	1.50-2.90	GC1020	3.00-20.00	GC1220
Leghe di titanio	S	0.30-1.40	H10F	1.50-2.90	GC1020	3.00-20.00	GC1220
Materiale temprato	H	-	-	1.50-2.90	GC1020	3.00-20.00	GC1220

Figura 3.18 – Qualità di lavorazione

Questa qualità è notevolmente resistente all'usura (ottima nel nostro caso in cui sono richiesti 8 fori per ogni mozzo), ed è utilizzata in condizioni stabili di lavorazione come la nostra situazione di lavoro rappresenta (figura 3.18).

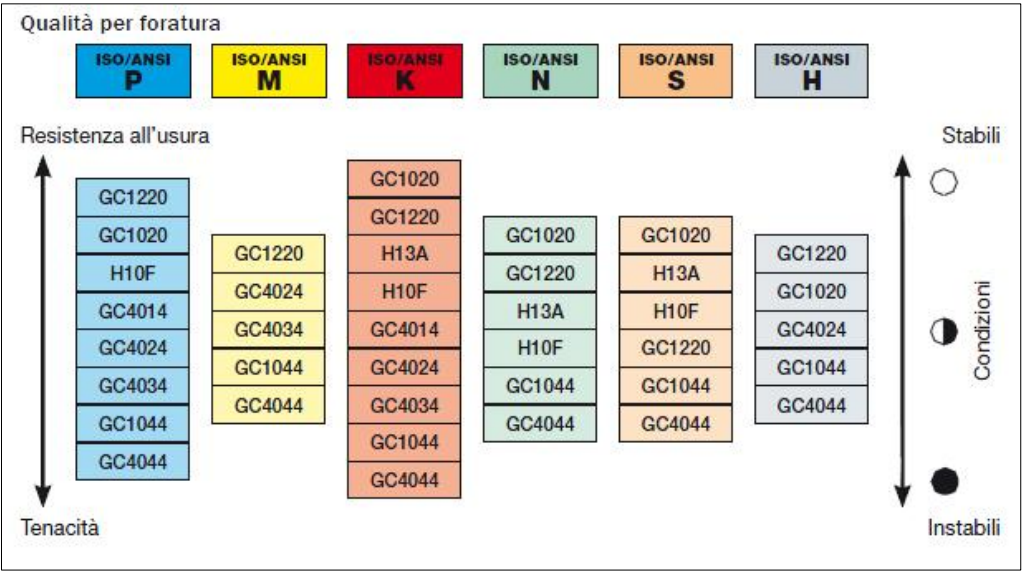


Figura 3.18 – Qualità di lavorazione

Le tolleranze del foro rientrano nella classe IT8-10 e la finitura superficiale in $R_a = 1 \div 2 \mu m$.

In Allegato 3 – Fascicolo n°2, si riportano le parti del catalogo Coromant utilizzato per la scelta della punta elicoidale.

Scelta dei parametri di taglio

Per la scelta della velocità di taglio e velocità di avanzamento, si scelgono i valori consigliati dal produttore della punta (figura 3.19).

CoroDrill® Delta-C per diametri punta 3-20 mm									
ISO	No. CMC	Materiale	Durezza Brinell HB	Qualità	Velocità di taglio (V_t), m/min	Diametro della punta, mm			
						3.00-6.00	6.01-10.00	10.01-14.00	14.01-20.00
						Avanzamento f_n , mm/giro 3)			
P	01.0	Acciaio non legato C = 0.05-0.10%	125	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.1	C = 0.10-0.25%	125	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.2	C = 0.25-0.55%	150	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.3	C = 0.55-0.80%	170	1220	70-130	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.4	Acciaio ad alto tenore di carbonio Acciaio per utensili al carbonio	210	1220	70-120	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		Acciaio debolmente legato							
	02.1	Non trattato	180	1220	70-120	0.10-0.20	0.14-0.30	0.18-0.35	0.20-0.40
	02.2	Bonificato	275	1220	70-100	0.10-0.20	0.14-0.30	0.18-0.35	0.20-0.40
	02.2	Bonificato	350	1220	50-80	0.10-0.20	0.14-0.25	0.18-0.35	0.20-0.38
		Acciaio fortemente legato							
	03.11	Ricotte	200	1220	40-80	0.08-0.14	0.10-0.22	0.14-0.25	0.16-0.32
	03.21	Acciaio per utensili bonificato	325	1220	40-70	0.08-0.14	0.10-0.22	0.12-0.25	0.18-0.28
		Getti di acciaio							
	06.1	Non legato	180	1220	70-130	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
06.2	Debolmente legato (elementi leganti<5%)	200	1220	70-120	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45	

Figura 3.19 – Dati di taglio CoroDrill Delta-C

Nel nostro caso mediando i valori tabellati otteniamo:

$$V_t = 110 \text{ m/min} = 1,83 \text{ m/s}$$

$$a = 0,25 \text{ mm/giro}$$

In base a questi dati è possibile calcolare il numero n di giri che deve avere il mandrino del tornio:

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 110}{\pi \cdot 8} = 4376 \text{ rpm}$$

Sulla fresatrice verrà scelta la velocità più prossima a quella sopra indicata.

La valutazione approssimata della coppia (C) e della potenza (P) da utilizzare nell'operazione di foratura viene effettuata tramite le seguenti relazioni:

$$C = \frac{a \cdot D^2}{8 \cdot 1000} \cdot K_s = \frac{a \cdot D^2}{8 \cdot 1000} \cdot (2,4 R^{0.454} \beta^{0.666}) \left(a \frac{D}{4}\right)^{-z} = 5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$R = 52 \text{ daN/mm}^2$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$z = 0.197 \text{ (per gli acciai)}$$

$$V_t = 1,83 \text{ m/s}$$

$$a = 0,25 \text{ mm/giro}$$

$$D = 8 \text{ mm}$$

$$P = C \cdot \frac{2\pi n}{60} = 2,3 \text{ kW}$$

Infine il tempo di lavorazione è dato da:

$$T = \frac{L}{a \cdot n} = \frac{45}{0,25 \cdot 4376} = 0,04 \text{ min} = 2,5 \text{ s}$$

In figura 3.20 sono riportati per nota i parametri di taglio ottenuti in modo automatico mediante il programma disponibile sul sito della Coromant, i quali che confermano con buona precisione i nostri calcoli.

Materiale pezzo		Dati di taglio consigliati	
Standard nazionale UNI		Potenza netta (Pc):	2.4 kW
Denominazione C20C21		Forza di avanzamento (Ff):	1230 N
Durezza 160 HB		Coppia (Mc):	5.2 Nm
Grado inserto 1220		Volume truciolo asportato (Q):	55 cm ³ /min
Parametri		Portata lubrificante (q):	1.5 l/min
Diametro punta (Dc):	8 mm	Tempo di taglio per foro (t):	2.47 sec
Profondità foro (L):	45 mm	Rapporto lunghezza diametro foro:	5.63 xDc
<u>vcMin</u> - <u>vcMax</u>	Velocità di taglio (vc):	Velocità mandrino (n):	
80 - 140	110 m/min	4377 giri/min	
<u>fnMin</u> - <u>fnMax</u>	Avanzamento (fn):	Avanzamento (vf):	
0.15 - 0.34	0.25 mm/giro	1094 mm/min	

<< Indietro mm Pollici Calcola

Figura 3.20 – Parametri di taglio

Altre lavorazioni

In Allegato 3 – Fascicolo n°3, si riportano le parti dei cataloghi utilizzati per la scelta degli utensili per la maschiatura e stozzatura.

3.3.3 Cartellino per il ciclo di lavorazione

Si riporta il cartellino per il ciclo di lavorazione nell'Allegato 3 – Fascicolo n°4.

3.3.4 Foglio analisi lavorazione

Si riporta il foglio analisi lavorazione in Allegato 3 – Fascicolo n°5.

3.4 Scelta delle macchine utensili

In base ai parametri tecnologici e di lavorazione ottenuti nei precedenti paragrafi ed alle caratteristiche del pezzo da lavorare, vengono scelte le seguenti macchine utensili.

Tornio parallelo

La scelta è stata operata facendo riferimento alla lavorazione più gravosa in termini di potenza assorbita. In tal senso, è stata valutata la potenza assorbita in operazione tornitura cilindrica esterna di sgrossatura di 5 mm, divisa in due passate da 2,5 mm.

$$P = F_t \cdot V_t = K_s A \cdot V_t = K_{so} (ap)^{1-z} \cdot V_t = (2,4 R^{0.454} \beta^{0.666}) (ap)^{1-z} \cdot V_t = 8,5 \text{ kW}$$

Avendo posto i parametri di taglio, presi sempre dal catalogo Coromant:

$$R = 52 \text{ daN/mm}^2$$

$$\beta = 80^\circ$$

$$z = 0.197 \text{ (per gli acciai)}$$

$$V_t = 360 \text{ m/min} = 6 \text{ m/s}$$

$$a = 0,35 \text{ mm}$$

$$p = 2,5 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 325}{\pi \cdot 160} = 716 \text{ rpm}$$

In base a questi dati e quelli ottenuti durante l'analisi dell'operazione di finitura, si sceglie il seguente tornio:

TRENS SN 500 SA



Figura 3.21 – Tornio TRENS SN 500 A

Caratteristiche principali:

Swing over bed 505 mm

Swing over cross slide 270 mm

Speed range 12,5 - 2000 rpm

Max. work piece weight clamped between centres 1000 kg

Max. work piece weight, clamped in the chuck 80 kg

Main motor output 7.5 kW

Per i dati completi si rimanda al catalogo del tornio: Allegato 3 – Fascicolo n°6.

Fresatrice

In base ai dati dell'operazione di foratura eseguita precedentemente si sceglie il seguente modello di fresa:

ITAMA – Fresa Verticale FV 30 multitronic



Figura 3.22 – ITAMA Fresa Verticale FV 30 multitronic

Caratteristiche principali:

Dimensioni della tavola 1500x305 mm

Variatore di velocità 70 ÷ 4200 rpm

Potenza motore 3,75 kW

Peso netto approssimativo 1700 Kg

Per i dati completi si rimanda al catalogo della fresatrice: Allegato 3 – Fascicolo n°7.

Stozzatrice

In base ai dati dell'operazione di stozzatura si sceglie il seguente modello di stozzatrice:

CAMS - Modello 200

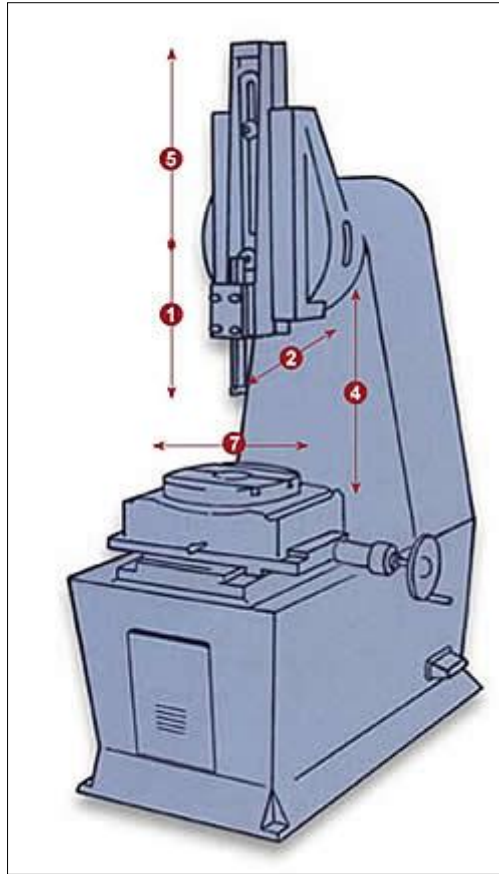


Figura 3.23 – CAMS Modello 200

Caratteristiche principali (figura 3.23):

1. Corsa dell' utensile regolabile da 0 a 200 mm
2. Distanza tra colonna e portautensili 350 mm
3. Luce tra tavola a croce e testa 460 mm
4. Luce tra tavola girevole e testa 360 mm
5. Spostamento verticale dello slittone 370 mm
6. Dimensioni della tavola portapezzo 280x500 mm
7. Diametro tavola girevole 320 mm

Per i dati completi si rimanda al catalogo della stozzatrice: Allegato 3 – Fascicolo n°8.

3.5 Stima dei costi di produzione

Come ultima operazione del capitolo 3 si effettua la stima dei costi di produzione, dalla quale si ricaverà il costo unitario di lavorazione del grezzo di fonderia alle macchine utensili.

I costi di produzione saranno suddivisi nelle seguenti categorie di costi diretti ed indiretti:

costi diretti

- utensili
- manodopera
- energia elettrica
- macchinari (si considerano i macchinari, tornio, fresa, stozzatrice già in nostro possesso)

costi indiretti

- stoccaggio materiali, spedizione e vendita
- amministrazione

I tempi necessari all'esecuzione di un ciclo di lavorazione vengono classificati in: tempi attivi, tempi passivi e tempi di cambio utensile. I primi sono i tempi effettivi di lavorazione o di taglio, calcolati durante la stesura del ciclo di lavorazione; i tempi passivi sono necessari per lo svolgimento delle operazioni di montaggio e smontaggio del pezzo (nel nostro caso attraverso un paranco a causa del peso rilevante del grezzo da fonderia) ed avviamento ed arresto della macchina; i tempi di cambio utensile sono necessari al cambio dell'utensile a secondo della lavorazione da effettuare (sgrossatura e finitura).

I tempi vengono riportati in tabella 3.3.

Anche in questo caso tutti i dati sono stati implementati in un foglio di calcolo elettronico.

Le informazioni sui costi sono state ricavate dalle seguenti fonti:

- www.enel.it (energia elettrica per aziende)
- www.ebay.it (stima costo degli utensili)
- Prof. F.Veniali, Dispense di Tecnologia Meccanica, Università "La Sapienza" di Roma, Facoltà di Ingegneria, A.A. 2008/09 (stima costo ore manodopera).

Poiché si sono utilizzate sempre velocità di taglio consigliate sui cataloghi, si considera una durata media per gli inserti da tornitura di 15 min, mentre per le punte da foratura di 2 ore.

I tempi di produzione sono stati calcolati facendo delle stime sulle varie operazioni da compiere (es. montaggio-smontaggio del pezzo). Si riportano in tabella 3.3 tali stime.

Fase	Tempi	Secondi
Tornitura	Montaggio pezzo	120
	Smontaggio pezzo	60
	Ribaltamento pezzo	180
	Cambio utensile	30
Foratura	Montaggio pezzo	120
	Smontaggio pezzo	60
	Rotazione pezzo	70
	Cambio utensile	10
Stozzatura	Montaggio pezzo	120
	Smontaggio pezzo	60
	Cambio utensile	10

Tabella 3.3 – Stima dei tempi singole operazioni

In base a queste stime si calcolano i tempi di produzione per un singolo pezzo, in base alle varie operazioni da compiere, sgrossatura e finitura delle varie superfici (tabella 3.4):

Fase	Tempi	Secondi
Tornitura	Tempi attivi	276
	Tempi passivi	360
	Tempi cambio utensile	194
Foratura	Tempi attivi	124
	Tempi passivi	460
	Tempi cambio utensile	40
Stozzatura	Tempi attivi	6
	Tempi passivi	180
	Tempi cambio utensile	35

Tabella 3.4 – Tempi lavorazione singolo pezzo

Attraverso i tempi precedentemente calcolati si effettua la seguente stima dei costi:

COSTO UTENSILI				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
	n°	€	€	
inserti tornitura	16	3	48,00	
punte foratura	8	30	240,00	
inserto stozzatura	1	40	40,00	
Tot. Costo Utensili			328,00	
COSTO MANODOPERA				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
	h	€	€	
Manodopera tornitura	24	35	840,00	
Manodopera foratura	18	35	630,00	
Manodopera stozzatura	7	35	245,00	
Tot. Costo Manodopera			1715,00	
COSTO ENERGIA				
Descrizione	Quantità	Prezzo unitario	Importo totale	Note
	KWh	€	€	
Tornio	7,5	0,48	86,40	24 ore di lavoro
Fresatrice	3,75	0,48	32,40	18 ore di lavoro
Stozzatrice	2,2	0,48	7,39	7 ore di lavoro
Macchine varie (paranco ecc.)	1	0,48	23,52	49 ore di lavoro
Tot. Costo Energia			149,71	
COSTI MATERIALI E CONSUMI SECONDARI				
Descrizione			Importo totale €	Note
10% in più dei costi precedenti			219,27	
ALTRI COSTI INDIRETTI				
Descrizione			Importo totale €	Note
30% in più dei costi diretti			723,59	
COSTI TOTALI				
Stima dei costi di produzione			Importo totale	Note
			€	
Costo di produzione di un lotto			3135,58	102 pezzi
Costo di produzione singolo pezzo			30,74	
Utile lordo +15%			4,61	
Prezzo finale di produzione singolo pezzo			35,35	

||| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

M. Santochi e F. Giusti, "Tecnologia Meccanica e studi di lavorazione" 2° Edizione, Ed. Ambrosiana, 2000.

Prof. Francesco Veniali, "Dispense di Tecnologia Meccanica", A.A. 2008/09.

Stromag Italia, "Catalogo Giunto Periflex per accoppiamento albero-albero", <http://www.stromag.it>, 2009.

Sandvik Coromant, "Catalogo generale 2009", <http://www.coromant.sandvik.com/it>

Ing. Francesca Campana, "Dispense Disegno di Macchine", A.A. 2008/09.

Norme UNI - Ente nazionale italiano di unificazione.

