UNIVERSITÀ DI PISA
SCUOLA DI INGEGNERIA

PROGETTO DI TECNOLOGIA MECCANICA



IL MOTORE WANKEL

Autori:
Cabiddu Fabio
Ciliberti Michele
Minosi Daniele
Romanella Nicolas

Docenti:
Prof. Dalle Mura
Prof. Dini Gino
Prof. Santochi Marco

A.A. 2019/2020

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE 3

1.1 STORIA 3
1.2 FUNZIONAMENTO 4
ALLEGATI 4

2 ROTOR HOUSING 5

2.1 PROCESSO DI FUSIONE 5
2.2 SCELTA DEL MATERIALE 5
2.3 SCELTA DEL PIANO DIVISORIO 6
2.4 ASSEGNAZIONE DEI SOVRAMETALLI E RIEMPIMENTO DEI VUOTI 7
2.5 RITIRO DEL GETTO 9
2.6 SCELTA DEL MATERIALE DEL MODELLO 9
2.7 ANGOLI DI SFORMO 10
2.8 RAGGI DI RACCORDO 11
2.9 PROGETTAZIONE DELLE ANIME 11
2.10 CALCOLO DEI MODULI DI RAFFREDDAMENTO 12
2.11 ANALISI E COMMENTO DEI MODULI 16
2.12 ANALISI ASSISTITA DAL SIMULATORE DELLA SOLIDIFICAZIONE DEL GREGGIO 17
2.13 SISTEMA DI DISTRIBUZIONE TERMICA 18
2.14 DIMENSIONAMENTO, POSIZIONAMENTO E VERIFICA DELLE MATEROZZE 19
2.15 COLLARI DI ATTACCO 20
2.16 SIMULAZIONE ASSISTITA CON SOLIDCAST 20
2.17 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI COLATA 21
2.18 CALCOLO DELLA SPINTA METALLOSTATICA 23
ALLEGATI 23

3 ECCENTRIC SHAFT 24

3.1 LAVORAZIONE AL TORNIO 24
3.2 STRUMENTAZIONE EXTRA 24
3.3 SCELTA DEI MATERIALI 25
3.4 SCELTA DEGLI UTENSILI 26
3.5 INSERTI E PUNTE 26
3.6 UTENSILI E ADATTATORI 28
3.7 PART PROGRAM 31
3.8 SOTTOFASI *10 A, 10 B* 32
3.9 SOTTOFASI *10 C, 10 D* 33
3.10 ALTRE VERSIONI 34
3.11 POTENZA E TEMPI DI LAVORAZIONE 34
ALLEGATI 35

4 STATIONARY GEAR 36

4.1 PROCESSO DI LAVORAZIONE 36
4.2 SCELTA DEI MATERIALI 36
4.3 SCELTA DELLE MACCHINE UTENSILI 37
4.4 SCELTA DEGLI UTENSILI 37
4.5 INSERTI E PUNTE 37
4.6 UTENSILI E ADATTATORI 38
4.7 POTENZA E TEMPI DI LAVORAZIONE 39
ALLEGATI 39

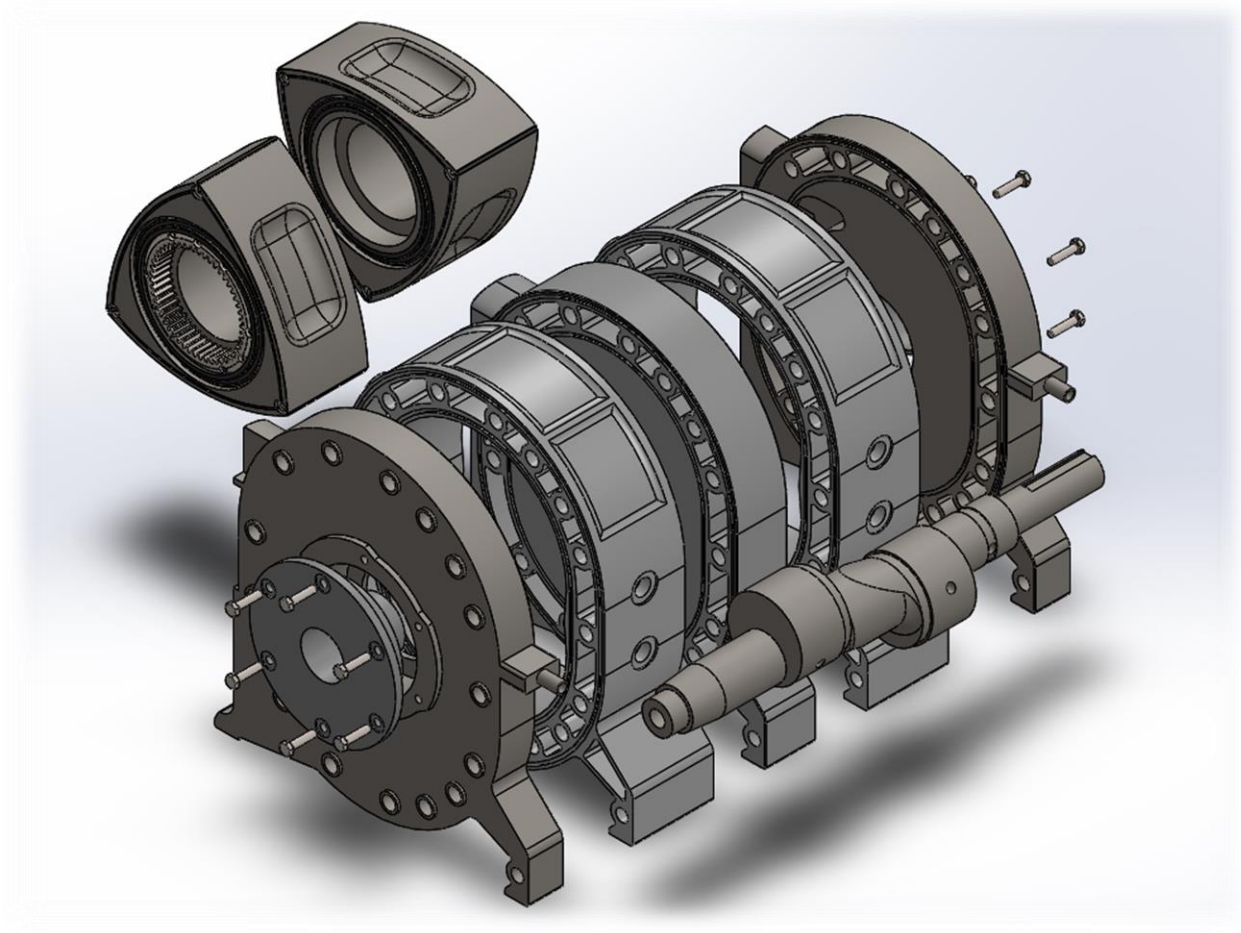
1 INTRODUZIONE

1.1 STORIA

Il motore Wankel è un motore a combustione interna rotativo, presentato da Felix Wankel nel 1957 grazie alla collaborazione con il dott. Froede, capo tecnico della NSU. La prima vettura azionata da un simile motore fu, nel 1963, la NSU Spider; nonostante il monorotore avesse una cilindrata di soli 498 cm^3 sviluppava una potenza di 50 CV e spingeva l'auto a oltre 150 km/h. Negli anni successivi NSU sviluppò questo tipo di propulsore assieme a Citroën: una sperimentazione su vasta scala infatti fu condotta dalla stessa Citroën tra il 1970 e il 1971, con l'introduzione della vettura M35. L'Alfa Romeo sperimentò il motore Wankel: con una sala prova motori si sperimentava la versione birotore di 2200 cm^3 in studi che durarono alcuni anni. Le ricerche furono abbandonate nel 1975 dopo che all'ente di ricerca si convinsero che nemmeno applicando l'iniezione elettronica era possibile avvicinarsi ai livelli di inquinamento raggiungibili con i motori alternativi.

Ad oggi è la casa automobilistica Mazda che da oltre trent'anni porta avanti lo studio e lo sviluppo di motori rotativi ad alte prestazioni. L'ultima applicazione è sulla vettura Mazda RX-8 con un birotore denominato *Renesis* (fusione delle iniziali di Rotary Engine e della parola Genesis) con cilindrata complessiva di 1.308 cm^3, in grado di sviluppare una potenza di 231 CV (170 kW) a 8.500 giri/min e una coppia massima di 211 N·m a 5.500 giri/min. È, a tutt'oggi, l'ultima evoluzione del motore di derivazione Wankel.

Esistono nel mondo piccole aziende specializzate che progettano e producono motori Wankel per applicazioni sia in campo terrestre, sia navale, sia aeronautico. Queste aziende sfruttano la modularità nell'accoppiamento tra più rotori Wankel per avere in catalogo varie tipologie di motori con potenze che possono andare da 40 a oltre 300 CV solo accoppiando due o più rotori dello stesso tipo. Ne consegue una notevole flessibilità e semplicità costruttiva, molto apprezzata per il basso costo di progettazione, produzione e assemblaggio.



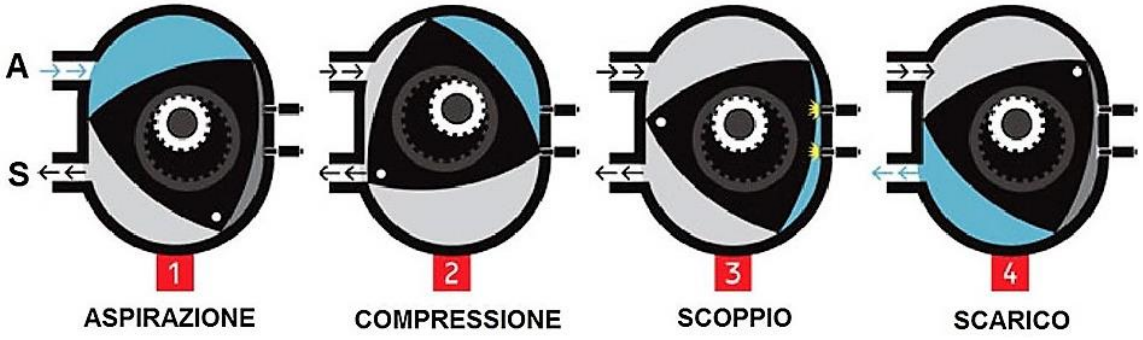
1.2 FUNZIONAMENTO

l principio di funzionamento del Wankel è singolare: un rotore a tre lobi ruota eccentricamente intorno all'albero motore, generando con il suo movimento camere di lavoro, all'interno delle quali si compiono ciclicamente le quattro "classiche" fasi di aspirazione, compressione, combustione, scarico. Girando all'interno della carcassa con un particolare movimento orbitante, il rotore forma tre camere, il cui volume varia ciclicamente: nelle 3 camere si compiono contemporaneamente 3 cicli Otto a quattro tempi, sfasati tra loro di 120°. Al centro del rotore è calettata una ruota dentata a denti interni (corona rotorica) che ingrana con una ruota a denti esterni solidale alla piastra di chiusura dello statore (pignone statorico) e coassiale con i perni di banco dell'albero motore; la corona rotorica rotola sul pignone senza strisciare su di essa. Il rotore presenta un foro centrale dotato di una grossa bronzina anulare nel quale ruota un eccentrico cilindrico calettato sull'albero motore.

Guarda come funziona un motore Wankel

La fase di aspirazione della miscela aria-benzina incomincia quando il volume della camera in cui sbocca il condotto di aspirazione incomincia ad aumentare, creando così una depressione che richiama la miscela all'interno della camera statorica. Proseguendo nel suo movimento, il rotore provoca una riduzione dello spazio compreso tra la sua parete e quella dello statore, cosicché la miscela aspirata viene compressa. Quando la compressione ha raggiunto il valore ottimale, scocca la scintilla attraverso gli elettrodi della candela; ha così inizio la fase di combustione e, quindi, l'espansione dei gas; il conseguente aumento di pressione fa sì che delle forze agiscano sul rotore costringendolo a proseguire nel suo moto rotatorio. Terminata la fase di espansione si ha un'altra riduzione di volume durante la quale i gas combusti vengono spinti fuori del motore attraverso il condotto di scarico. Le pressioni che vengono esercitate sul rotore dai gas in espansione sono trasmesse tramite l'eccentrico sull'albero motore, che, quindi, viene trascinato in rotazione.

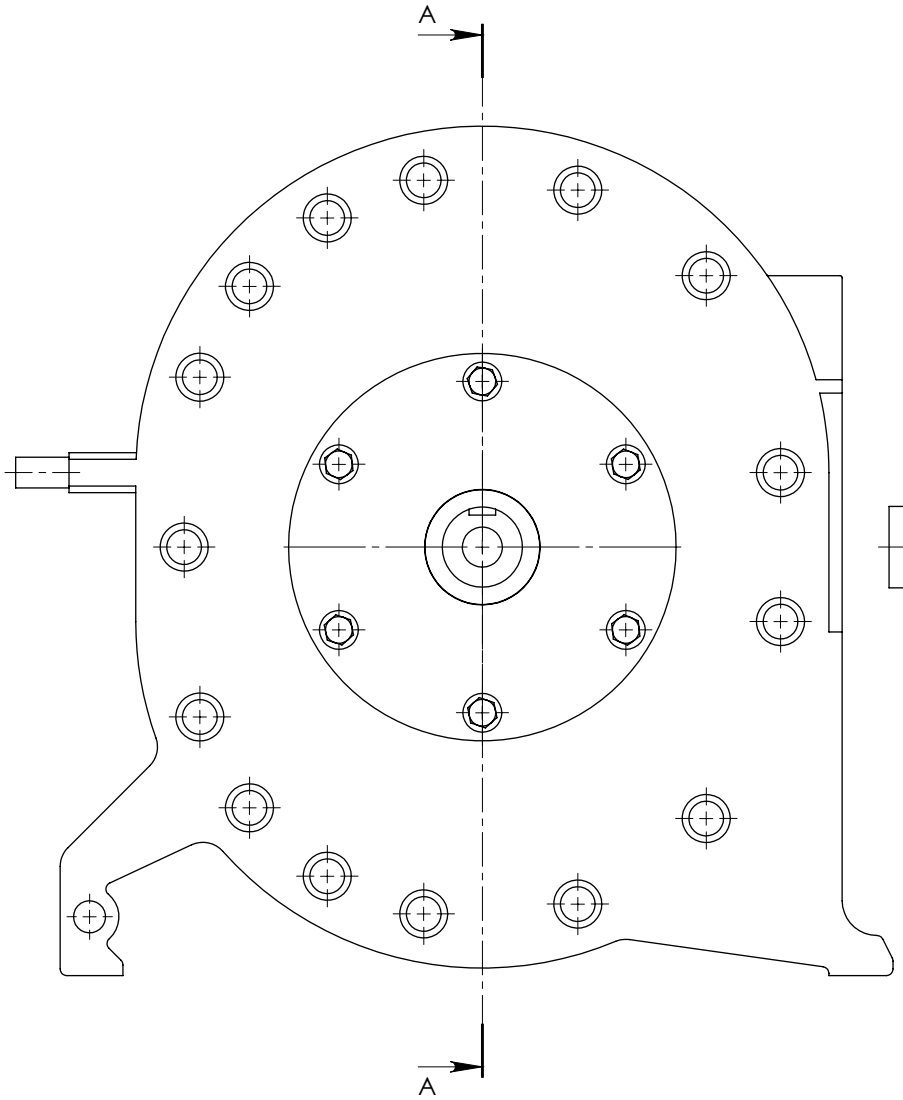
Al pignone statorico è demandato il compito di costringere il rotore a seguire un'orbita eccentrica, tale da garantire il contatto costante degli elementi di tenuta apicali (denominati *Apex*) contro le pareti interne dello statore. Dall'albero motore il moto passa direttamente al gruppo frizione e quindi al cambio, da dove viene trasmesso alle ruote motrici.

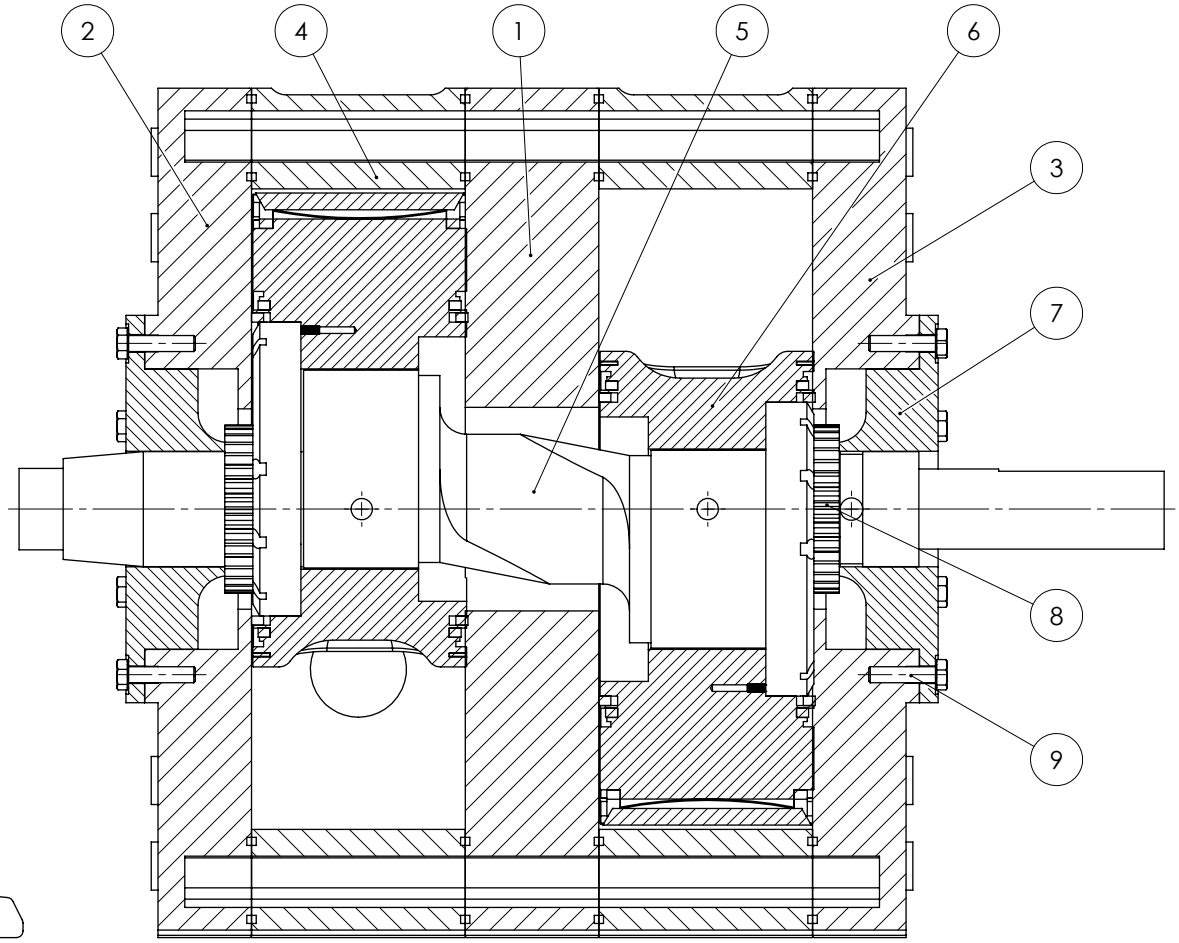


Fasi del funzionamento di un motore Wankel

ALLEGATI

1. Disegno del complessivo





SEZIONE A-A
SCALA 1 : 2

N°	Componente	Materiale	QTÀ
1	Center Plate	UNI ISO 5007 G25	1
2	Front Plate	UNI ISO 5007 G25	1
3	Rear Plate	UNI ISO 5007 G25	1
4	Rotor Housing	UNI ISO 5007 G25	2
5	Eccentric Shaft	30NiCrMo12	1
6	Rotor Assembly		2
7	Stationary Gear	39NiCrMo3	2
8	ISO Spur gear 1.75M	C45	2
9	ISO 4018 M6 x 25		12

Università di Pisa
Scuola di ingegneria

Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa
Telefono: +39 050 221 7000
Email: scuola.ingegneria@unipi.it

Scala:	Foglio:	A.A.: 2019/2020	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella
1 : 2	1 / 1	Data: 18/07/20	
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m		Ingegneria Meccanica, triennale
Denominazione:	Wankel Engine		Materiale: n.d.

2 ROTOR HOUSING

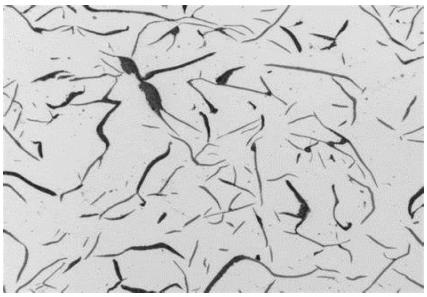
2.1 PROCESSO DI FUSIONE

In funzione di direttive didattiche è stato scelto il metodo di formatura in forma transitoria. Questo metodo è caratterizzato dal fatto che ogni forma può essere utilizzata per una sola colata e viene distrutta al momento dell'estrazione del greggio. È da precisarsi che in una realtà industriale non si opterebbe per una fusione in sabbia ma per una colata in conchiglia a gravità.

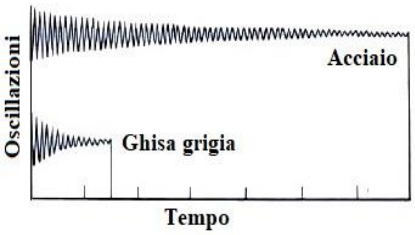
2.2 SCELTA DEL MATERIALE

Per la realizzazione del blocco motore si opta per l'utilizzo di una ghisa grigia, materiale dotato di buono smorzamento di rumore e vibrazioni, consigliabile per quelle applicazioni dove si richiede equilibrio tra caratteristiche meccaniche e facilità di lavorazione. La ghisa grigia, o ghisa lamellare, ha una struttura composta da lamine di grafite fine interdendritica di tipo "D" e "E". In linea generale la struttura è principalmente perlitica con meno del 30% di ferrite. Le aree perimetrali del getto sono invece principalmente ferritiche con 10 ÷ 20 % di perlite e possono contenere fino al 5% di fini carburi dispersi; questa differenza è dovuta ai diversi tempi di solidificazione. Per questa ghisa è fortemente raccomandato evitare trattamenti termici come la tempra.

Nel caso in analisi si adotta specificamente la ghisa G25, nominata secondo la norma UNI ISO 5007 riconosciuta in Italia; per eventuali corrispondenze con altre normative si veda in tabella sottostante.



Micrografia ottica di ghisa grigia G25
www.dijkkamp.nl/en/materials/gg25-en-gjl-250/



Smorzamento delle oscillazioni nel tempo.
www.slideshare.net/usman31/tutorial-ihm

CORRISPONDENZE PER G25 (UNI ISO 5007):		*[NAZIONE]*
UNI ISO 5007	G25	[IT]
EURONORM 16482	GJL-250	[EU]
DIN 1691	GG-25	[DE]
AFNOR A32 - 101	FGL 250	[FR]
BS 1452	Gr.260	[UK]
ASTM A48	Class 35	[US]
GB 9439	HT250	[CH]
ANALISI CHIMICA INDICATIVA:		
CARBONIO	*C*	2,9 ÷ 3,65 %
SILICIO	*Si*	1,8 ÷ 2,9 %
MANGANESE	*Mn*	0,4 ÷ 0,7 %
FOSFORO	*P*	0,3 % max
NICHEL	*Ni*	0,1 %
ZOLFO	*S*	0,1 % max
CROMO	*Cr*	0,03 %
FERRO	*Fe*	Rimanente
PROPRIETÀ MECCANICHE:		
RESISTENZA A TRAZIONE	250 N/mm2	
RESISTENZA A COMPRESSIONE	950 N/mm2	
MODULO DI ELASTICITÀ	110 kN/mm2	
DUREZZA BRINELL	180-240 Kg/mm2	

I dati forniti sono consultabili nei seguenti cataloghi/schede tecniche:

Trevigiana Metalli S.r.l.

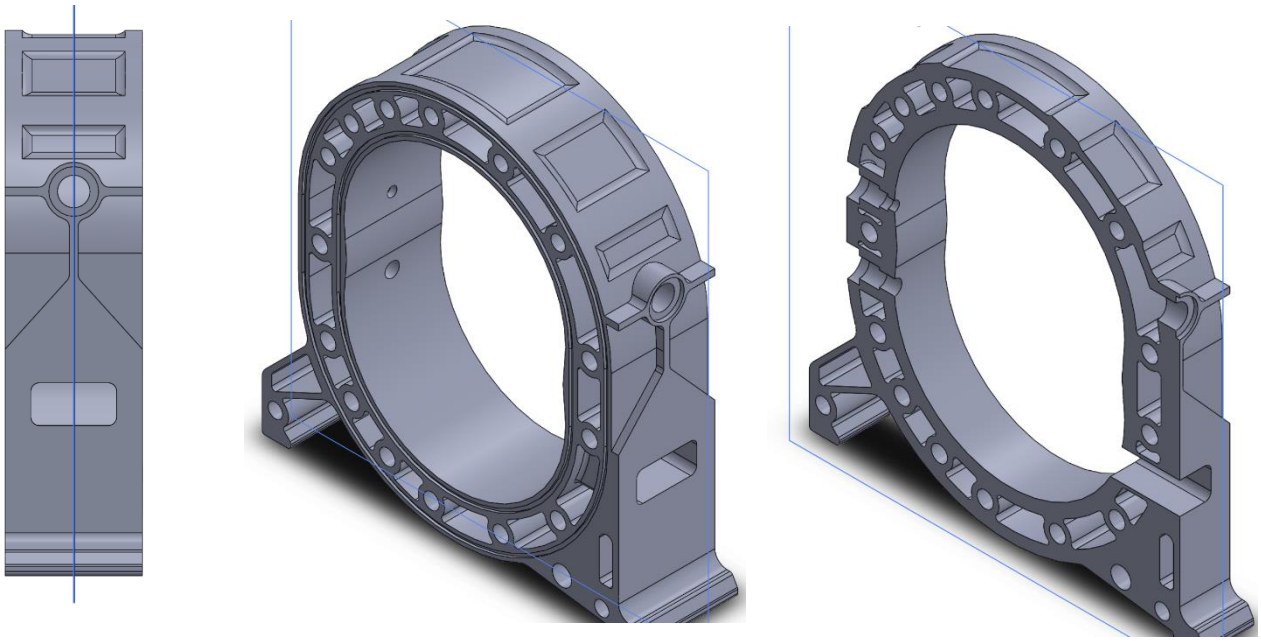
Trevigiana Metalli opera dal 1982 nel settore della distribuzione e nel taglio di leghe metalliche. I prodotti che trattano rientrano nelle seguenti categorie: acciai da costruzione, acciai da utensili, acciai inossidabili, ghisa, alluminio, bronzo, ottone e rame.
http://trevigianametalli.it/wp-content/uploads/2017/02/scheda-tecnica-GHISA-G25.pdf

Musola Metalli S.r.l.

Musola Metalli s.r.l. opera nel settore dei metalli non ferrosi da oltre quarant'anni. Nata e cresciuta con passione per merito del signor Luigi Musola, fondatore, è maturata e si è evoluta fino a diventare un'importante realtà nel Triveneto, pur conservando le peculiarità e le tradizioni di un'azienda a carattere familiare. Con l'ottenimento della certificazione del proprio Sistema di Gestione Qualità, l'azienda si propone come partner affidabile nella fornitura di semilavorati metallici non ferrosi, termoplastici, ghisa e particolari finiti.
https://www.venditaghisa.it/images/documenti/catalogo-generale-ghisa.pdf

2.3 SCELTA DEL PIANO DIVISORIO

La scelta del piano di divisione del pezzo in due semiforme viene effettuata cercando di eliminare o quanto meno ridurre i problemi di sottosquadro. Il piano di divisione scelto per la sede motore è mostrato nelle figure sottostanti e divide il pezzo in due metà speculari. La scelta è giustificata dal fatto che si tratti di un piano che non presenta sottosquadri tranne che per quelli presenti sulla superficie semicilindrica superiore (i cassettoni per l'alleggerimento del peso) che saranno ottenuti con l'utilizzo di tasselli da incorporare nelle staffe.

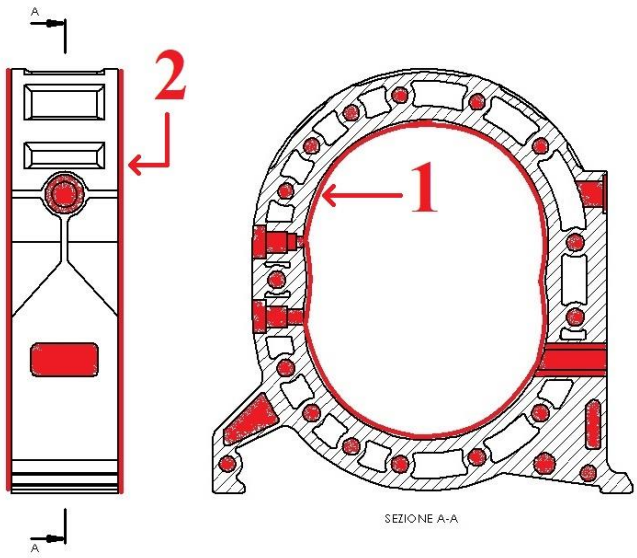


2.4 ASSEGNAZIONE DEI SOVRAMETALLI E RIEMPIMENTO DEI VUOTI

L'esigenza di prevedere i sovrametalli nasce dal fatto che la maggior parte dei procedimenti di fusione non permette di ottenere superfici con una qualità macro e micro-geometrica tale da soddisfare in pieno le esigenze funzionali del progetto. La qualità richiesta è ottenuta mediante lavorazioni successive alle macchine utensili mediante asportazione di truciolo. L'entità del sovrametallo da prevedere su ogni superficie è un compromesso tra due esigenze: una di carattere economico, che tende a ridurre al minimo tale sovrametallo al fine di ridurre al minimo i tempi di lavorazione e gli sprechi di materiale e di energia, e una di carattere tecnologico, che tende a garantire un margine di sicurezza nei confronti di errori di formatura, difetti superficiali e ritiri difficilmente prevedibili. Esistono, tuttavia, tabelle in cui sono riportati dei valori orientativi. In ogni caso il progettista è libero di scegliere lo spessore dei sovrametalli, sempre che sia garantito il compromesso tra carattere economico e tecnologico.

Nel caso specifico in esame la scelta dei sovrametalli si riduce ai seguenti elementi:

1. Contornatura interna della camera d'alloggiamento per il rotore:
   Questa necessità deriva dal fatto che la superficie interna sarà una superficie di scorrimento per gli Apex del rotore, essa deve garantire un'elevata precisione di realizzazione in quanto dalla sua corretta realizzazione dipende il buon funzionamento del motore stesso. Si può già anticipare che le luci del collettore di scarico e dei due fori delle candele saranno zone soggetta ad usura per sfregamento con gli Apex stessi, pertanto nella scelta del sovrametallo sarà opportuno prevedere un cospicuo spessore al fine di garantire la presenza di composizione perlitica (Vedi: "Scelta del materiale"), più resistente a fenomeni d'usura.



2. Superfici piane principali:
   Queste due superfici si accoppiano nel complessivo con altri elementi del motore. Per il corretto funzionamento del complessivo è necessario che le superfici siano realizzate con un'ottima planarità, al fine di garantire la massima adesione con i pezzi adiacenti e il buon funzionamento delle guarnizioni di tenuta.

3. Riempimento delle cavità:
   Nel motore si possono distinguere due generi di cavità: cavità ottenute mediante anime o tasselli e cavità ottenute con processi d'asportazione di truciolo, che sono: alloggiamenti candele, collettore di scarico, foro laterale per passaggio d'aria, tasche per l'alleggerimento dei pesi e fori passanti per viti di tenuta. Per quanto riguarda le cavità da ottenere con lavorazioni successive si procede al loro riempimento totale. Si fa notare che in caso contrario si sarebbe incorsi nella realizzazione di alcuni spessori troppo sottili da poter essere ottenuti immediatamente per fusione.

Fatta eccezione per il riempimento totale delle cavità appena descritte, negli altri casi 1. e 2. si tratta di applicare sovrametalli a superfici funzionali, quindi il riferimento per il dimensionamento dei soprametalli è effettuato a quote nominali che si definiscono "dimensioni critiche". In questo getto non ci sono da considerare dimensioni "non critiche", per le quali esistono altre tabelle con valori leggermente differenti da quelle per dimensioni critiche.

Per le dimensioni in analisi valgono le seguenti considerazioni:

Sovrametalli sulle dimensioni critiche di getti in ghisa grigia ottenuti per fusione in terra (AFNOR)					
Quote nominali di riferimento (mm)	Massima dimensione del pezzo (mm)				
	≤ 100	100 ÷ 160	160 ÷ 250	250 ÷ 630	630 ÷ 1000
≤ 16	2,5	2,5	2,5	3,5	4
16 ÷ 25	2,5	2,5	2,5	3,5	4
25 ÷ 40	2,5	2,5	2,5	4	4,5
40 ÷ 63	3	3	3	4	4,5
63 ÷ 100	3	3	3	4	4,5
100 ÷ 160	3	3	3	4,5	5
160 ÷ 250	3	3	3,5	4,5	5
250 ÷ 400	3	3	4	5	5,5

1. Contornatura interna della camera d'alloggiamento per il rotore:

Massima dimensione del pezzo	250 ÷ 630 mm
Quote nominali di riferimento	40 ÷ 63 mm
Valore soprametallo	4 mm

L'indicazione da normativa è quella di applicare un sovrametallo di 4 mm, tuttavia questa soluzione non soddisfa con sicurezza le necessità strutturali dovute ai processi di solidificazione (Vedi: "Scelta del materiale"), per le quali è necessario aumentare il sovrametallo a un valore di almeno 8 mm. Questa scelta avrà ripercussioni nello studio di solidificazione in quanto renderà la parte interna dell'alloggiamento del rotore una zona più calda rispetto a quella esterna.

2. Superfici piane principali:

Massima dimensione del pezzo	250 ÷ 630 mm
Quote nominali di riferimento	63 ÷ 100
Valore soprametallo	4 mm

L'indicazione da normativa è quella di applicare un sovrametallo di 4 mm, dal momento che non sono necessarie considerazioni da Ingegneria dei materiali, a differenza del punto 1., si applica la maggiorazione suggerita.

3. Riempimento delle cavità:

Come già definito si procede al riempimento totale.

2.5 RITIRO DEL GETTO

Nello studio di solidificazione va considerato anche il ritiro volumetrico del metallo fuso che avviene durante la solidificazione e il raffreddamento. Per convenzione delle tecniche da fonderia è uso considerare il ritiro lineare della ghisa e assegnarlo indiscriminatamente a tutte le quote del getto.

MATERIALE	RITIRO LINEARE (%) (1)		
	Getti piccoli (2)	Getti medi (2)	Getti grandi (2)
GHISA GRIGIA	1	0,85	0,7

(1) Il ritiro delle cavità è in genere un po' minore (5 ÷ 10 %) rispetto a quello delle superfici esterne a causa della resistenza che oppongono le anime alla libera contrazione del metallo.
(2) I "getti piccoli" comprendono getti con una dimensione massima s < 500 mm;
I "getti medi" comprendono getti con una dimensione massima 500 mm < s < 1000 mm;
I "getti grandi" comprendono getti con una dimensione massima s > 1000 mm.

Da considerazioni derivate dalla tabella si ricava che il ritiro del getto è di circa 1%, tuttavia come specificato dalle note in fondo tabella, l'elevata presenza di anime tenderebbe a contenere questo fenomeno. In ogni caso sarà considerato ugualmente il valore di 1 %, da intendersi come cautelativo.

Conseguentemente a quanto appena detto, tutte le dimensioni saranno maggiorate del 1%. Si precisa che la maggiorazione non avviene in maniera matematica: le quote modificate rispettano la fattibilità tecnologica del processo di realizzazione.

2.6 SCELTA DEL MATERIALE DEL MODELLO

In questo caso trattandosi della fusione di un pezzo meccanico abbastanza importante, è opportuno scegliere un materiale per il modello che conservi nel tempo le caratteristiche geometriche; per evitare costi troppo elevati di un modello metallico (comunque lecito in un'ottica di vasta produzione in serie) si opta per l'utilizzo di un modello in legno, nello specifico si suggerisce l'uso dell'Iroko: un legno molto rigido e poco sensibile variazioni di temperatura e umidità. Questo materiale era già noto nei secoli precedenti per la realizzazione di strumenti elettrotecnici di misura di precisione, come galvanometri, e oggi trova impego per realizzazione di mobili e parquet pregiati. Una scelta di poco superiore in qualità rispetto all'Iroko sarebbe il legno di Teak, migliore nella stabilità, tuttavia comporta costi troppo maggiori (+ 70 %) per giustificare un lieve incremento delle proprietà.



Un albero di Iroko, Tanzania

PROPRIETÀ DELL'IROKO	
RESISTENZA	Buona a flessione, discreta agli urti
DUREZZA	Medio-alta
DURABILITÀ	Ottima, indicato per esterni anche in ambienti umidi (nautica)
STABILITÀ	Alta, legno poco sensibile a variazioni di umidità e temperatura
POROSITÀ	Bassa, ideale per verniciatura con alto grado di finitura
LAVORABILITÀ	Buona

PER QUESTE E ALTRE INFORMAZIONI, FONTE: HTTPS://WWW.FAIDATE360.COM/LEGNO_IROKO.HTML

2.7 ANGOLI DI SFORMO

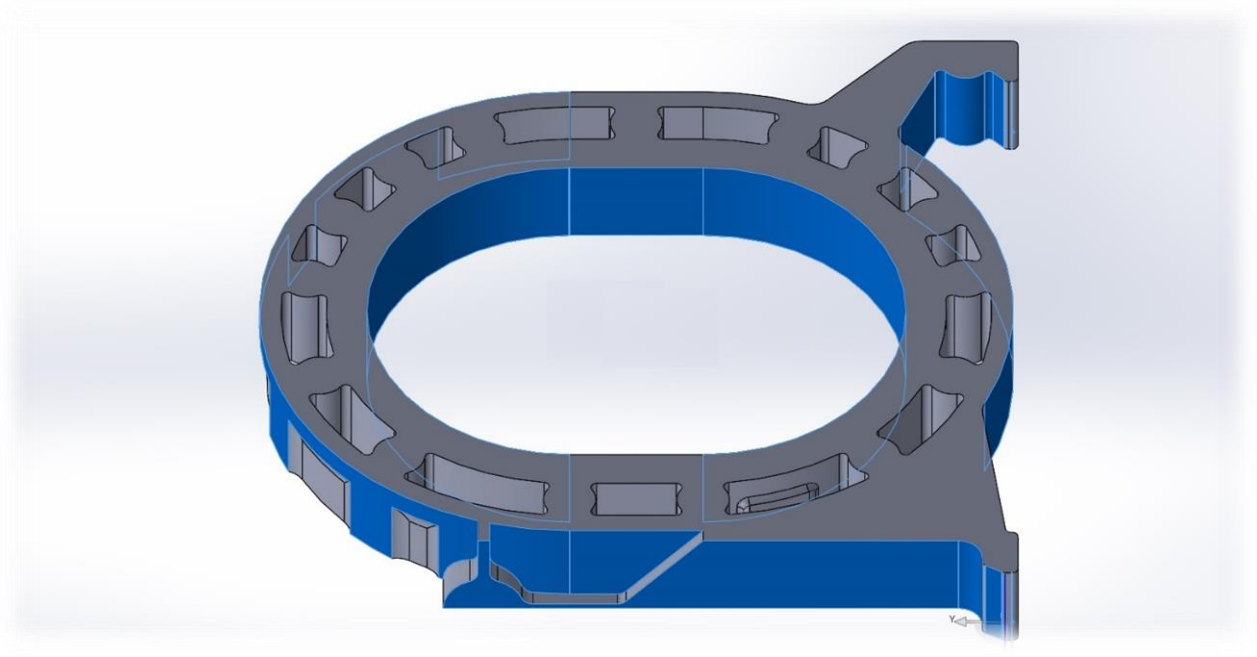
Per facilitare l'operazione di sformatura i modelli da fonderia sono costruiti in modo da eliminare o ridurre al minimo le superfici perpendicolari al piano di divisione. Questo si ottiene inclinando tali superfici di un piccolo angolo detto angolo di sformo, evitando così che, nel movimento di estrazione del modello, la superficie trattenga il materiale di formatura portandolo via.

È importante evidenziare che gli angoli di sformo modificheranno lievemente le dimensioni del greggio di fusione. Avendo già considerato il dimensionamento dei sovrametalli e il ritiro del getto, è fondamentale che la modifica della forma del greggio sia effettuata con l'aggiunta di materiale rispetto a quanto definito finora: l'aggiunta infatti è troppo piccola per modificare sensibilmente le considerazioni fatte, inoltre operando in condizioni di massimo materiale è in grado di rispettare le previsioni già definite.

I valori degli angoli di sformo dipendono dal materiale adottato, per questo in precedenza è stato definito il paragrafo "Scelta del materiale del modello". Nel caso di formatura in terra i valori sono riportati nella tabella seguente:

VALORI INDICATIVI DELL'ANGOLO DI SFORMO	
MODELLI IN LEGNO	1° - 2°
MODELLI METALLICI	30'
PORTATE D'ANIMA VERTICALI	10° - 12°
NERVATURE SOTTILI	1' – 2'

Nel caso in esame, adottando l'Iroko, si opta per applicare un angolo di sformo di 2° in tutte le superfici perpendicolari al piano di divisione, unica eccezione fatta per le nervature sottili. In immagine si ha un'idea generale di quali siano le superfici da sformare, riferite a metà greggio di fusione. Notare che le cavità nel greggio non sono state indicate in quanto ottenute mediante presenza di anime o tasselli.

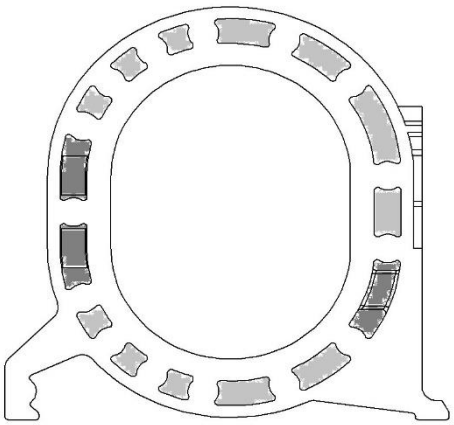


2.8 RAGGI DI RACCORDO

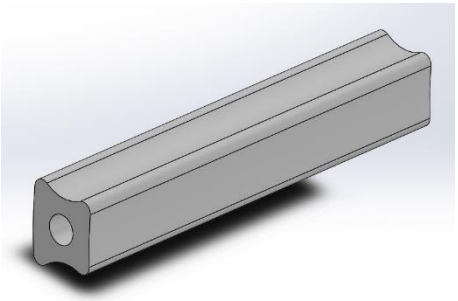
Nelle forme transitorie gli spigoli vivi della forma o delle anime non resisterebbero all'azione erosiva della lega che fluisce nella forma e le parti asportate andrebbero a costruire delle inclusioni non metalliche nel getto. Per questo motivo gli spigoli vivi devono essere assolutamente eliminati mediante raggi di raccordo. Nel caso in analisi, trattandosi di un mezzo meccanico importante, era già prevista l'assenza di spigoli vivi, tuttavia qualora si presentassero alcuni di nuova generazione in seguito alla divisione in 2 semimodelli, si adotta l'applicazione standard di raggio 1 mm per tutti i raggi di raccordo necessari.

2.9 PROGETTAZIONE DELLE ANIME

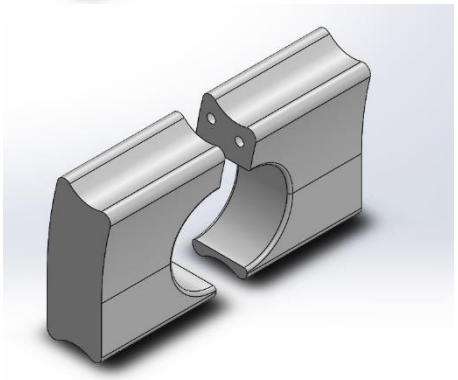
Per la realizzazione del pezzo è necessario adoperare un numero importante di anime. Il posizionamento di queste crea problemi dal punto di vista di precisione, in quanto si tratta di anime verticali che avranno sedi in staffe diverse. Per garantire la realizzazione con successo delle staffe sarà quindi necessario prevedere l'uso di opportune spine di centraggio tra staffa superiore e inferiore. Il progetto prevede l'utilizzo di due tipologie d'anime:

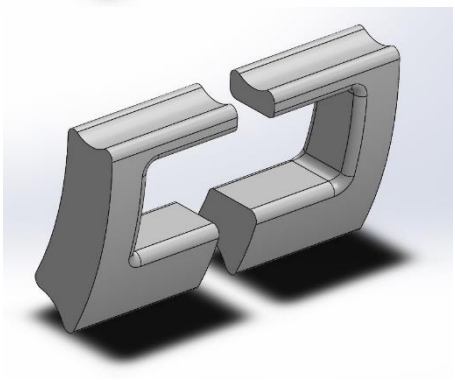


1. Anime semplici (Grigio chiaro in figura):
   Attraversano tutto il greggio in profondità e servono a realizzare dei vuoti passanti. Data l'importanza del pezzo da realizzare è fondamentale progettare tutte le anime con adeguati sistemi di rinforzo (se necessari) e canali si sfiato per l'aria per migliorare quanto possibile il deflusso di gas formati in fase di raffreddamento. Si opta per una soluzione standard che prevede di includere nelle anime l'uso di lanterne in acciaio, le quali hanno come scopo principale quello di creare un canale di fuga per i gas e, come effetto secondario, tendono ad irrigidire la struttura dell'anima. Per la disposizione dei canali si possono consultare i disegni tecnici in allegato.



2. Anime articolate (Grigio scuro in figura):
   Attraversano tutto il greggio e servono anche per realizzare i pieni in cui saranno successivamente ricavati gli alloggiamenti per le candele ed il collettore di scarico. Per queste forme più articolate si devono adottare soluzioni più raffinate, in quanto sono presenti delle nervature sottili esposte al rischio di cedimento. Per ovviare al problema si può adottare una lamina metallica da inserire nella struttura in terra da fonderia nelle zone più sottili a scopo di rinforzo, oppure si può procedere alla realizzazione delle anime in materiale metallico, più costose ma sicuramente affidabili.
   Per evitare rischi di scarto dei getti, si opta per l'adozione di anime in metallo. Queste sono da realizzarsi in acciaio legato INOX, con punto di fusione più alto della ghisa da colare. La scelta di un INOX inoltre previene il relativo rischio di fenomeni di microsaldatura locale tra getto fuso e anima. Il problema principale è che l'anima in acciaio è sicuramente impermeabile



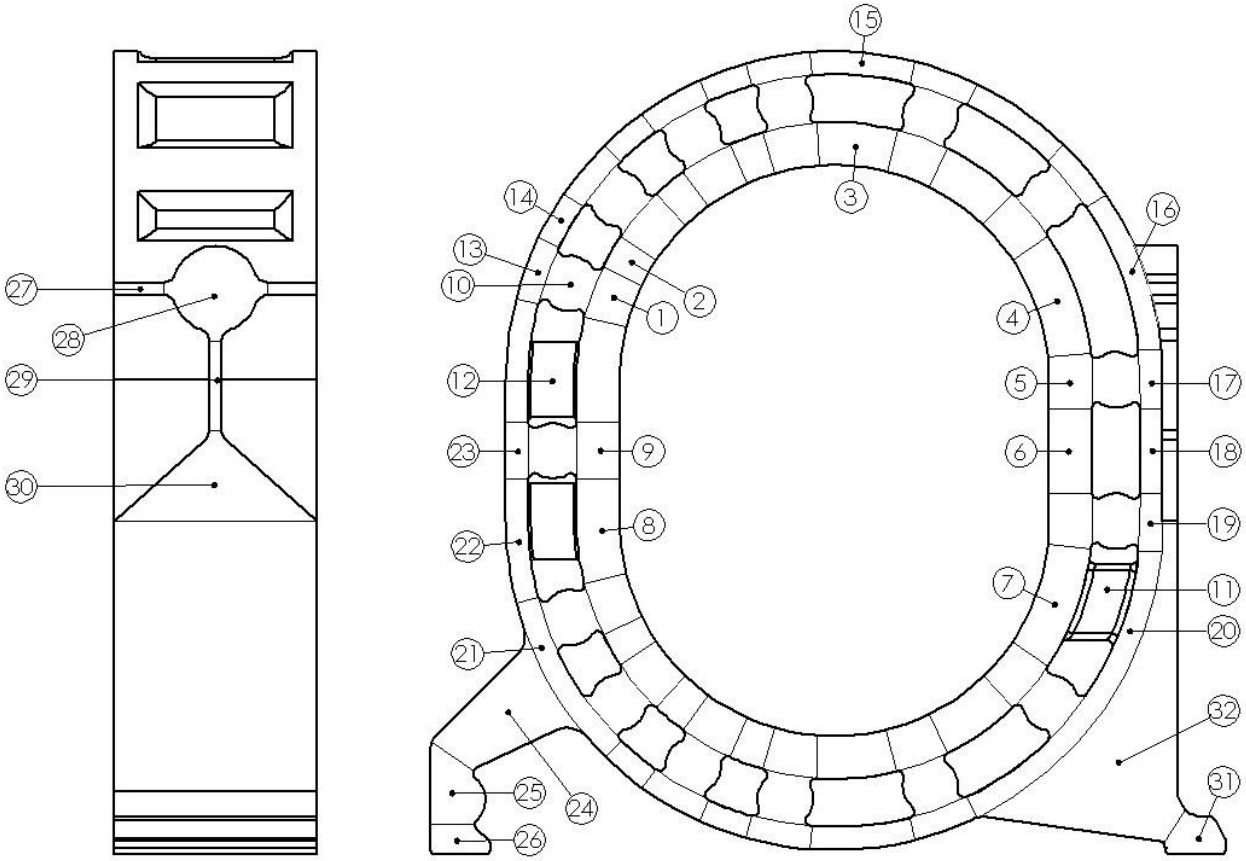


se paragonata a quelle in terra, per questo è fondamentale creare canali di sfiato in tutte le altre anime per garantire lo sfogo d'aria necessario al getto.
La realizzazione di anime in metallo infine consente di realizzarle in pezzi accoppiabili, cosicché una volta solidificato il getto sia possibile disaccoppiarli per liberare il greggio ottenuto.
Sfruttando le simmetrie del pezzo inoltre è possibile utilizzare componenti derivate da uno stesso progetto per entrambe le sedi delle candele, questo a vantaggio dei costi.

2.10 CALCOLO DEI MODULI DI RAFFREDDAMENTO

Tra i problemi più gravi da evitare in un processo di realizzazione per fusione c'è quello delle cavità di ritiro: porzioni di volume del greggio non occupate da metallo che rendono il prodotto da scartare. Per evitare l'inconveniente si prevede la presenza di materozze, ovvero serbatoi di metallo fuso durante il raffreddamento della colata. Per consentire la corretta alimentazione del greggio con metallo ancora allo stato liquido è necessario che proprio nelle materozze la lega solidifichi per ultima, ovvero che il gradiente termico sia diretto verso queste durante tutto il tempo di solidificazione. Per assicurarsi di questo e capire dove le materozze debbano essere collocate per garantire la protezione del pezzo è utile dividere idealmente il greggio in parti e procedere al calcolo, per ognuna di esse, del modulo termico, definito come il rapporto tra volume e superficie esposta al contatto con la terra da fonderia.

Di seguito sono riportati i valori (alcuni ottenuti con qualche approssimazione) di volume, superficie di scambio termico e modulo di raffreddamento per ognuna delle 32 parti designate nella figura sottostante.



1) $V_1 = (102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{12}{360} \cdot 80 = 26632\ mm^3$
$S_1 = \left(85 \cdot 2\pi \cdot \frac{12}{360} \cdot 80\right) + 2 \cdot \left((102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{12}{360}\right) = 2090\ mm^2$
$M_1 = 12{,}7\ mm$

2) $V_2 = (102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{8}{360} \cdot 80 = 17755\ mm^3$
$S_2 = \left[\left(85 \cdot 2\pi \cdot \frac{8}{360} + 102 \cdot 2\pi \cdot \frac{8}{360}\right) \cdot 80\right] + 2 \cdot \left((102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{8}{360}\right) = 2532\ mm^2$
$M_2 = 7{,}5\ mm$

3) $V_3 = (102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{18}{360} \cdot 80 = 39948\ mm^3$
$S_3 = \left(85 \cdot 2\pi \cdot \frac{18}{360} + 102 \cdot 2\pi \cdot \frac{18}{360}\right) \cdot 80 = 4700\ mm^2$
$M_3 = 8{,}5\ mm$

4) $V_4 = (102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{28}{360} \cdot 80 = 62141\ mm^3$
$S_4 = \left(85 \cdot 2\pi \cdot \frac{28}{360} + 102 \cdot 2\pi \cdot \frac{28}{360}\right) \cdot 80 = 7311\ mm^2$
$M_4 = 8{,}5\ mm$

5) $V_5 = \left\{\left[(102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{6}{360}\right] + [11 \cdot (102 - 85)]\right\} \cdot 80 = 28276\ mm^3$
$S_5 = \left[\left(85 \cdot 2\pi \cdot \frac{6}{360}\right) \cdot 80 + (11 \cdot 80)\right] = 1592\ mm^2$
$M_5 = 17{,}8\ mm$

6) $V_6 = 33 \cdot (102 - 85) \cdot 80 = 44880\ mm^3$
$S_6 = 33 \cdot 2 \cdot 80 = 5280\ mm^2$
$M_6 = 8{,}5\ mm$

7) $V_7 = V_4 = (102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{28}{360} \cdot 80 = 62141\ mm^3$
$S_7 = 85 \cdot 2\pi \cdot \frac{28}{360} \cdot 80 + 102 \cdot 2\pi \cdot \frac{28}{360} \cdot 30 + 102 \cdot 2\pi \cdot \frac{8}{360} \cdot 55 = 5602\ mm^2$
$M_7 = 11{,}1\ mm$

8) $V_8 = \left\{\left[(102^2 - 85^2) \cdot \pi \cdot \frac{14}{360}\right] + [17 \cdot (102 - 85)]\right\} \cdot 80 = 55123\ mm^3$
$S_8 = \left[(85 + 102) \cdot 2\pi \cdot \frac{14}{360} \cdot 80\right] + (2 \cdot 17 \cdot 80) - (15 \cdot 2\pi) = 6010\ mm^2$
$M_8 = 9{,}8\ mm$

9) $V_9 = 23 \cdot (102 - 85) \cdot 80 = 31280\ mm^3$
$S_9 = 23 \cdot 80 = 1840\ mm^2$
$M_9 = 17\ mm$

10) $V_{10} = 11^2 \cdot \pi \cdot 80 = 30410\ mm^3$
$S_{10} = \left(11 \cdot 2\pi \cdot \frac{160}{360} \cdot 80\right) + 2 \cdot (11^2 \cdot \pi) = 3217 mm^2$
$M_{10} = 9{,}5\ mm$

11) $V_{11} = 30 \cdot 55 \cdot 19 = 31350\ mm^3$
$S_{11} = 2 \cdot (30 + 55) \cdot 19 = 3230\ mm^2$
$M_{11} = 9{,}7\ mm$

12) $V_{12} = 15^2 \cdot \pi \cdot 19 = 13430\ mm^3$

$S_{12} = 15 \cdot 2\pi \cdot 19 = 1791\ mm^2$
$M_{12} = 7{,}5\ mm$

13) $V_{13} = (130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{12}{360} \cdot 80 = 18925\ mm^3$
$S_{13} = 130 \cdot 2\pi \cdot \frac{12}{360} \cdot 80 = 2178\ mm^2$
$M_{13} = 8{,}6\ mm$

14) $V_{14} = (130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{8}{360} \cdot 80 = 12617\ mm^3$
$S_{14} = \left(130 \cdot 2\pi \cdot \frac{8}{360} + 121 \cdot 2\pi \cdot \frac{8}{360}\right) \cdot 80 = 2804\ mm^2$
$M_{14} = 4{,}5\ mm$

15) $V_{15} = (130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{18}{360} \cdot 80 = 28387\ mm^3$
$S_{15} = \left(130 \cdot 2\pi \cdot \frac{18}{360} + 121 \cdot 2\pi \cdot \frac{18}{360}\right) \cdot 80 = 6308\ mm^2$
$M_{15} = 4{,}5\ mm$

16) $V_{16} = (130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{28}{360} \cdot 80 = 44158\ mm^3$
$S_{16} = \left[\left(130 \cdot 2\pi \cdot \frac{28}{360} + 121 \cdot 2\pi \cdot \frac{28}{360}\right) \cdot 80\right] - [17^2 \cdot \pi + 3(5 \cdot 19)] = 8620\ mm^2$
$M_{16} = 5{,}1\ mm$

17) $V_{17} = \left\{\left[(130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{6}{360}\right] + [11 \cdot (130 - 121)]\right\} \cdot 80 = 8038\ mm^3$
$S_{17} = \left[\left(130 \cdot 2\pi \cdot \frac{6}{360}\right) + 11\right] \cdot (80 - 5) = 1846\ mm^2$
$M_{17} = 4{,}6\ mm$

18) $V_{18} = 33 \cdot (130 - 121) \cdot 80 = 23760\ mm^3$
$S_{18} = (2 \cdot 33 \cdot 80) - [(5 \cdot 10) + (40 \cdot 20 : 2)] = 4830\ mm^2$
$M_{18} = 4{,}9\ mm$

19) $V_{19} = V_{17} = 8038\ mm^3$
$S_{19} = (11 \cdot 80) - (80 + 58) \cdot \frac{11}{2} = 121\ mm^2$
$M_{19} = 66{,}4\ mm$

20) $V_{20} = (130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{60}{360} \cdot 80 = 94625\ mm^3$
$S_{20} = \left(130 \cdot 2\pi \cdot \frac{60}{360} \cdot 80\right) - \left[\left(121 \cdot 2\pi \cdot \frac{12}{360} \cdot 80\right) + (30 \cdot 55)\right] = 7213\ mm^2$
$M_{20} = 13{,}1\ mm$

21) $V_{21} = (130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{30}{360} \cdot 80 = 47312 mm^3$
$S_{21} = \left(121 \cdot 2\pi \cdot \frac{8}{360} \cdot 80\right) + 2\left((130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{30}{360}\right) = 2534\ mm^2$
$M_{21} = 18{,}7\ mm$

22) $V_{22} = \left\{\left[(130^2 - 121^2) \cdot \pi \cdot \frac{14}{360}\right] + [17 \cdot (130 - 121)]\right\} \cdot 80 = 36675\ mm^3$
$S_{22} = \left[(121 + 130) \cdot 2\pi \cdot \frac{14}{360} \cdot 80\right] + (2 \cdot 17 \cdot 80) - (15 \cdot 2\pi) = 7532\ mm^2$

$M_{22} = 4{,}9\ mm$

23) $V_{23} = 23 \cdot (130 - 121) \cdot 80 = 16560\ mm^3$
$S_{23} = 23 \cdot 80 = 1840\ mm^2$
$M_{23} = 9\ mm$

24) $V_{24} = (34 + 20) \cdot \frac{45}{2} \cdot 80 = 97200\ mm^3$
$S_{24} = [(34 + 20) \cdot 80] + [(34 + 20) \cdot 45] = 6750\ mm^2$
$M_{24} = 14{,}4\ mm$

25) $V_{25} = (30 + 21) \cdot \frac{17}{2} \cdot 80 = 34680\ mm^3$
$S_{25} = (30 + 21) \cdot 80 = 4080\ mm^2$
$M_{25} = 8{,}5\ mm$

26) $V_{26} = (24 + 18) \cdot \frac{12}{2} \cdot 80 = 20160\ mm^3$
$S_{26} = (24 + 12 + 12 \cdot 0{,}7071) \cdot 80 = 3559\ mm^2$
$M_{26} = 5{,}7\ mm$

27) $V_{27} = 5 \cdot 19 \cdot 11 = 1045\ mm^3$
$S_{27} = 2 \cdot 19 \cdot 11 = 418\ mm^2$
$M_{27} = 2{,}5\ mm$

28) $V_{28} = 17^2 \cdot \pi \cdot 11 = 9987\ mm^3$
$S_{28} = (17 \cdot 2\pi \cdot 11) + (17^2 \cdot \pi) = 2082{,}9\ mm^2$
$M_{28} = 4{,}8\ mm$

29) $V_{29} = 5 \cdot 35 \cdot 6 = 1050\ mm^3$
$S_{29} = 2 \cdot 35 \cdot 6 = 420\ mm^2$
$M_{29} = 2{,}5\ mm$

30) $V_{30} = 80 \cdot 36 : 2 \cdot 6 = 8640\ mm^3$
$S_{30} = 80 \cdot 36 : 2 = 1440\ mm^2$
$M_{30} = 6\ mm$

31) $V_{31} = (12 + 24) \cdot \frac{15}{2} \cdot 80 = 21600\ mm^3$
$S_{31} = (12 + 24 + 18) \cdot 80 = 4320\ mm^2$
$M_{31} = 5\ mm$

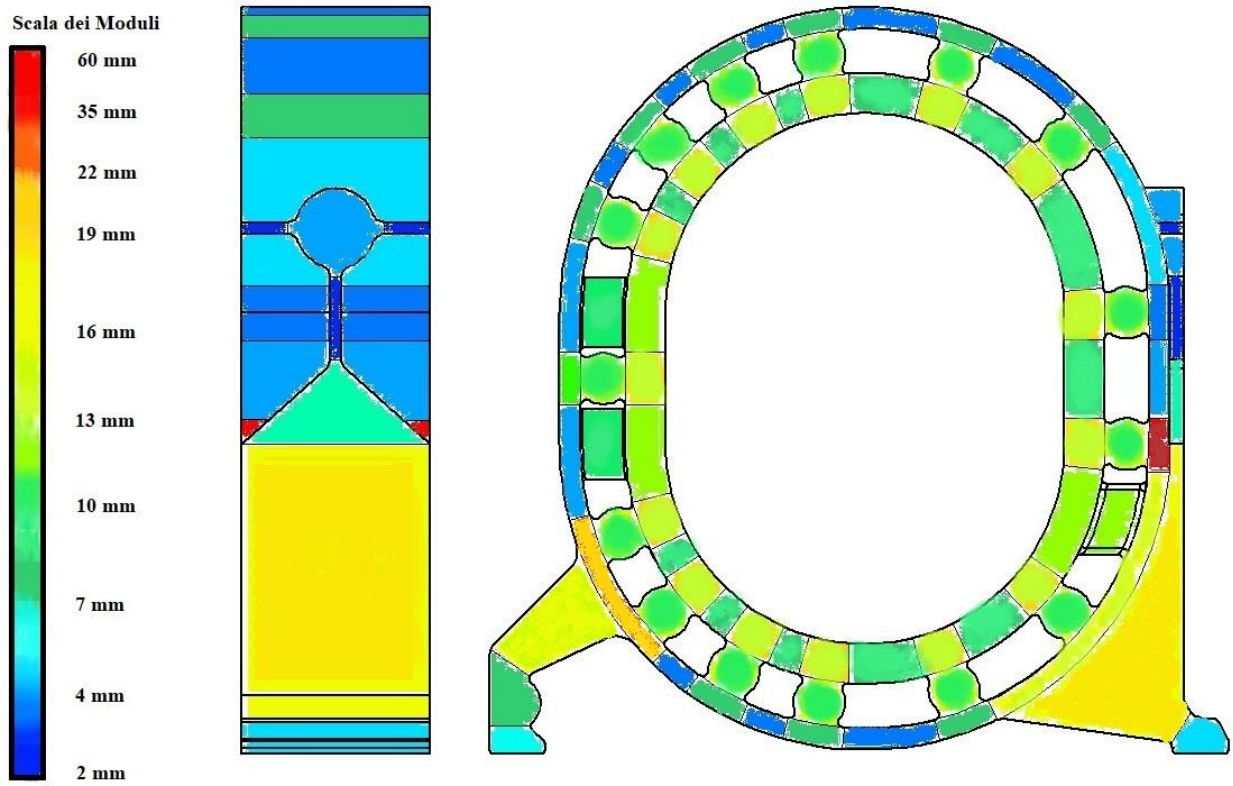
32) $V_{32} = 125 \cdot 100 : 2 \cdot 80 = 500000\ mm^3$
$S_{32} = (125 + 100) \cdot 80 + 2 \cdot (125 \cdot 100 : 2) = 30500\ mm^2$
$M_{32} = 16{,}4\ mm$

Il modulo $M_{19} = 66{,}4\ mm$ risulta essere fuori scala rispetto agli altri a causa della superficie di scambio termico molto limitata. Ciò deriva da una divisione del greggio non ottimale che ha comportato questo risultato anomalo, tuttavia la corretta solidificazione sarà verificata successivamente tramite simulazione assistita al computer.

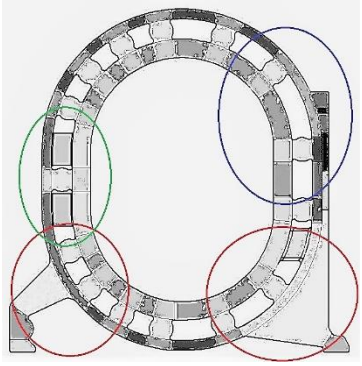
2.11 ANALISI E COMMENTO DEI MODULI

La valutazione di 32 moduli di raffreddamento è un'operazione non solo dispendiosa di molti semplici calcoli ma anche complessa, a modo suo, nell'essere analizzata.

Per aiutare a visualizzare cosa abbiano prodotto i calcoli svolti è proposta un'immagine che riproduce qualitativamente le zone considerate, evidenziando il rapporto tra i vari moduli sulla base dei colori dell'arcobaleno: si spazia dal rosso (indice di un alto modulo di raffreddamento) al blu (basso modulo) sfumando nei possibili colori intermedi.

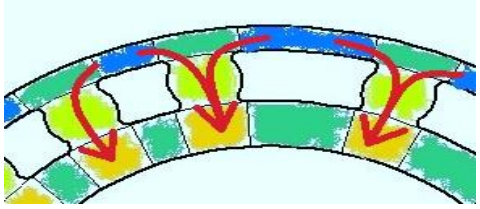


Come si nota, anche solo qualitativamente, la distribuzione dei moduli non presenta una direzione esatta di solidificazione.



In ogni caso possono essere tratte alcune conclusioni circa l'esistenza di:

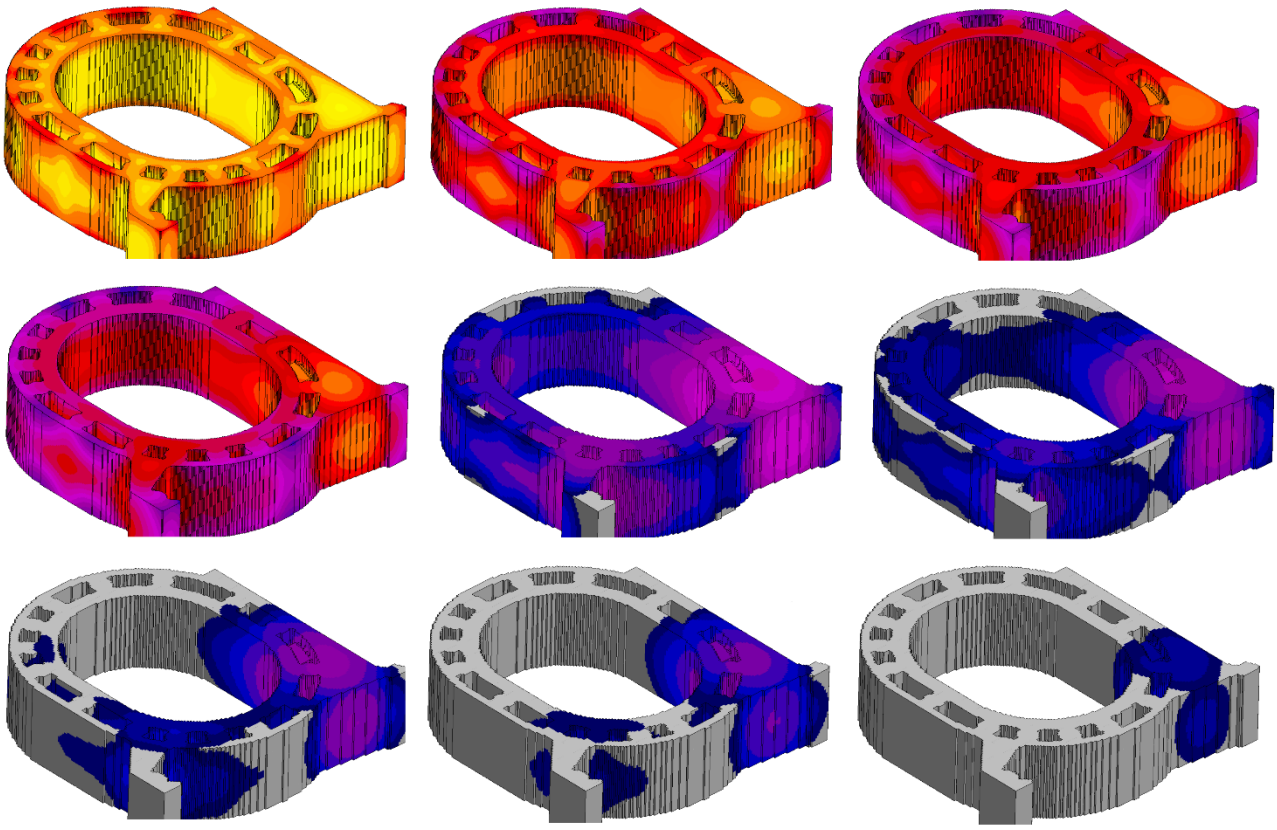
- Zona fredda: l'area in blu presenta una concentrazione di moduli di raffreddamento bassi, tra cui i più bassi di tutto il getto.
- Zone calde: le aree in rosso presentano invece la concentrazione di zone ad alto modulo di raffreddamento e con una presenza importante di materiale.
- Zona tiepida: non può definirsi zona calda per via dei moduli più moderati, tuttavia contiene quantità rilevanti di materiale.



Un'altra importante considerazione è notare che nel resto del getto le aree più esterne tendono ad avere moduli di raffreddamento più bassi di quelle interne, creando un'ipotetica direzionalità della solidificazione dall'esterno verso l'interno.

2.12 ANALISI ASSISTITA DAL SIMULATORE DELLA SOLIDIFICAZIONE DEL GREGGIO

Dopo aver eseguito l'analisi dei moduli di raffreddamento si procede alla simulazione della solidificazione tramite il Software SOLIDCast per cercare di verificare quanto intuito. La simulazione di solidificazione del solo greggio (senza sistema di colata e materozze) è stata quasi necessaria data la difficoltà d'applicazione del sistema di verifica con i cerchi di Heuvers, L'analisi assistita ha confermato e implementato quanto scritto nell'analisi dei moduli.



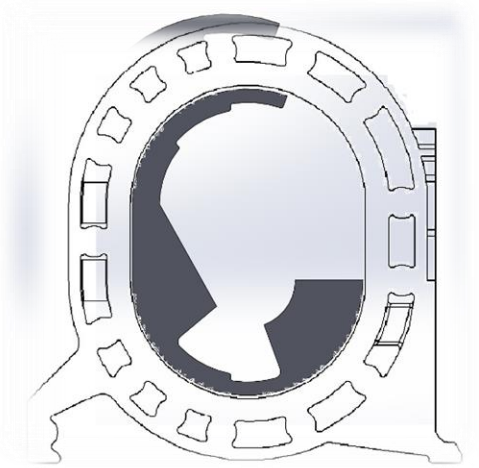
Dalla simulazione si può notare che in effetti la solidificazione del getto ha principio in prossimità della zona fredda e va a concludersi nelle zone calde. Il Software ha messo chiaramente in evidenza altri punti di inizio solidificazione, tuttavia rispettando la condizione sempre prevista di una direzione di solidificazione lungo l'asse "esterno – interno".

Un'altra osservazione spontanea è quella dell'immediata verifica dei limiti dello studio dei moduli di raffreddamento: con l'analisi modulare di un getto si considerano alcune parti in maniera assoluta, senza dare peso all'influenza termica di quelle adiacenti. La più precisa e preziosa analisi del gradiente termico del getto è stata in ogni caso fornita dal Software e non si distacca troppo, in linea teorica, dalle analisi precedenti.

In ogni caso sono evidenti grosse difficoltà per quanto riguarda la definizione di una solidificazione direzionale; in immagine 6 si possono identificare i punti di geminazione della parte solida. Questa molteplicità crea problemi nell'ottenimento di un fenomeno progressivo e controllato, come confermano le immagini seguenti. Per migliorare la direzionalità di solidificazione del getto a favore delle aree calde si è introdotto un "sistema di distribuzione termica", che modifica la disposizione dei volumi nel getto aggiungendone di nuovi.

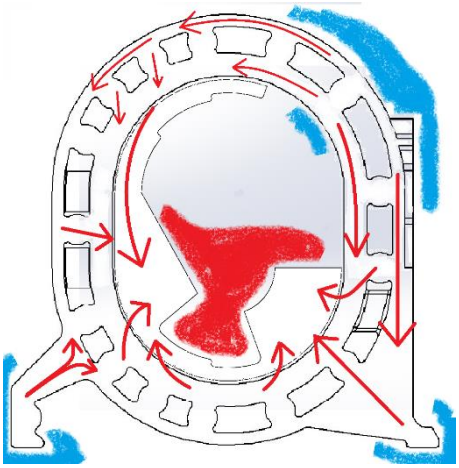
2.13 SISTEMA DI DISTRIBUZIONE TERMICA

Verificata l'esistenza effettiva delle due zone calde, della solidificazione nelle due direzioni "zona fredda – zona tiepida – zona calda" e "esterno – interno", si progetta il sistema delle materozze per preservare la qualità il greggio. Come già detto più volte, lo studio è effettuato su un pezzo importante dal punto di vista meccanico, per il quale è da escludersi totalmente una realizzazione approssimativa o incerta del risultato.



Esulando dalle indicazioni standard dei testi di fonderia, con la valida motivazione che l'alloggiamento del rotore richieda attenzioni particolari in virtù della perfetta riuscita della fusione, si adottano alcuni accorgimenti per agevolare la direzionalità della solidificazione e garantire la riuscita della fusione nella totalità dei casi. Per ottenere quanto prescritto, il sistema di distribuzione della colata è realizzato con lo scopo di modificare il raffreddamento del getto ricalcando quella che è la sua direzionalità di solidificazione, già descritta grazie ai moduli di raffreddamento e alla simulazione computerizzata. Questo sistema può considerarsi anche come una particolare materozza che aderisce a gran parte della superficie interna del pezzo, tuttavia non soddisfa da solo gli scopi di materozza vera e propria.

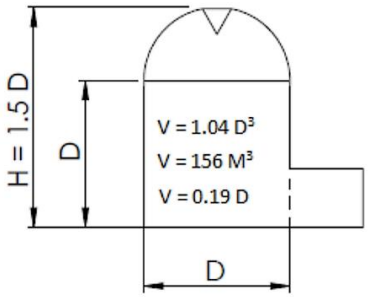
Questo accorgimento, che modifica sensibilmente i volumi della colata, può sembrare eccessivo; per giustificare questa scelta si cita a titolo d'esempio che alcuni motori convenzionali (Funzionamento a ciclo Otto) hanno, nel caso di realizzazione delle testate e del blocco motore per fusione come in questo caso, un sistema di materozze il cui volume complessivo si avvicina al rapporto 1:1 con quello del greggio di fusione da ottenere. In questo caso si è comunque inferiori al rapporto 1:1 ma è chiaro che si stia adottando un volume importante di materiale aggiuntivo (circa 1/3).



Modificata la struttura sarebbe opportuno rieseguire il calcolo dei moduli di raffreddamento, tuttavia, dal momento che il sistema è stato concepito per meglio definire una direzione di solidificazione già vagamente intuita, si è proceduto direttamente alla simulazione tramite computer la quale ha confermato che i due baricentri termici principali del sistema (precedentemente situati in quelle che erano state definite come zone calde) sono stati trasferiti in direzione delle aree con maggior volume del sistema di distribuzione ideato. In particolare si è potuto apprezzare che la direzione di solidificazione è risultata ben definita dalla zona fredda in verso quelle calde seguendo due direzioni. Nell'immagine a fianco si mostra graficamente il risultato, indicando in blu le zone in cui inizia la solidificazione e mostrando con delle frecce la direzione in cui si propaga.

2.14 DIMENSIONAMENTO, POSIZIONAMENTO E VERIFICA DELLE MATEROZZE

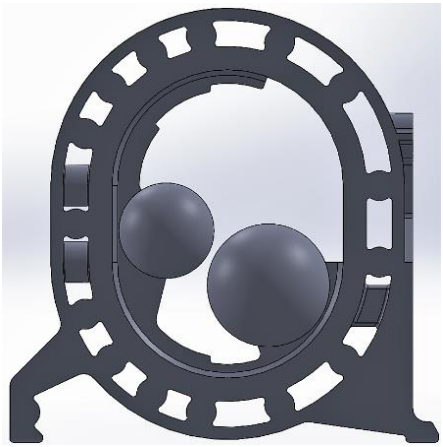
La forma scelta per le materozze impiegate è quella "cieca". Il dimensionamento dovrà essere fatto in modo che il modulo termico di ognuna di esse sia 1,2 volte quello della parte del greggio a contatto da proteggere.



Dall'analisi dei moduli di raffreddamento si è dedotto che la solidificazione ha termine in due zone; occorrono quindi due materozze in vicinanza di queste aree.

Ogni materozza può essere dimensionata nel diametro sulla base del modulo dell'unità da proteggere; risulta:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{1{,}04}} = \sqrt[3]{\frac{156\ M^3}{1{,}04}} = \sqrt[3]{\frac{156}{1{,}04}} \cdot M = 5{,}3\ M$$



Da cui la materozza per l'area calda di sinistra:

$M_{24} = 14{,}4\ mm$
$D_{SX} = 5{,}3 \cdot 14{,}4 = 76\ mm$

E la materozza per l'area calda a destra:

$M_{32} = 16{,}4\ mm$
$D_{DX} = 5{,}3 \cdot 16{,}4 = 87\ mm$

Limiti tecnici dovuti a ingombro impongono il collocamento delle materozze come in figura. La posizione interna rispetto al greggio è dovuta alla presenza del sistema di distribuzione precedentemente introdotto, che si è dimostrato in simulazione assistita al computer un'ottima soluzione nel definire un deciso gradiente termico a favore delle aree in cui sono state poste le materozze.

I diametri definiti per le materozze sono infine $D_{DX} = 90\ mm$ e $D_{SX} = 70\ mm$. Nel caso della materozza di sinistra la dimensione ridotta rispetto a quella calcolata come necessaria trova giustificazione nella presenza di un volume aggiuntivo a ridosso della stessa a seguito del sistema di distribuzione.

Il controllo del raggio di influenza delle tre materozze può essere effettuato in modo approssimato mediante la formula:

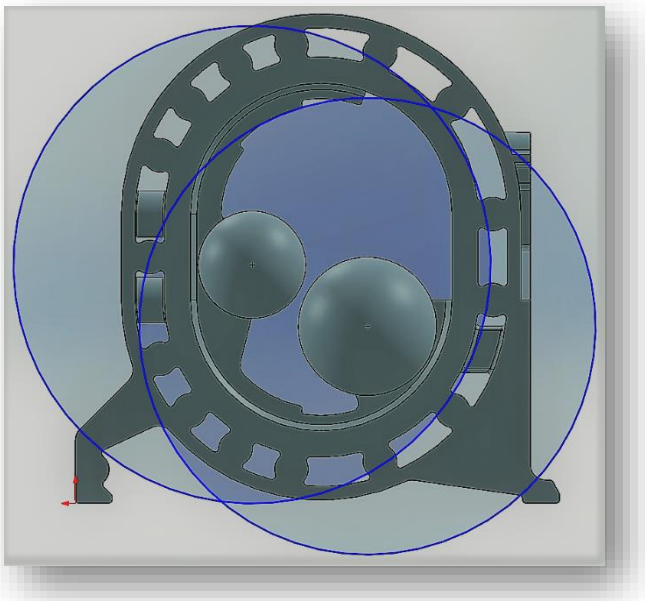
$$R = k \cdot S$$

dove k vale circa 5 per la ghisa e S è lo spessore medio delle zone a contatto con la materozza, pertanto:

$$R_{SX} = k \cdot S_{SX} = 5 \cdot 30 = 150\ mm$$

$$R_{DX} = k \cdot S_{DX} = 5 \cdot 30 = 150\ mm$$

Si precisa che i valori sono stati cautelativamente ridotti, in ogni caso il risultato soddisfa le esigenze necessarie al getto.

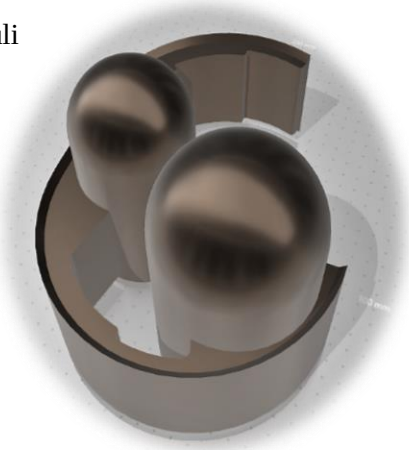


La verifica del volume alimentabile è abbondantemente soddisfatta anche grazie alla presenza di metallo aggiuntivo nel sistema di distribuzione termica.

2.15 COLLARI DI ATTACCO

Il collare di attacco delle materozze è la parte che mette effettivamente in comunicazione la materozza con la parte da proteggere. Nel caso in esame è oramai chiaro che sia stato introdotto del materiale aggiuntivo per meglio definire una direzionalità di solidificazione. Inserire aggiuntivamente dei collari di attacco per le materozze è un'operazione difficile da realizzare, per motivazioni di spazio, e anche eliminabile dal momento che si usa in modo improprio lo stesso sistema di distribuzione termica per mettere in comunicazione le materozze al resto della colata.

La teoria di fonderia prevede che ci sia un rapporto costante tra i moduli della zona da proteggere, del collare di attacco e della materozza, e che questo sia prossimo al rapporto $1 : 1{,}1 : 1{,}2$. Nel caso in esame rispettare questo rapporto imposto non è impossibile, tuttavia mediante una serie di prove effettuate per simulazione si è evinto che il risultato che meglio soddisfi la richiesta teorica del rapporto dei moduli e quella pratica di non eccedere con materiale aggiuntivo consiste nell'assegnare al sistema di distribuzione termica (di cui è già stata mostrata la vista in pianta) un'altezza, intesa come spessore del sistema, di 50 mm. Il sistema è da posizionarsi simmetricamente rispetto al piano di separazione del modello.



2.16 SIMULAZIONE ASSISTITA CON SOLIDCAST

È stata analizzata la solidificazione del getto con l'ausilio del Software Solidcast. La simulazione della solidificazione del getto permette di verificare quanto previsto in fase di progettazione con il metodo dei moduli. Per la simulazione il programma esegue un'analisi ad elementi finiti (FEM), ed è state impostata come dimensione di mesh 1,5 mm, come compromesso tra agevolazione dei calcoli e possibilità d'apprezzare alcuni dettagli di raccordo.

L'analisi ha evidenziato alcuni aspetti fondamentali:

- Ottima direzionalità della solidificazione
- Corretta creazione delle cavità di ritiro

Per non appesantire il documento di immagini (sarebbero molte per mostrare tutti i dettagli) è stato realizzato un video che mostra con filmati estratti dal programma di simulazione le informazioni principali dello studio: solidificazione, analisi termica della temperatura in sezione, cavità di ritiro e tempo di solidificazione.



Una nota importante: il Software ha messo in evidenza che la materozza maggiore può essere diminuita di volume mediante riduzione del diametro e solito dimensionamento standard. Le cavità di ritiro formatesi infatti non hanno interessato in maniera critica il volume, lasciando intendere che i calcoli abbiano fornito un risultato forse eccessivamente cautelativo.

Link del video (2 minuti): https://www.youtube.com/watch?v=L_QwZ9_7CE8&t=14s

2.17 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI COLATA

Per sistema di colata si intende l'insieme delle canalizzazioni che permettono al materiale fuso di riempire la forma. A causa di vari problemi di fluidodinamica e di trasmissione del calore nella fonderia ci si basa su formule empiriche per la determinazione delle geometrie dei sistemi di colata.

Per ottimizzare l'espulsione dell'aria dalla forma e un'immissione non turbolenta del materiale fuso si dovrebbe optare per un sistema di colata in sorgente, tuttavia per come sono stati definiti i semimodelli si dispone il sistema di colata nell'interfaccia tra la staffa superiore e quella inferiore per semplificarne la realizzazione. Si prevede l'uso del sistema pressurizzato nel quale le sezioni del canale di colata, di quello di distribuzione e degli attacchi hanno un rapporto di sezioni di 1 : 0,75 : 0,5, il che consente ai diversi canali d'essere sempre riempiti di metallo liquido durante la colata, prevenendo il pericolo che la vena liquida si distacchi dalle pareti della canalizzazione aspirando aria nella forma.

Il dimensionamento del sistema di colata viene effettuato partendo dal tempo di colata T. Il valore ottimale del tempo di colata si ottiene da un corretto compromesso tra l'esigenza di evitare che qualche parte solidifichi prima del termine della colata e quella di evitare erosioni nella forma in conseguenza di velocità troppo elevate.

- Calcolo del tempo di colata T

Il tempo di colata si calcola con la formula di Dietert:

$$T = 3{,}2\sqrt{G}$$

dove G è il peso complessivo del greggio, ottenibile come prodotto tra il volume del getto V_g ed il peso specifico γ della lega in questione

$G = \gamma \cdot V_g = 7.20\ \text{kg/dm}^3 \cdot 4.26344645\ \text{dm}^3 = 30{,}696\ \text{kg}$
$T = 3{,}2\sqrt{G} = 17{,}729\ \text{s}$

- Calcolo della sezione complessiva $S_{a.c.}$ degli attacchi di colata

La sezione complessiva degli attacchi di colata è ricavabile dalla seguente formula:

$$S_{a.c.} = \frac{V_g}{v \cdot T}$$

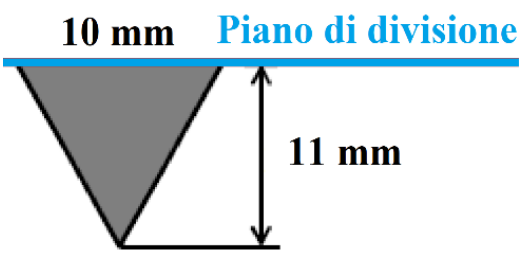
dove $v = \sqrt{2gh}$ è la velocità approssimata della vena fluida all'uscita del canale di colata, considerato h il dislivello dall'imbocco della colata ($250\ mm$) e stimate come nulle le perdite di carico nelle condutture in pressione.

$$S_{a.c.} = \frac{V_g}{v \cdot T} = \frac{V_g}{\sqrt{2gh} \cdot T} = 108{,}58\ mm^2$$

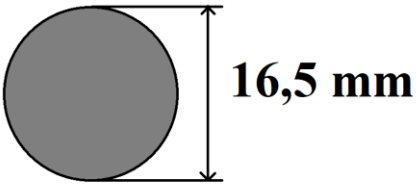
Prevedendo due attacchi di colata si ricava che la sezione di ciascuno è

$$S_{a.c.}{}^{*} = \frac{S_{a.c.}}{2} = 54{,}29\ mm^2$$

La sezione proposta per gli attacchi di colata è quella di un triangolo isoscele di base 10 mm e altezza 11 mm, la cui sezione è pari a $55\ mm^2$



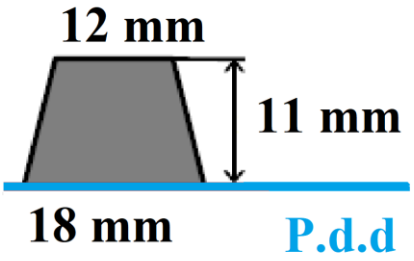
- Calcolo della sezione del canale di colata $S_{c.c.}$ e del canale distributore $S_{c.d.}$



Avendo previsto il sistema pressurizzato le sezioni del canale di colata, del canale di distributore e degli attacchi di colata sono in rapporto 1 : 0,75 : 0,5 ; da cui

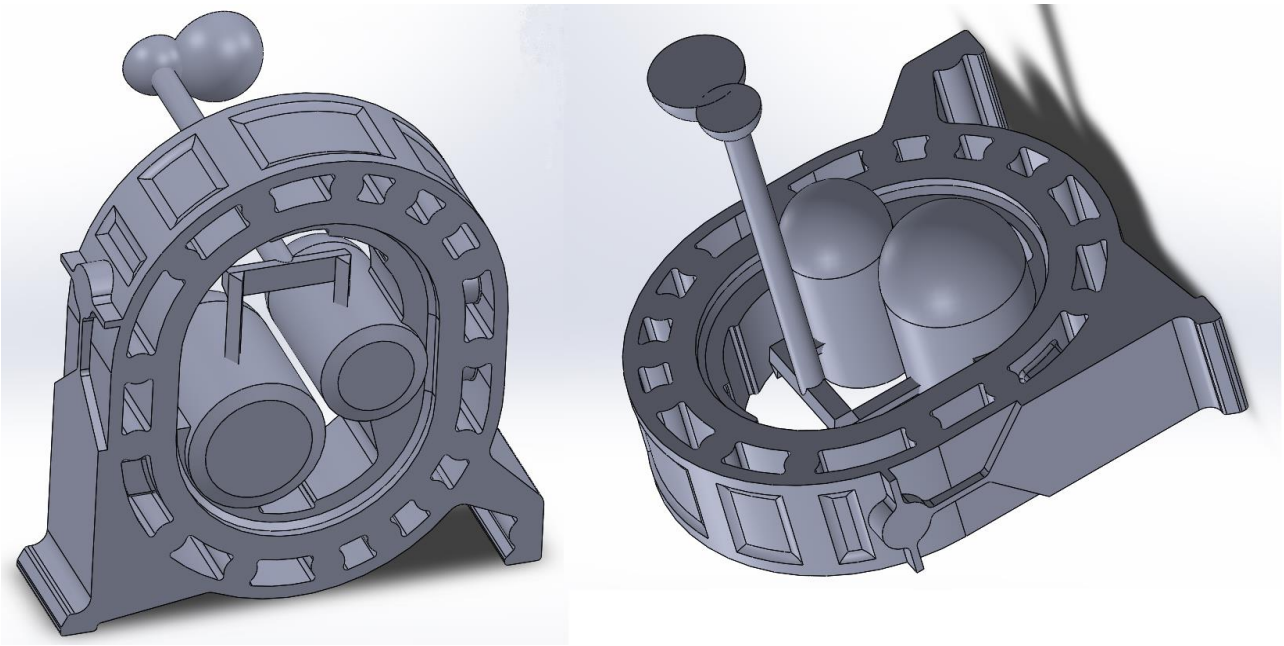
$$S_{c.c.} = 2 \cdot S_{a.c.} = 217{,}16\ mm^2$$

La sezione proposta per il canale di colata è quella di un cerchio di diametro 16,5 mm, la cui sezione è pari a 214 mm^2



$$S_{c.d.} = \frac{3}{2} \cdot S_{a.c.} = 162{,}87\ mm^2$$

La sezione proposta per il canale di distribuzione è quella di un trapezio isoscele di basi 12 mm, 18 mm e altezza 11 mm, la cui sezione è pari a 165 mm^2



Viste in assonometrie del sistema di colata e della modalità di giunzione al greggio da fusione

Come si nota nelle immagini il sistema di colata si congiunge direttamente alle materozze. Questa scelta di configurazione trova giustificazione, oltre a necessità dovute agli spazi e alla configurazione delle superfici, nel fatto secondo cui le principali turbolenze della lega fusa vengono smorzate dal bagno che si crea nelle materozze stesse.

Si ricorda che le materozze sono collegate al pezzo mediante il sistema di distribuzione, che riversa la materia fusa in tutto il getto per gravità e aiuta a riprodurre un effetto di “colata in sorgente”, ideale per l’eliminazione dell’aria. Per migliorare la fuoriuscita dell’aria è inoltre opportuno mettere in comunicazione le semicupole delle materozze con l’atmosfera esterna mediante fori verticali che trapassano la staffa superiore.

2.18 CALCOLO DELLA SPINTA METALLOSTATICA

La colata, allo stato fluido, mantiene le caratteristiche tipiche dei fluidi. Un importante studio è quello di considerare la legge fluidostatica di Stevino, in questo modo è immediato constatare che ad una determinata profondità del getto sia presente una pressione proporzionale alla densità della colata e alla profondità. La presenza di questa pressione tende in molti casi a far sollevare la staffa superiore o, più in generale, a separare le due staffe; è per questi motivi che si fa uso di pesi o morse che premano sulle staffe con lo scopo di tenerle unite. Dalla teoria si ricava che la spinta metallostatica imprime una forza verticale pari al peso del volume che sovrasta la cavità considerata fino al pelo superiore delle staffe, supposto d'essere fatto dello stesso metallo della fusione.

Per il calcolo della spinta metallostatica si ricavano le aree delle superfici già definite nel paragrafo 2.10 per il calcolo dei moduli di raffreddamento (nel calcolo sono inseriti i riferimenti alle parti già numerate in paragrafo 2.10). La densità della ghisa colata è 7,2 kg/dm^3, per la sabbia si stima 1,7 kg/dm^3:

$$P = S \cdot h \cdot \gamma = \begin{cases} 1 & [(102^2 - 85^2) \cdot 2\pi] + \\ 13 & [(130^2 - 121^2) \cdot 2\pi] + \\ 9 & [(102 - 85) \cdot 56] + \\ 23 & [(130 - 121) \cdot 56] + \\ 10 & (15 \cdot 11^2 \cdot \pi) + \\ 24 & \left[(34 + 20) \cdot \frac{45}{2}\right] + \\ 25 & \left[(30 + 21) \cdot \frac{17}{2}\right] + \\ 26 & \left[(24 + 18) \cdot \frac{12}{2}\right] + \\ 31 & \left[(12 + 24) \cdot \frac{15}{2}\right] + \\ 32 & [125 \cdot 100 : 2\ ] = \end{cases} mm^2 \cdot 200\ mm \cdot 0{,}0000055 \frac{kg}{mm^3} =$$

$$= 49746{,}45\ mm^2 \cdot 200\ mm \cdot 0{,}0000055 \frac{kg}{mm^3} = 54{,}7\ kg$$

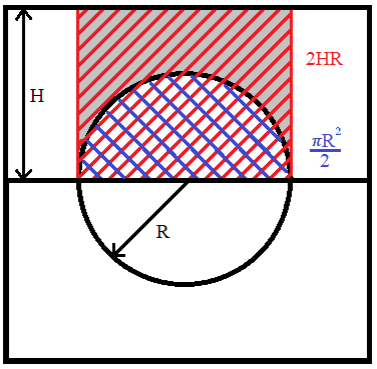
Si somma al peso stimato quello che agisce sulle anime scomponibili:

$$F_{anime\ candele} = 2 \cdot \gamma L \left(2HR - \frac{\pi R^2}{2}\right) =$$

$$= 2 \cdot 0{,}0000072 \cdot 19 \left(2 \cdot 250 \cdot 15 - \frac{\pi 15^2}{2}\right) = 1{,}95\ kg$$

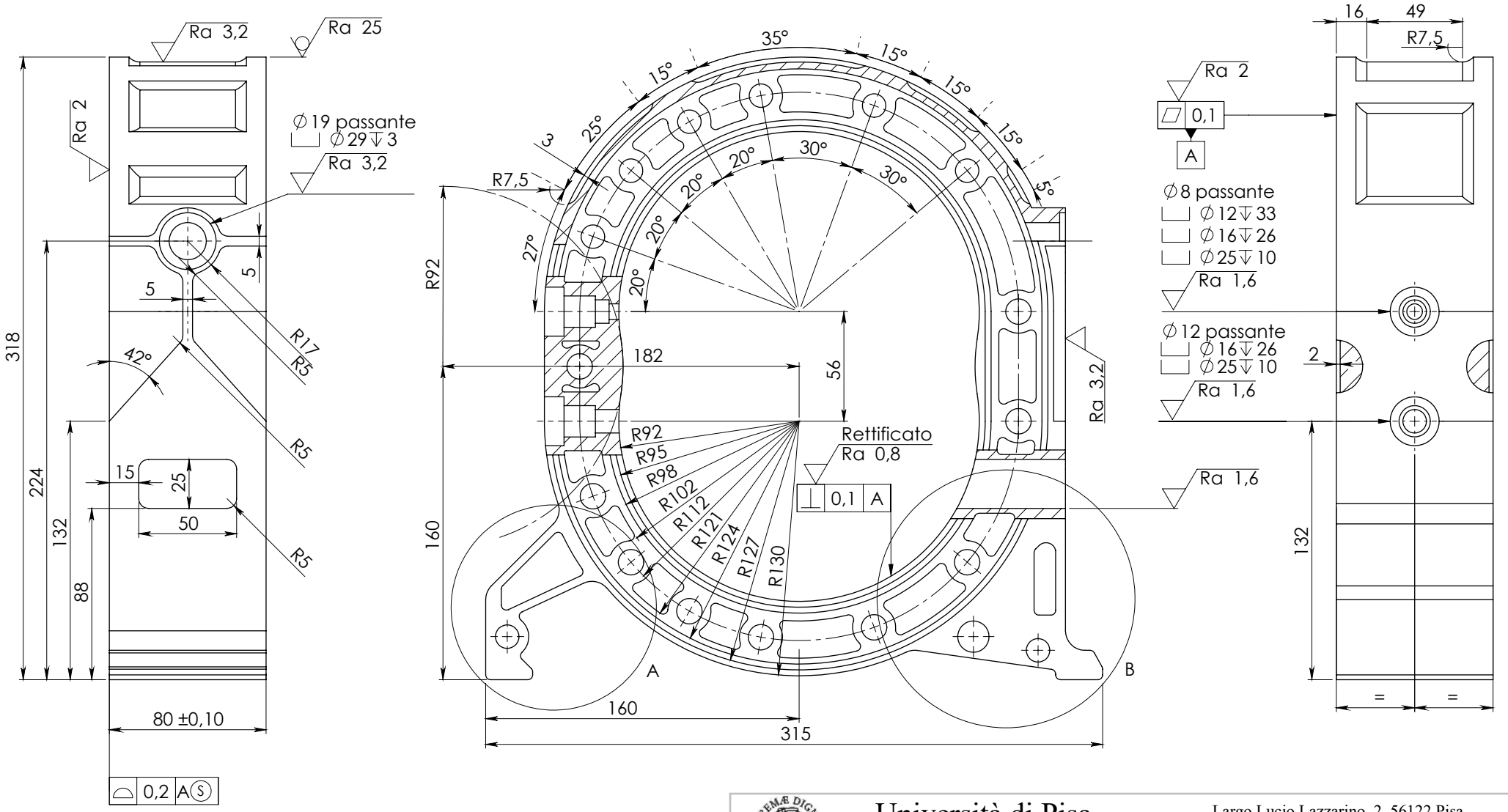
$$F_{anima\ scarico} = S \cdot h \cdot \gamma = (30 \cdot 19) \cdot 225 \cdot 0{,}0000072 = 0{,}92\ kg$$

Il peso totale è di circa 56,87 kg, per cui si raccomanda l'uso di un blocco che garantisca 60 kg di tenuta. È pertanto consigliabile un blocco delle staffe con morse o altri serramenti di tenuta.



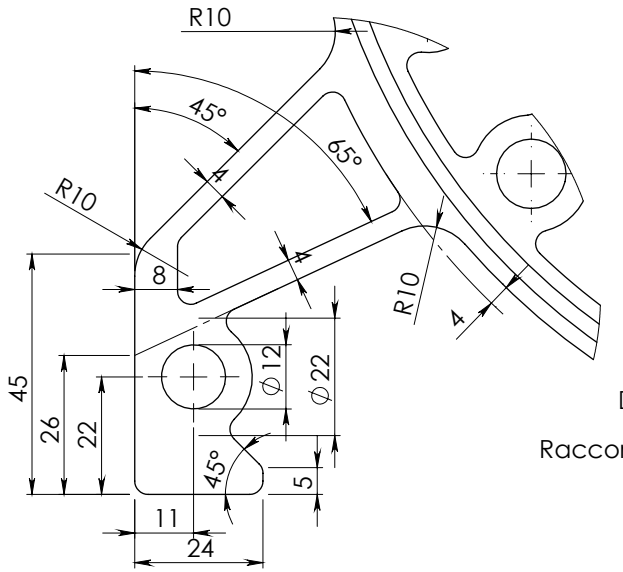
ALLEGATI

1. Disegno del particolare
2. Disegno delle anime da 20°, 30° e 40°
3. Disegno dell'anima dritta
4. Disegno dell'anima per candela
5. Disegno della semianima per collettore dello scarico

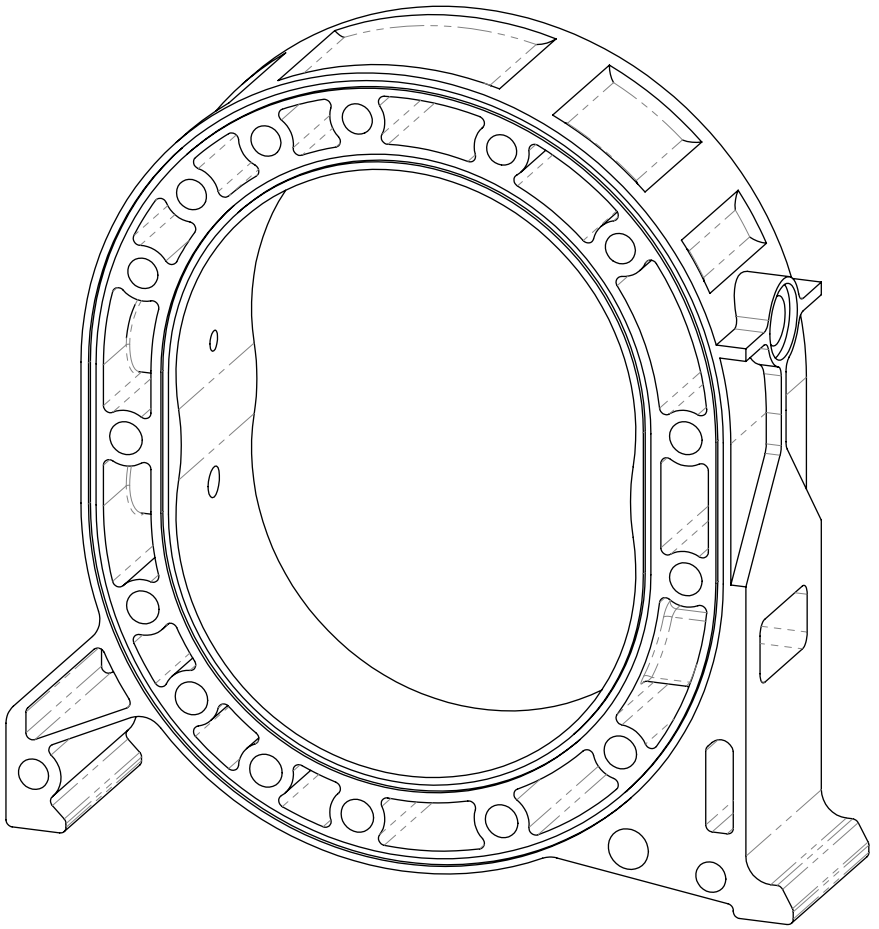


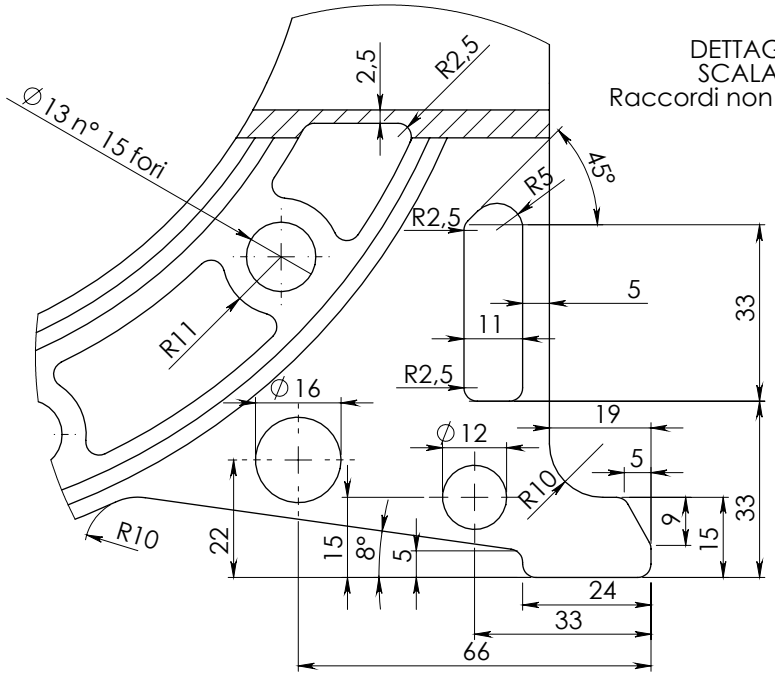
Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1 : 2	Foglio: 1/2	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Rotor Housing			Materiale: GJL-250

SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.



DETTAGLIO A
SCALA 1 : 1
Raccordi non quotati R2,5

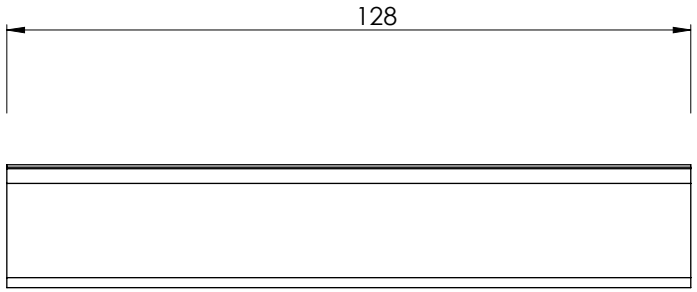


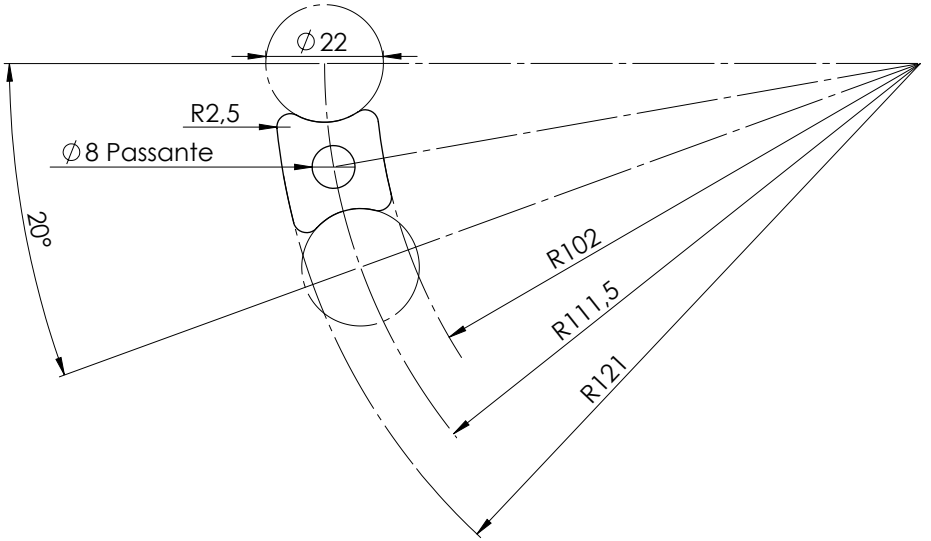


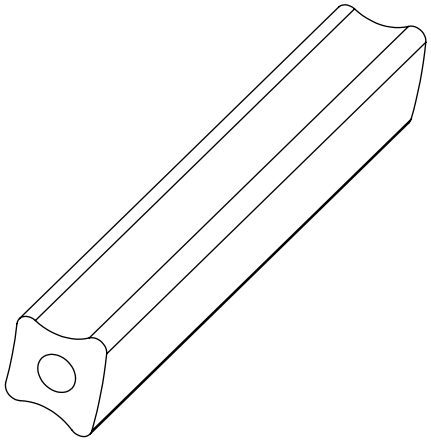
DETTAGLIO B
SCALA 1 : 1
Raccordi non quotati R2,5

Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1:2	Foglio: 2/2	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Rotor Housing			Materiale: GJL-250

SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.



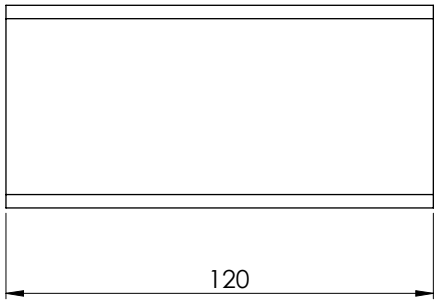


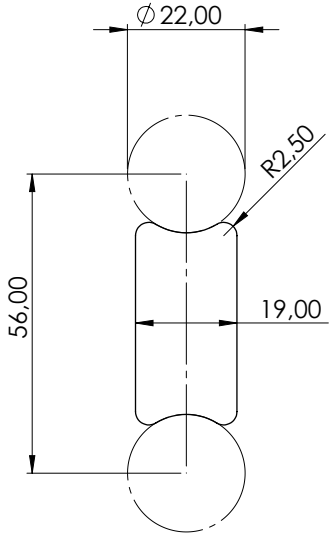


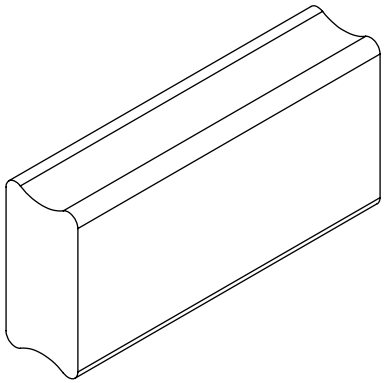
Per le altre anime: modificare la quota "20°" a 30° e 40°

Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1 : 1	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Anime 20°, 30°, 40°			Materiale: Terra da fonderia.

SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.

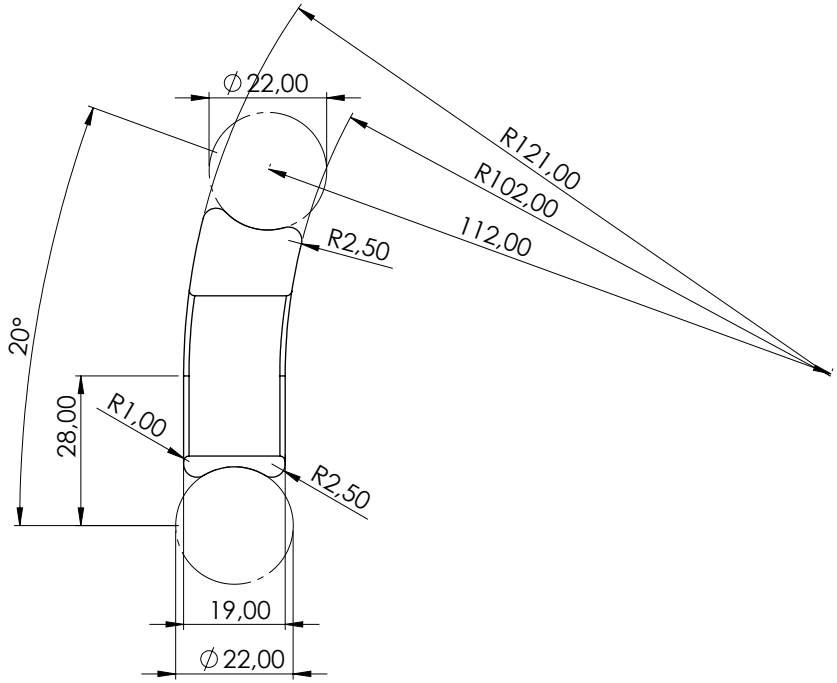


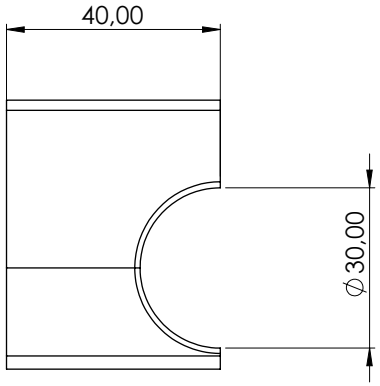


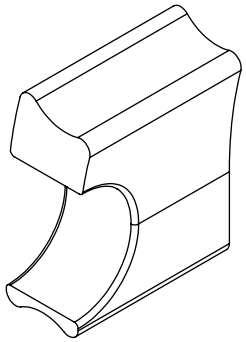


Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1 : 1	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Anima dritta			Materiale: n.d.

SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.



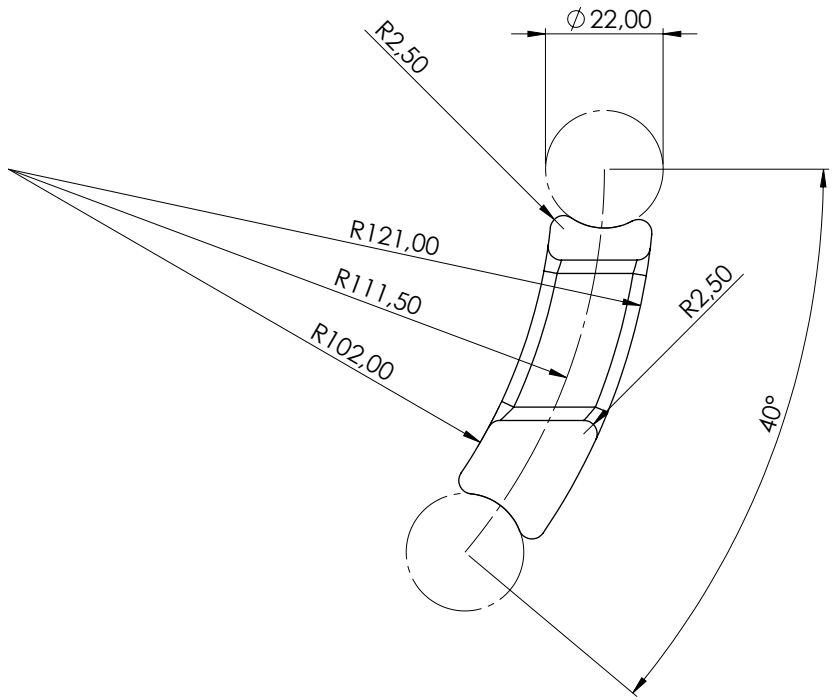


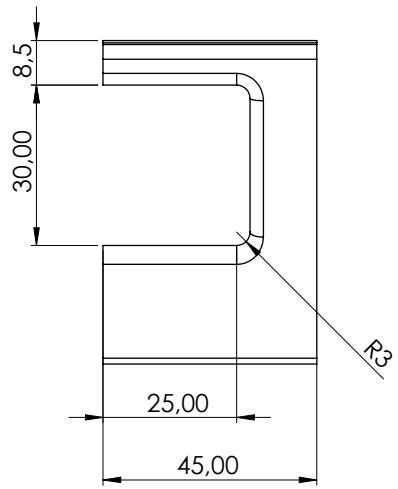


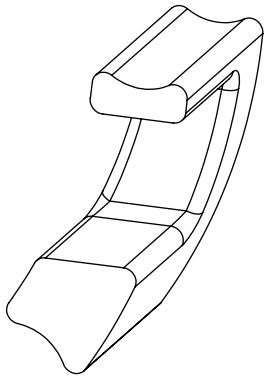
Per l'altra semiforma il disegno è speculare

Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1 : 1	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Forma per candela			Materiale: n.d.

SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.







Per l'altra semianima il disegno è speculare

Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1 : 1	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Semianima collettore scarico			Materiale: n.d.

SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.

3 ECCENTRIC SHAFT

3.1 LAVORAZIONE AL TORNIO

Utilizzeremo il tornio Haas DS-30 Y a doppio mandrino, le cui specifiche sono riportate in allegato a fine capitolo. Il motivo di questa scelta sta nella particolare conformazione a due eccentrici sfasati di 180 gradi del componente, che non permette una lavorazione convenzionale. La soluzione ideale prevede l'utilizzo di un tornio a controllo numerico in cui sia possibile coordinare il movimento rotativo del mandrino con quello lineare alternato della stazione utensile, in modo da generare un moto relativo rototraslatorio (ad elica) rispetto all'asse eccentrico. Tuttavia, non disponendo degli strumenti necessari per una simile programmazione al CNC (che prevederebbe l'utilizzo di un software di simulazione specifico del tornio in utilizzo), procederemo con una tornitura divisa in 3 step, durante ognuno dei quali la lavorazione del pezzo avverrà attorno ad uno dei 3 assi (principale e due eccentrici).

Questo genere di tornio è solitamente utilizzato per la realizzazione di componenti di piccole dimensioni, trasferibili da un mandrino all'altro attraverso apposite istruzioni nel *part program*. Viste però le dimensioni importanti del nostro albero, faremo uso di:

- una contropunta, da montare a mano in quanto non presente dal principio;
- una lunetta, per permettere le preliminari operazioni di sfacciatura durante le sottofasi *10 a* e *10 b*.

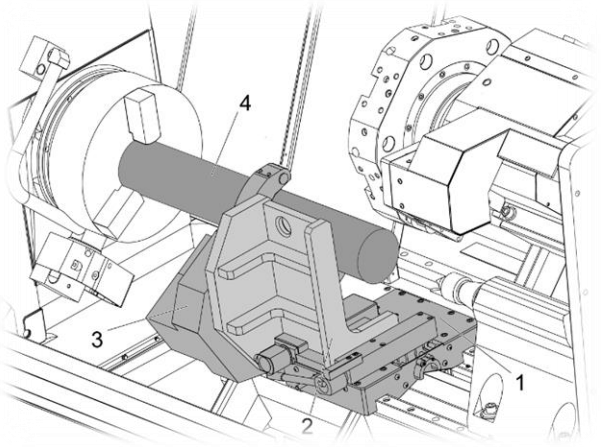


Figura 3.1: montaggio lunetta per tornio Haas DS-30 Y

3.2 STRUMENTAZIONE EXTRA

Per attuare la nostra idea avremo bisogno di un sistema di bloccaggio che tenga conto della complanarità dei tre assi. Utilizzeremo come riferimento la cava per linguetta per entrambe le sottofasi *10 c* e *10 d*, realizzata precedentemente durante la *10 a*. Oltre a questa ci avvarremo di un sistema composto da due box e due piastre, che fungeranno rispettivamente da alloggio per l'albero e da spessore per la tornitura eccentrica.

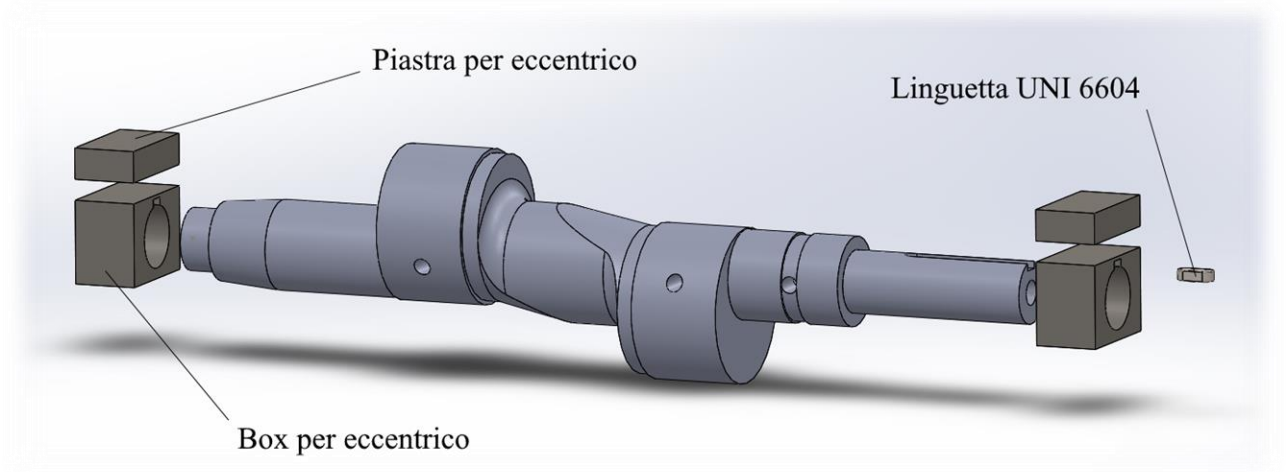


Figura 3.2: vista esplosa del sistema di montaggio per eccentrico

I due componenti aggiuntivi sono stati volutamente progettati con sezione trasversale quadrata quando poggiati l'uno sull'altro, in modo da garantire (nei limiti delle tolleranze) una perfetta centratura sfalsata di 15 mm

dall'asse principale. In virtù di tale forma, sarà necessario sostituire il mandrino standard a tre griffe UR-250 con la versione a quattro griffe autocentranti HCF-12. Entrambi i modelli sono prodotti dall'azienda Samchully e sono compatibili col tornio utilizzato.

L'utilizzo di un doppio box per eccentrico è dato dall'impossibilità di montaggio di una contropunta per eccentrico su un tornio standard a singolo mandrino. È comunque possibile progettare dei componenti con alloggio per la contropunta, ma in questo modo è stato possibile realizzare un sistema smontabile, che si adattasse ad entrambi i casi di eccentricità, e che potesse garantire un ottimo centraggio grazie alla presenza del doppio mandrino.

Infine, la trasmissione della coppia motrice avviene per mezzo della linguetta *UNI 6604*, in tolleranza sull'albero ma montata con un leggero gioco nella cava del box. L'unico discriminante tra le fasi *10 c* e *10 d* è la posizione della piastra, che per la prima si troverà su come in figura, mentre per la seconda sarà montata a contatto con la parte inferiore del box.

In allegato a fine capitolo le messe in tavola dei particolari:

- Piastra per eccentrico
- Box per eccentrico
- Samchully UR-250
- Samchully HCF-12

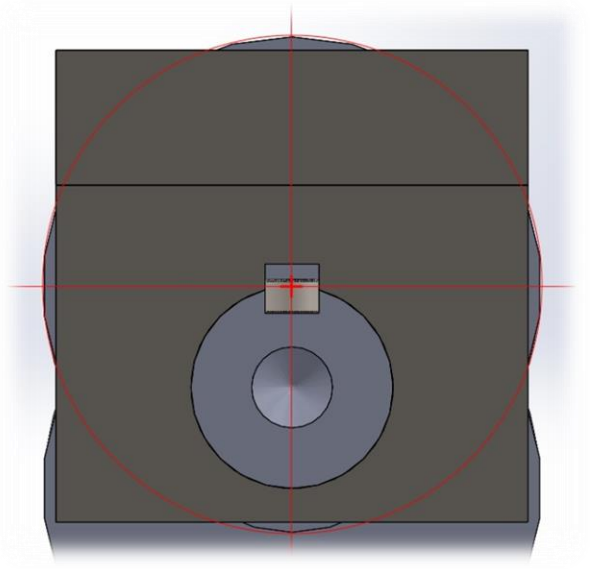


Figura 3.3: riscontro visivo del centraggio eccentrico

3.3 SCELTA DEI MATERIALI

L'acciaio scelto per la realizzazione dell'albero motore ha come sigla *30NiCrMo12*. Esso è caratterizzato da una eccezionale temprabilità e da resistenza a fatica anche con elevate temperature di esercizio. Tollera sollecitazioni molto elevate grazie agli elementi di alligazione contenuti:

- Nichel: migliora la resistenza alla corrosione, all'ossidazione a caldo, facilita il trattamento termico di tempra, aumenta la resilienza, aumenta l'allungamento percentuale a rottura e la duttilità, aumenta il carico di rottura a trazione, aumenta la durezza. Peggiora invece la lavorabilità alle macchine utensili e la conducibilità termica;
- Cromo: aumenta la resistenza alla corrosione ed all'ossidazione a caldo, facilita il trattamento termico di tempra, aumenta la durezza, aumenta la resilienza, aumenta il carico di rottura, aumenta la resistenza all'usura. Peggiora conducibilità termica e lavorabilità alle macchine utensili;
- Molibdeno: aumenta la lavorabilità alle macchine utensili, aumenta il carico di rottura a trazione, aumenta la durezza, aumenta la resistenza all'usura, aumenta la resistenza alla corrosione ed all'ossidazione a caldo.

Per la strumentazione extra composta dalla piastra e dal box eccentrico utilizziamo un acciaio al carbonio *C70*, economico e ad elevata durezza (59 HRC). La sua composizione chimica è la seguente:

- Carbonio 0.70%
- Cromo 0.03%
- Silicio 0.25%
- Manganese 0.71%
- Molibdeno 0.02%

3.4 SCELTA DEGLI UTENSILI

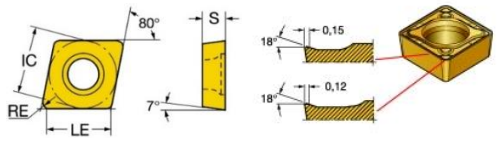
Gli utensili sono stati scelti dai cataloghi delle aziende Sandvik Coromant e Kennametal, accompagnate in minima parte da Walter e WNT. Al fine di massimizzare l'efficienza e minimizzare l'usura degli stessi, utilizzeremo i parametri di taglio consigliati dal costruttore. Sono riportati in tabella tutti gli abbinamenti utensile-inserto con riferimento al codice utilizzato nella stesura del *part program*.

Codice CNC	Utensile / Inserto
T01	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335
T02	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315
T03	CP-30AR-2525-11 CP-A1108-L3WX 43
T04	C6-LF123L32C45080E N123K2-0600-0004-TM 4325
T05	QD-NN1G60C25AY QD-NG-0300-RM 1125
T06	DIN 374 / 376 K1311-6

Codice CNC	Utensile / Inserto
T07	100TGST120090M B274Z12000HPS
T08	100TGST120090M B225A12000HPX
T09	930-BB30-P-08-088 B274Z08000HPS
T10	KM80ATCWNEM06065M R215.H4-06050BAC03P 1620
T11	C5-TR-D13JCL-35060C TR-DC1308-F 1525
T12	C5-TR-D13JCR-35060C TR-DC1308-F 1525

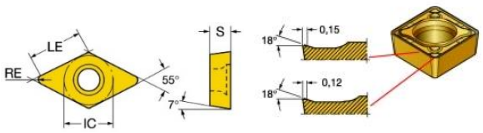
3.5 INSERTI E PUNTE

T01: CCMT 09 T3 12-PR 4335



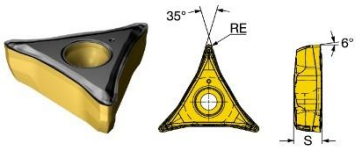
Numero di taglienti (CEDC) **2**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **9,525 mm**
Lunghezza effettiva del tagliente (LE) **8,472 mm**
Raggio di punta (RE) **1,191 mm**
Spessore dell'inserto (S) **3,969 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,003 kg**

T02: DCMT 11 T3 08-UF 4315



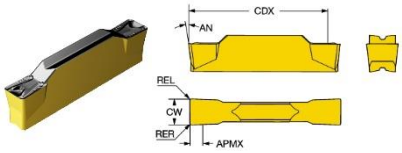
Numero di taglienti (CEDC) **2**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **9,525 mm**
Lunghezza effettiva del tagliente (LE) **10,828 mm**
Raggio di punta (RE) **0,794 mm**
Spessore dell'inserto (S) **3,969 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,005 kg**

T03: CP-A1108-L3WX 43



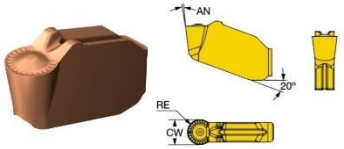
Numero di taglienti (CEDC) **3**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **11 mm**
Raggio di punta (RE) **0,8 mm**
Angolo d'attacco principale (KRINS) **27,5 deg**
Spessore dell'inserto (S) **6 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **6 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,012 kg**

T04: N123K2-0600-0004-TM 4325



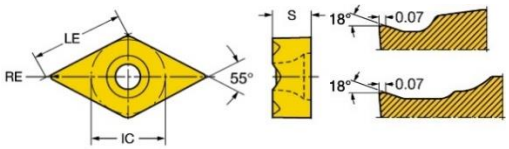
Numero di taglienti (CEDC) **2**
Larghezza di taglio (CW) **6 mm**
Raggio di punta sinistro (REL) **0,4 mm**
Raggio di punta destro (RER) **0,4 mm**
Profondità di taglio massima (CDX) **23,4 mm**
Angolo del corpo lato macchina (BAMS) **0 deg**
Profondità di taglio massima (APMXX) **3,4 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,009 kg**

T05: QD-NG-0300-RM 1125



Numero di taglienti (CEDC) **1**
Larghezza di taglio (CW) **3 mm**
Raggio di punta (RE) **1,5 mm**
Angolo del corpo lato macchina (BAMS) **0 deg**
Profondità di taglio massima (APMXX) **1,25 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,003 kg**

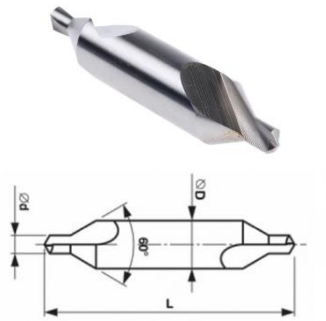
T11, T12: TR-DC1308-F 1525



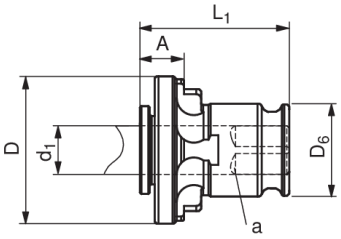
Numero di taglienti (CEDC) **2**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **11 mm**
Lunghezza effettiva del tagliente (LE) **12,2 mm**
Raggio di punta (RE) **0,794 mm**
Spessore dell'inserto (S) **5,525 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,004 kg**

Ø pezzo (sbozzato)	d	l	
		Tipo A	Tipo B
fino a 4	0,5	1,2	-
4 ÷ 6	0,75	1,8	-
6÷ 10	1	2,3	2,7
10 ÷ 16	1,5	3,5	4,1
16 ÷ 25	2	4,6	5,4
25 ÷ 40	3	6,9	7,9
40 ÷ 63	4	9,2	10,4
63 ÷ 100	5	11,5	13
100 ÷ 160	**6**	**13,8**	**15,6**
160 ÷ 250	8	18,4	20,4

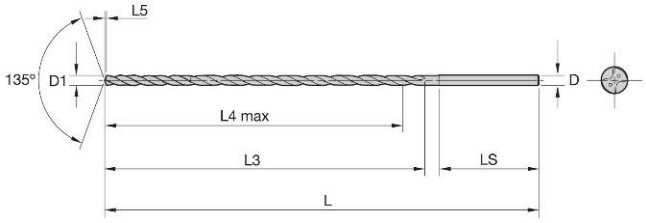
T06: K1311-6
(foro A 2,5 UNI 3220-74)



T06: DIN 374 / 376
d1: **18 mm**, A: **11 mm**
D6: **31 mm**, D: **46 mm**
L1: **46 mm**, a: **14,5 mm**

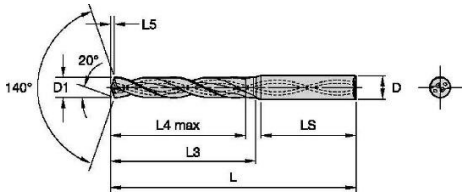


T07: B274Z12000HPS



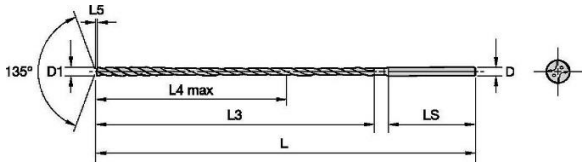
[D1] Drill Diameter Min Metric	**12**
[D1] Drill Diameter Min Inch	**.4724**
[L] Overall Length Metric	**437**
[L3] Flute Length Metric	**386**
[L4] Max. Drill Depth Metric	**360**
[L5] Drill Point Length Metric	**2,215**
[LS] Shank Length Metric	**48,0**
[D] Adapter/Shank/Bore Dia	**12,0**

T08: B225A12000HPX



[D1] Drill Diameter Min Metric	**12**
[D1] Drill Diameter Min Inch	**.4724**
[L] Overall Length Metric	**118**
[L3] Flute Length Metric	**71**
[L4] Max. Drill Depth Metric	**58**
[L5] Drill Point Length Metric	**2,520**
[LS] Shank Length Metric	**45,0**
[D] Adapter/Shank/Bore Dia	**12,0**

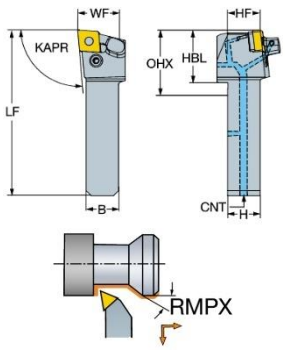
T09: B274Z08000HPS



[D1] Drill Diameter Min Metric	**8**
[D1] Drill Diameter Min Inch	**.3150**
[L] Overall Length Metric	**301**
[L3] Flute Length Metric	**258**
[L4] Max. Drill Depth Metric	**240**
[L5] Drill Point Length Metric	**1,477**
[LS] Shank Length Metric	**40,0**
[D] Adapter/Shank/Bore Dia	**8,0**

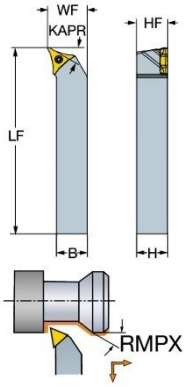
3.6 UTENSILI E ADATTATORI

T01, T02: QS-PCLNR 2020-12C



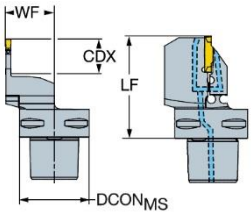
Versione (HAND) **R**
Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR) **95 deg**
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR) **-5 deg**
Ang max lavorazione del piano incl (RMPX) **0 deg**
Angolo del corpo lato pezzo (BAWS) **0 deg**
Sporgenza minima (OHN) **32 mm**
Sporgenza massima (OHX) **52 mm**
Larghezza dello stelo (B) **20 mm**
Altezza dello stelo (H) **20 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **101 mm**
Larghezza funzionale (WF) **25 mm**
Altezza funzionale (HF) **20 mm**
Lunghezza offset fondo della testina (HBL) **32 mm**
Ang di spoglia superiore ortogonale (GAMO) **-6 deg**
Angolo di inclinazione (LAMS) **-6 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,325 kg**

T03: CP-30AR-2525-11



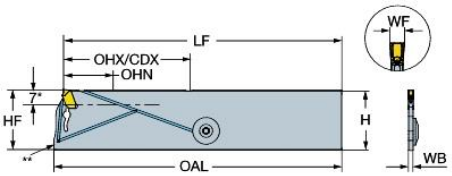
Versione (HAND) **R**
Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR) **115 deg**
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR) **-25 deg**
Ang max lavorazione del piano incl (RMPX) **15 deg**
Angolo del corpo lato pezzo (BAWS) **0 deg**
Angolo del corpo lato macchina (BAMS) **0 deg**
Sporgenza minima (OHN) **23,71 mm**
Sporgenza massima (OHX) **50 mm**
Larghezza dello stelo (B) **25 mm**
Altezza dello stelo (H) **25 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **150 mm**
Larghezza funzionale (WF) **32 mm**
Altezza funzionale (HF) **25 mm**
Ang di spoglia superiore ortogonale (GAMO) **0 deg**
Angolo di inclinazione (LAMS) **0 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,681 kg**

T04: C6-LF123L32C45080E



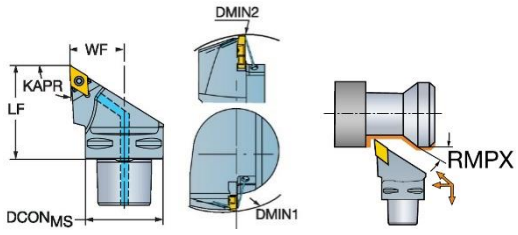
Versione (HAND) **L**
Profondità di taglio massima (CDX) **32 mm**
Angolo del corpo lato pezzo (BAWS) **0 deg**
Sporgenza massima (OHX) **80 mm**
Diametro di collegamento (DCON) **63 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **80 mm**
Larghezza funzionale (WF) **45 mm**
Altezza funzionale (HF) **0 mm**
Peso dell'articolo (WT) **1,104 kg**

T05: QD-NN1G60C25AY



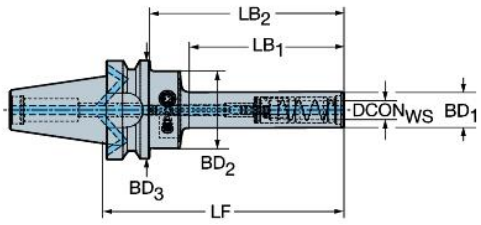
Profondità di taglio massima (CDX) **60 mm**
Angolo del corpo lato pezzo (BAWS) **0 deg**
Sporgenza minima (OHN) **30 mm**
Sporgenza massima (OHX) **60 mm**
Altezza dello stelo (H) **31,9 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **145 mm**
Larghezza funzionale (WF) **2,7 mm**
Altezza funzionale (HF) **32 mm**
Larghezza del corpo (WB) **2,35 mm**
Peso dell'articolo (WT) **0,1 kg**

T11: C5-TR-D13JCL-35060C
T12: C5-TR-D13JCR-35060C



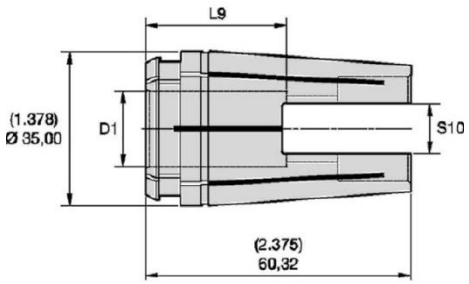
Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR) **93 deg**
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR) **-3 deg**
Ang max lavorazione del piano incl (RMPX) **27 deg**
Diametro minimo del foro (DMIN1) **249 mm**
Diametro minimo del foro (DMIN2) **175 mm**
Angolo del corpo lato pezzo (BAWS) **0 deg**
Angolo del corpo lato macchina (BAMS) **0 deg**
Sporgenza massima (OHX) **60 mm**
Diametro di collegamento (DCON) **50 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **60 mm**
Larghezza funzionale (WF) **35 mm**
Altezza funzionale (HF) **0 mm**
Ang di spoglia superiore ortogonale (GAMO) **0 deg**
Angolo di inclinazione (LAMS) **0 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,69 kg**

T09: 930-BB30-P-08-088



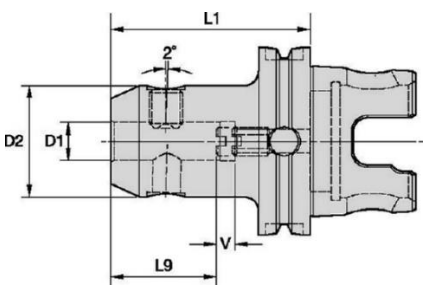
Diametro di collegamento (DCON) **8 mm**
Diametro funzionale (DFC) **31,75 mm**
Misura del filetto (CRKS) **M12**
Lunghezza di bloccaggio (LSC) **37 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **88 mm**
Diametro del corpo (BD1) **17,5 mm**
Diametro del corpo (BD2) **40 mm**
Diametro del corpo (BD3) **46 mm**
Lunghezza del corpo (LB1) **45,8 mm**
Lunghezza del corpo (LB2) **66 mm**
Lunghezza del corpo (LB3) **88 mm**
Peso dell'articolo (WT) **0,587 kg**

T07, T08: 100TGST120090M



Tap Range Metric **M16**
[D1] Clamping Diameter Max **12 mm**
[S10] Square Size Metric **9 mm**
[L9] Clamping Hole Length **30 mm**

T10: KM80ATCWNEM06065M



[D1] Adapt/Shank/BoreDiaWKPS **6 mm**
[D2] Body Dia 1 Workpce Side **24,50 mm**
[L1] Gage Length 1 Metric **65 mm**
[L9] Clamping Length Metric **30 mm**
[V] Adjustment Range **10 mm**
Clamp Screw ID Drive Size **3 mm**
Stop Screw ID Drive Size **2.5 m**
Weight Kilograms **1.29 Kg**

3.7 PART PROGRAM

Per la scrittura del codice utilizziamo il programma *CNC Simulator PRO*, che in versione gratuita permette di lavorare pezzi di dimensioni non elevate. Poiché il nostro componente supera di gran lunga i limiti consentiti, una prima fase di programmazione ha previsto la scrittura del codice per la lavorazione di un pezzo in scala 1:2, per avere un riscontro visivo. Riportiamo, tuttavia, il codice completo per il pezzo in scala 1:1, riscritto con le dovute correzioni e composto di 3 programmi, uno per ogni asse di lavorazione:

1. Asse principale, sottofasi *10 a* e *10 b*. Un'obiezione potrebbe essere mossa contro il fatto d'aver previsto due sottofasi anziché una, vista la presenza del doppio mandrino che, in generale, previene questo genere di inconvenienti permettendo di maneggiare una sola volta il pezzo. Purtroppo, però, non ci è stato possibile verificare attraverso il simulatore che quel tipo di programmazione, con annessi sistemi di riferimento e funzioni in G-code di inversione degli stessi, potesse funzionare, dunque abbiamo optato per una soluzione sicura che prevedesse una sottofase in più di inversione del pezzo.
2. Primo eccentrico, sottofase *10 c*.
3. Secondo eccentrico, sottofase *10 d*.

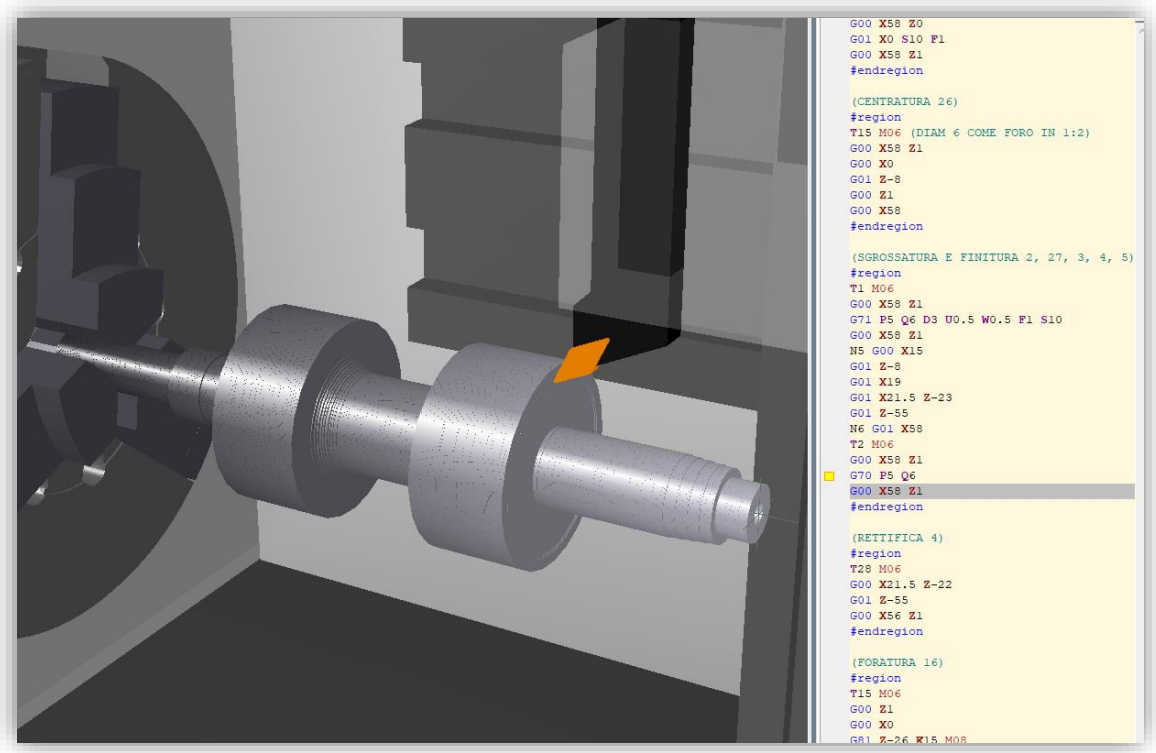


Figura 3.4: simulazione sottofase 10 b su CNC Simulator PRO

Alcune funzioni riportate nel programma a pagina seguente presentano una sintassi che potrebbe discostarsi leggermente da quella classica, in virtù del fatto che ogni tornio abbia la propria sintassi. Alcune note sono:

- M04: riportata una sola volta per ogni ciclo di tornitura in quanto avvia il mandrino solo durante le lavorazioni (funzioni come G01). In tutti gli altri casi il motore è spento in automatico.
- Le parentesi tonde e il punto e virgola identificano dei commenti. Non è possibile dunque utilizzare funzioni concepite tra parentesi (es. *DFP*, *SSL*, ..)
- Le etichette *#region* e *#endregion* permettono, nell'ambiente di sviluppo di *CNC Simulator PRO*, di compattare le righe di codice contenute nel mezzo. Nella versione in scala 1:1 sono state omesse per avere un codice più snello, ma ne faremo largo utilizzo in quella 1:2 eseguibile in programma.
- *$InvertLathePart*: inversione del pezzo nel simulatore, quindi funzione separatrice tra due sottofasi.

3.8 SOTTOFASI *10 A*, *10 B*

```
G92 Z435 M04

(SGROSSATURA 14)
T01 M06
G96 S215 F0.30
G00 X116 Z3
G01 X0
G00 X116
G00 Z1
G01 X0
G00 X116 Z2

(FINITURA 14)
T02 M06
G96 S460 F0.25
G00 X116 Z0
G01 X0
G00 X116 Z2

(CENTRATURA 16)
T06 M06
G97 S2600 F0.10
G00 X0 Z2
G01 Z-16
G00 Z2
G00 X116

(SGROSS. 18, 13, 12, 21)
T01 M06
G00 X116 Z2
G96 S195 F0.35
G71 P1 Q2 D3 U0.5 W0.5
G00 X116 Z2
N1 G00 X30
G01 Z-90
G01 X43
G01 Z-146
N2 G01 X116

(FINITURA 18, 13, 12, 21)
T02 M06
G00 X116 Z2
G96 S460 F0.25
G70 P1 Q2
G00 X116 Z2

(RETTIFICA 12)
T03 M06
G00 X43 Z-88
G96 S470 F0.20
G01 Z-146
G00 X116 Z2

(SCANALATURA 20)
T05 M06
G00 X45 Z-111
G96 S220 F0.14
G01 X41
Z-119
X45
G00 X116

(SGROSSATURA 8, 23, 22)
T04 M06
G00 X116 Z-197
G96 S185 F0.20
G71 P3 Q4 D3 U0.5 W0.5
N3 G01 X76
G02 X56 Z-207 R10
G01 Z-258
G02 X76 Z-268 R10
N4 G01 X116

(FINITURA 8, 23, 22)
T05 M06
G96 S240 F0.07
G00 X116 Z-199
G01 X76
G02 X56 Z-209 R10
G01 Z-258
G02 X76 Z-268 R10
G01 X116
G00 Z2

(FORATURA 16)
T08 M06
G97 S480 F0.10
G00 Z2
G00 X0
G81 Z-50 K15 M08
G00 Z2 M09
G00 X116
T07 M06
G97 S480 F0.10
G00 Z2
G00 X0
G00 Z-48
G81 Z-310 K15 M08
G00 Z2 M09
G00 X116
M05

(SGROSSATURA 15)
T10 M06
G97 S4200 F0.08
G00 X22 Y0 Z5
G01 Z-60
G00 Z5
G00 Y-1

(FINITURA 15)
G97 S7000 F0.06
G01 Z-60
G03 Y1 R1
G01 Z5
G00 X112

$InvertLathePart

G92 Z430 M04

(SGROSSATURA 1)
T01 M06
G96 S215 F0.30
G00 X116 Z3
G01 X0
G00 X116
G00 Z1
G01 X0
G00 X116 Z2

(FINITURA 1)
T02 M06
G96 S460 F0.25
G00 X116 Z0
G01 X0
G00 X116 Z2

(CENTRATURA 26)
T06 M06
G97 S2600 F0.10
G00 X0 Z2
G01 Z-16
G00 Z2
G00 X116

(SGROSS. 2, 27, 3, 4, 5)
T01 M06
G00 X116 Z2
G96 S195 F0.35
G71 P5 Q6 D3 U0.5 W0.5
G00 X116 Z2
N5 G00 X30
G01 Z-16
G01 X38
G01 X43 Z-46
G01 Z-110
N6 G01 X116

(FINITURA 2, 27, 3, 4, 5)
T02 M06
G00 X116 Z2
G96 S460 F0.25
G70 P5 Q6
G00 X116 Z2

(RETTIFICA 4)
T03 M06
G00 X43 Z-44
G96 S470 F0.20
G01 Z-110
G00 X116 Z2

(FORATURA 26)
T08 M06
G97 S480 F0.10
G00 Z2
G00 X0
G81 Z-52 K15 M08
G00 Z2 M09
G00 X116
M05

(FORATURA 25, 17, 19)
T09 M06
G97 S480 F0.10
G00 X0 Y-39
G00 Z-297
G81 Y39 J10 M08
G00 Y-39 M09
G00 Z-168
G81 Y39 J10 M08
G00 Y -39 M09
G00 Z-115
G00 Y -23.5
G81 Y 23.5 J10 M08
G00 Y -23.5 M09
G00 X100 Y-50 Z0
M30
```

3.9 SOTTOFASI *10 C*, *10 D*

```
G90
G92 Z199 M04

(SGROSSATURA 24, 7, 6)
T12 M06
G96 S205 F0.35
G00 X94 Z2
 N10 G01 X102 Z0
G01 X86 Z-38
G01 Z-46
G01 X90
G01 Z-91
G00 X100 Z0
 N11 G01 X98 Z0
G01 X82 Z-38
G01 Z-46
G01 X86
G01 Z-91
G00 X100 Z0
 N12 G01 X94 Z0
G01 X78 Z-38
G01 Z-46
G01 X82
G01 Z-91
G00 X100 Z0
 N13 G01 X90 Z0
G01 X74 Z-38
G01 Z-46
G01 X78
G01 Z-91
G00 X100 Z0
 N14 G01 X87 Z0
G01 X71 Z-38
G01 Z-46
G01 X75
G01 Z-91

(FINITURA 24, 7, 6)
G96 S330 F0.10
G00 X100 Z0
 N15 G01 X86 Z0
G01 X70 Z-38
G01 Z-46
G01 X74
G01 Z-91
G00 X94 Z2

(RETTIFICA 6)
T03 M06
G96 S470 F0.20
G00 X74 Z-44
G01 Z-91
G00 X94 Z2

M30
```

```
G90
G92 Z188 M04

(SGROSSATURA 9, 10, 11)
T11 M06
G96 S205 F0.35
G00 X94 Z-91
 N10 G01 X102 Z-89
G01 X86 Z-51
G01 Z-43
G01 X90
G01 Z2
G00 X100 Z-89
 N11 G01 X98 Z-89
G01 X82 Z-51
G01 Z-43
G01 X86
G01 Z2
G00 X100 Z-89
 N12 G01 X94 Z-89
G01 X78 Z-51
G01 Z-43
G01 X82
G01 Z2
G00 X100 Z-89
 N13 G01 X90 Z-89
G01 X74 Z-51
G01 Z-43
G01 X78
G01 Z2
G00 X100 Z-89
 N14 G01 X87 Z-89
G01 X71 Z-51
G01 Z-43
G01 X75
G01 Z2

(FINITURA 9, 10, 11)
G96 S330 F0.10
G00 X100 Z-89
 N15 G01 X86 Z-89
G01 X70 Z-51
G01 Z-43
G01 X74
G01 Z2


(RETTIFICA 11)
T03 M06
G96 S470 F0.20
G00 X74 Z-45
G01 Z2
G00 X94 Z2

M30
```

Per entrambe le torniture eccentriche i cicli di sgrossatura che vanno da *N10* a *N14* sono stati programmati manualmente, in quanto il software non permetteva di sgrossare quel tipo di profilo con la funzione *G71*. In questa versione in scala 1:1, inoltre, diamo per scontato che la macchina calcoli i profili da seguire tenendo contro dell'ingombro utensile, per semplificare la notazione e renderla più intuitiva. Tuttavia, nella versione in scala 1:2 le traiettorie sono state tracciate sommando opportunamente gli ingombri degli utensili, sulla base di quale fosse il riferimento scelto dal programma per ognuno di essi.

3.10 ALTRE VERSIONI

Per la simulazione del *part program* in scala 1:2 è possibile scaricare i files ai seguenti indirizzi:

	file	workpiece	
	Simulazione CNC – Principale.cnc	⌀ 56	L 220
	Simulazione CNC – Primo eccentrico.cnc	⌀ 94	L 200
	Simulazione CNC – Secondo eccentrico.cnc	⌀ 94	L 200

È fondamentale specificare le dimensioni del pezzo di lavorazione in utilizzo, riportate di fianco in tabella, dal menu: *Settings* > *Inventory Browser...* > *Lathe Workpieces*.

Un'altra versione del *part program* è quella elaborata dal software di simulazione *SolidWorks CAM 2020*. Si tratta di un programma la cui lunghezza ammonta a qualche migliaio di righe di codice, e per questo motivo improponibile, ma che comunque ha la sua utilità grafica (oltre che applicativa). *SolidWorks* ha permesso infatti di simulare fedelmente ogni singolo step della lavorazione del pezzo, di cui è possibile guardare un video accedendo al link qui di fianco (click sul codice QR se sei da PC).

Specifichiamo il fatto che il video sia di semplice impatto visivo, e non da interpretare in senso assoluto. Le imprecisioni contenute in esso sono molteplici: mancanza di supporti quali lunetta, contropunta, box e piastra per eccentrico, utilizzo di un mandrino singolo a tre griffe, e utensili e inserti non del tutto fedeli al catalogo riportato nel documento.

Guarda la simulazione!

3.11 POTENZA E TEMPI DI LAVORAZIONE

Le forze di taglio sono state calcolate con le formule

$$F_z = p_t S$$

in cui p_t rappresenta la pressione di taglio e S rappresenta la sezione del trucio, calcolabile come $avanzamento \times profondità\ di\ passata$ nel caso di tornitura e $(diametro\ di\ punta \times avanzamento)/4$ nel caso di foratura. La pressione di taglio è invece stata stimata utilizzando la formula

$$p_t = p_s S^{-1/n}$$

dove p_s è la pressione specifica di taglio e n è un fattore adimensionale che dipende dal materiale che si sta tagliando, nel nostro caso specifico si ha $1/n = 0.197$. La pressione specifica è stata calcolata utilizzando la teoria di Kronemberg secondo cui si ha, per gli acciai, come nel nostro caso,

$$p_s = 2.4 R_m^{0.454} \beta^{0.666}$$

Nella quale R_m è la resistenza a trazione e β l'angolo di taglio ($\beta = 90° - \alpha - \gamma$). Una volta ottenuta la forza di taglio, la potenza è stata calcolata moltiplicando il modulo di tale forza per la velocità di taglio, ricavata in precedenza quando sono stati definiti i parametri di taglio nel caso della tornitura, mentre per la foratura è stata ricavata la coppia, ottenuta moltiplicando la forza per $D/2$, e successivamente ottenuta la potenza moltiplicando per la velocità angolare della punta. I tempi di lavorazione sono stati invece calcolati dalla formula

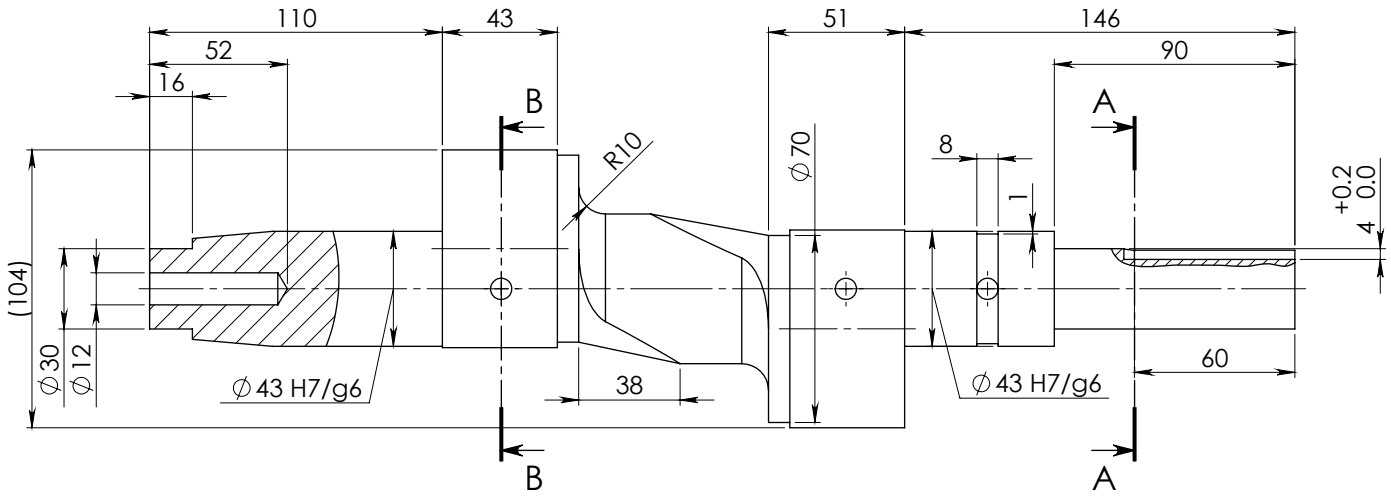
$$T_m = \frac{L + 2e}{f_r}$$

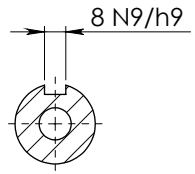
in cui L rappresenta la lunghezza di taglio, e l'extracorsa (nello specifico è stato preso come valore 2 mm) e f_r il feed rate, stimabile con la formula $f_r = fN$, con f il feed in mm e N il numero di giri al minuto, entrambi ricavabili dai parametri di taglio. Di seguito si riporta il foglio di calcolo utilizzato.

ALLEGATI

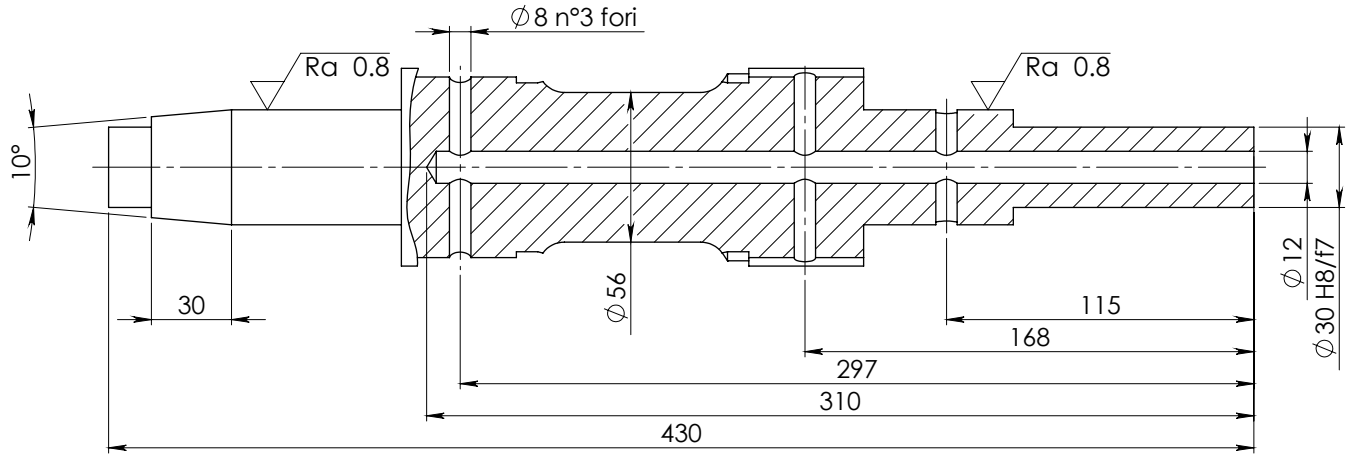
1. Foglio di calcolo delle potenze
2. Disegno del particolare
3. Disegno del box per eccentrico
4. Disegno della piastra per eccentrico
5. Foglio di ciclo
6. Foglio di fase
7. Specifiche tecniche Haas DS-30 Y
8. Mandrino UR-250 (rimpiazzato)
9. Mandrino HCF-12 (da montare)

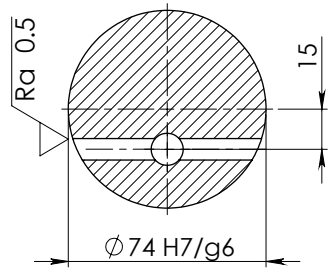
	T (min)	L (mm)	f (mm/r)	p (mm)	v (m/min)	n (r/min)	d (mm)	cicli	S (mm^2)	Ps (MPa)	Pc (MPa)	P (kW)	TEMPO	
Montaggio pezzo	1.00												ATTIVO	PASSIVO
Sgrossatura 14	0.63	56	0.30	2.25	215	611	112	2	0.68	3513	3796	9.18		
Finitura 14	0.18	56	0.25	0.50	460	1308	112	1	0.13	3513	5292	5.07		
Centratura 16	0.07	16	0.10	16.00	50	2654	6	1	0.30	4551	5769	1.44		
Sgrossatura 18, 13, 12, 21 (1)	5.80	146	0.35	3.00	195	801	77.5	11	1.05	3513	3479	11.87		
Sgrossatura 18, 13, 12, 21 (2)	0.46	90	0.35	3.00	195	1701	36.5	3	1.05	3513	3479	11.87		
Finitura 18, 13, 12, 21	0.20	187	0.25	0.50	460	3855	38	1	0.13	3513	5292	5.07		
Rettifica 12	0.08	56	0.20	0.05	470	3481	43	1	0.05	2026	3655	1.43		
Scanalatura 20	0.04	6	0.14	1.00	230	1787	41	1	0.14	3800	5597	3.00		
Sgrossatura 8, 23, 22	4.75	72	0.20	3.00	185	701	84	9	0.60	3800	4202	7.77		
Finitura 8, 23, 22	1.53	128	0.07	0.50	240	1233	62	1	0.04	3800	7355	1.03		
Foratura 16	7.03	15	0.10	15.00	18	478	12	21	0.60	4978	5505	0.99		
Sgrossatura 15	0.18	60	0.08	4.00	80	4246	6	1	0.32	2996	3750	3.20		
Finitura 15	0.29	120	0.06	4.00	135	7166	6	1	0.24	2996	3969	4.29		
Foratura 25, 17, 19 (1)	3.43	78	0.10	0.00	12	478	8	2	0.40	5100	6109	0.49		
Foratura 25, 17, 19 (2)	1.07	47	0.10	0.00	12	478	8	1	0.40	5100	6109	0.49	25.75	0.36
Inversione del pezzo	1.50													
Sgrossatura 1	0.63	56	0.30	2.25	215	611	112	2	0.68	3513	3796	9.18		
Finitura 1	0.18	56	0.25	0.50	460	1308	112	1	0.13	3513	5292	5.07		
Centratura 26	0.07	16	0.10	0.00	50	2654	6	1	0.30	4551	5769	1.44		
Sgrossatura 2, 27, 3, 4, 5 (1)	5.12	110	0.30	3.00	195	801	77.5	11	0.90	3513	3587	10.49		
Sgrossatura 2, 27, 3, 4, 5 (2)	0.11	16	0.30	3.00	195	1701	36.5	3	0.90	3513	3587	10.49		
Finitura 2, 27, 3, 4, 5	0.16	150	0.25	0.50	460	3855	38	1	0.13	3513	5292	5.07		
Rettifica 4	0.09	60	0.20	0.05	470	3481	43	1	0.05	2026	3655	1.43		
Foratura 26	1.34	15	0.10	15.00	18	478	12	4	0.60	4978	5505	0.99	7.69	0.23
Montaggio eccentrico	2.00													
Sgrossatura 24, 7, 6 (1)	0.41	38	0.35	3.00	205	837	78	3	1.05	2737	2711	9.73		
Sgrossatura 24, 7, 6 (2)	2.34	43	0.35	3.00	205	605	108	11	1.05	2737	2711	9.73		
Finitura 24, 7, 6	0.75	94	0.10	0.50	330	1314	80	1	0.05	2737	4939	1.36		
Rettifica 6	0.12	43	0.20	0.05	470	2023	74	1	0.05	2026	3655	1.43	3.61	0.06
Montaggio eccentrico	2.00													
Sgrossatura 9, 10, 11 (1)	0.41	38	0.35	3.00	205	837	78	3	1.05	2737	2711	9.73		
Sgrossatura 9, 10, 11 (2)	2.34	43	0.35	3.00	205	605	108	11	1.05	2737	2711	9.73		
Finitura 9, 10, 11	0.75	94	0.10	0.50	330	1314	80	1	0.05	2737	4939	1.36		
Rettifica 11	0.12	43	0.20	0.05	470	2023	74	1	0.05	2026	3655	1.43	3.61	0.06
Smontaggio pezzo	1.00													
Tempo TOTALE	48.17													





SEZIONE A-A

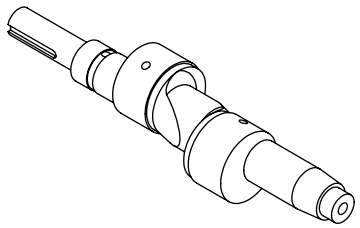




SEZIONE B-B

Ra 3.2 (Ra 0.5 Ra 0.8)

raccordi non quotati R 0.25

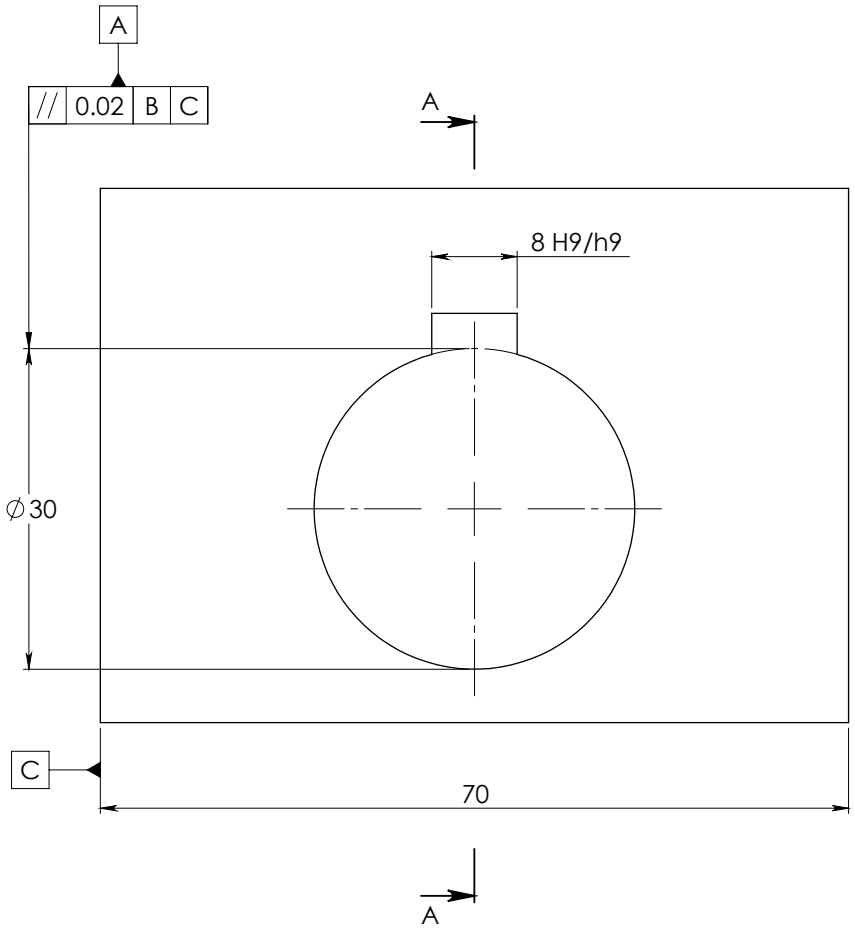


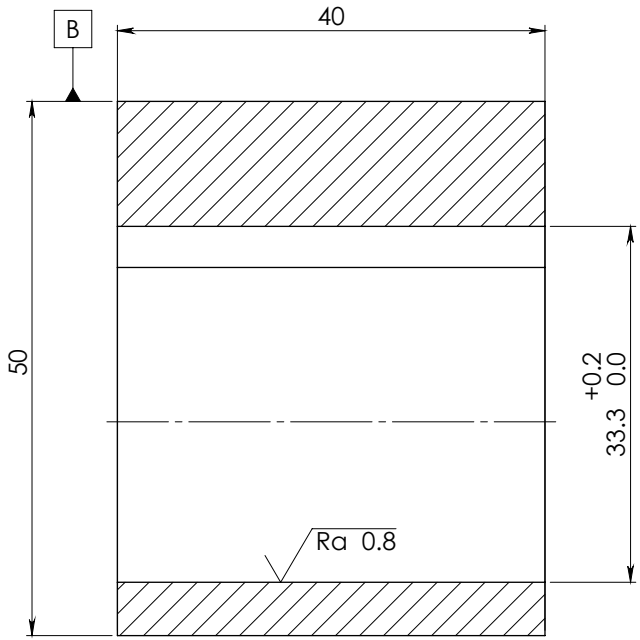
Università di Pisa
Scuola di ingegneria

Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa
Telefono: +39 050 221 7000
Email: scuola.ingegneria@unipi.it

Scala: 1 : 2	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella
		Data: 14/04/20	
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m		Ingegneria Meccanica, triennale
Denominazione:	Eccentric Shaft		Materiale: 30NiCrMo12

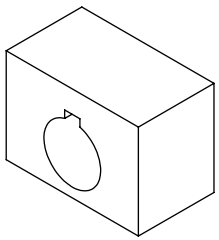
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





SEZIONE A-A

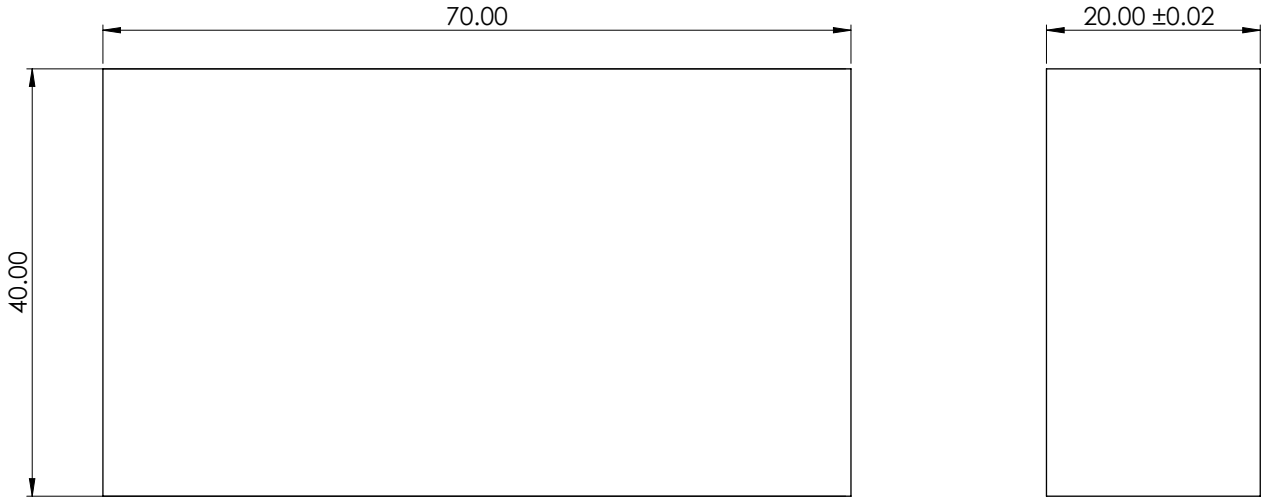
Ra 3.2 (Ra 0.8)

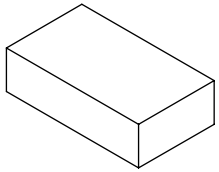


Università di Pisa
Scuola di ingegneria

Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa
Telefono: +39 050 221 7000
Email: scuola.ingegneria@unipi.it

Scala:	Foglio:	A.A.: 2019/2020	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella
2 : 1	1 / 1	Data: 18/07/20	
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m		Ingegneria Meccanica, triennale
Denominazione:	Box per eccentrico		Materiale: C70





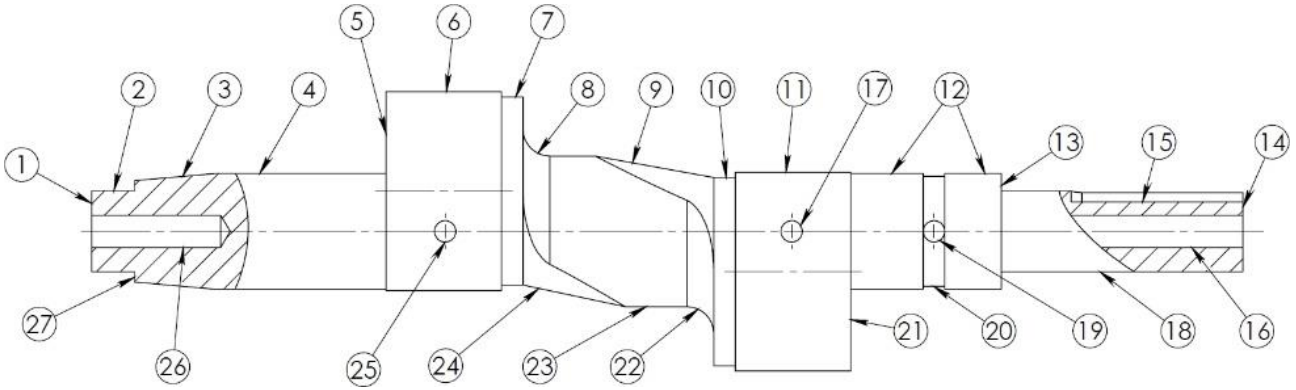
Università di Pisa
Scuola di ingegneria

Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa
Telefono: +39 050 221 7000
Email: scuola.ingegneria@unipi.it

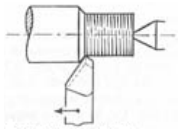
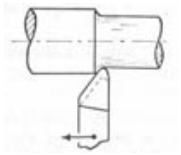
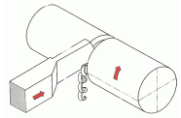
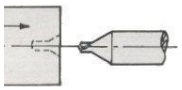
Scala: 2 : 1	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella
		Data: 10/04/20	Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali: ISO 2768 - m			
Denominazione: Piastra per eccentrico			Materiale: C70

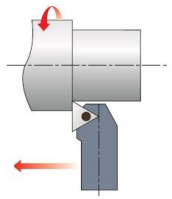
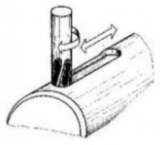
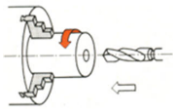
	Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale	Ciclo di lavorazione elemento: ECCENTRIC SHAFT	Foglio 1 di 1

Designazione superfici



Fasi			Macchina	Attrezzatura	Tempo attivo	Tempo passivo	Superficie di riferimento	Superficie di bloccaggio	Note
n.	Sottofasi e operazioni								
10	a	Sgrossatura e finitura 14 Centratura 16 Sgrossatura e finitura 18, 13, 12, 21 Rettifica 12 Scanalatura 20 Sgrossatura e finitura 8, 23, 22 Foratura 16 Sgrossatura e finitura 15 Foratura 25, 17, 19	Tornio CNC Haas DS-30Y	Piattaforma a morsetti autocentranti, lunetta, contropunta	25:45	1:22	SP14	SP4	Tempi riportati in formato *mm:ss*
	b	Sgrossatura e finitura 1 Centratura 26 Sgrossatura e finitura 2, 27, 3, 4, 5 Rettifica 4 Foratura 26			7:41	1:44	SR14	SR18	
	c	Sgrossatura e finitura 24, 7, 6 Rettifica 6		Piattaforma a morsetti autocentranti, box e piastra per eccentrico	3:37	2:04	SR14, SR15	SR2, SR18	Bloccaggio dell'albero con box e piastra per tornitura eccentrica
	d	Sgrossatura e finitura 9, 10, 11 Rettifica 11			3:37	3:04			

Fase di lavorazione n. 10 dell'elemento: ECCENTRIC SHAFT											Foglio 1 di 2
Materie prime		Materiale: 30NiCrMo12		Stato: grezzo di lavorazione	Diametro: 112 mm Lunghezza: 440 mm		Parametri di taglio				
Schizzo di lavorazione per sottofase		Operazione		Utensile	Controllo	Potenza macchina [kW]	Potenza di taglio [kW]	Velocità di taglio [m/min]	n. giri mandrino [g/min]		
		n	Descrizione			rendimento	n. passate	prof. di passata	avanzamento [mm/giro]		
a	*sgrossatura*  *finitura*  *sfacciatura*  *centratura* 	1	Sgrossatura 14	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335	Calibro imperiale/metrico, comparatore	22.4 -	9.18 2	215 2.25	611 0.30		
		2	Finitura 14	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315			5.07 1	450 0.50	1280 0.31		
		3	Centratura 16	DIN 374 / 376 K1311-6			1.44 1	50 16	2654 1.10		
		4	Sgrossatura 18, 13, 12, 21	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335			11.87 14	195 3	801 0.35	1701 0.35	
		5	Finitura 18, 13, 12, 21	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315			5.07 1	350 0.50	2933 0.31		
		6	Rettifica 12	CP-30AR-2525-11 CP-A1108-L3WX 43			1.43 1	470 0.25	3481 0.20		
		7	Scanalatura 20	C6-LF123L32C45080E N123K2-0600-0004-TM 4325			3.00 1	230 1	1787 0.14		
		8	Sgrossatura 8, 23, 22				7.77 9	185 3.00	701 0.20		
		9	Finitura 8, 23, 22	QD-NN1G60C25AY QD-NG-0300-RM 1125			1.03 1	240 0.50	1233 0.07		
		10	Foratura 16	100TGST120090M B225A12000HPX B274Z12000HPS			0.99 21	18 15	478 0.10		
		11	Sgrossatura 15	KM80ATCWNEM06065M R215.H4-06050BAC03P 1620			3.20 1	80 4	4246 0.08		
		12	Finitura 15				4.29 1	135 4	7166 0.06		
		13	Foratura 25, 17, 19	930-BB30-P-08-088 B274Z08000HPS			0.49 3	12 78, 47	478 0.10		

Fase di lavorazione n. 10 dell'elemento: ECCENTRIC SHAFT										Foglio 2 di 2
b	*rettifica*  *fresatura*  *foratura* 	1	Sgrossatura 1	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335			9.18 2	215 2.25	611 0.30	
		2	Finitura 1	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315			5.07 1	450 0.50	1280 0.31	
		3	Centratura 26	DIN 374 / 376 K1311-6			1.44 1	50 16	2654 0.10	
		4	Sgrossatura 2, 27, 3, 4, 5	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335			10.49 14	195 3	801 0.30	1701 0.30
		5	Finitura 2, 27, 3, 4, 5	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315			5.07 1	350 0.50	2933 0.31	
		6	Rettifica 4	CP-30AR-2525-11 CP-A1108-L3WX 43			1.43 1	470 0.25	3481 0.20	
		7	Foratura 26	100TGST120090M B225A12000HPX			0.99 4	18 15	478 0.10	
c		1	Sgrossatura 24, 7, 6	C5-TR-D13JCR-35060C TR-DC1308-F 1525			9.73 14	205 3	837 0.35	605 0.35
		2	Finitura 24, 7, 6				1.36 1	330 0.5	1314 0.10	
		3	Rettifica 6	CP-30AR-2525-11 CP-A1108-L3WX 43			1.43 1	470 0.25	2023 0.20	
d		1	Sgrossatura 9, 10, 11	C5-TR-D13JCL-35060C TR-DC1308-F 1525			9.73 14	205 3	837 0.35	605 0.35
		2	Finitura 9, 10, 11				1.36 1	330 0.5	1314 0.10	
		3	Rettifica 11	CP-30AR-2525-11 CP-A1108-L3WX 43			1.43 1	470 0.25	2023 0.20	

N.B: I valori in doppia colonna per singola cella contraddistinguono una stima di lavorazione effettuata in due step, nonostante questa avvenga in una sola volta.

Specifiche tecniche: DS 30-Y



Swing Diameter	
Riparo frontale	806 mm
Slitta trasversale	527 mm
Secondo mandrino	552 mm

Capacities	
Dimensioni autocentrante	254 mm
Diametro da lavorare max.	457 mm
Lunghezza di taglio max.	584 mm
Capacità della barra	76 mm
Corse	
Asse X	318 mm
Asse Z	584 mm

Feedrates	
Avanzamenti in rapido su X	12.0 m/min
Avanzamenti in rapido su Y	12.0 m/min
Avanzamenti in rapido su Z	24.0 m/min

Axis Motors	
Spinta max. X	18238 N
Spinta max. Y	10231 N
Spinta max. Z	22686 N

Spindle	
Naso mandrino	A2-6
Sistema di azionamento	Direct Speed, Belt Drive
Potenza max. nominale	22.4 kW
Velocità max.	4500 rpm
Coppia massima	373 Nm @ 600 rpm
Foro mandrino ø	88.9 mm

Main Spindle C Axis	
Potenza max. nominale	3.7 kW
Posizionamento (±)	0.01 °
Forza di frenata	4448 N
Diametro del freno	366 mm
Tipo di controllo	Interpolated Motion
Secondary Spindle	
Dimensioni autocentrante	210 mm
Naso mandrino	A2-5
Sistema di azionamento	Direct Speed, Belt Drive
Potenza max. nominale	14.9 kW
Velocità max.	4800 rpm
Coppia massima	149 Nm @ 700 rpm
Foro mandrino ø	50.8 mm
Capacità della barra	51 mm

Secondary Spindle Positioning	
Forza di frenata	2224 N
Diametro del freno	178 mm
Tipo di controllo	Positioning Only

Turret	
Numero di utensili	12 Stations
Gioco posteriore del bareno	102.0 mm

Live Tooling	
Velocità max.	6000 rpm
Coppia di riduzione	01:01
Utensili	BMT65

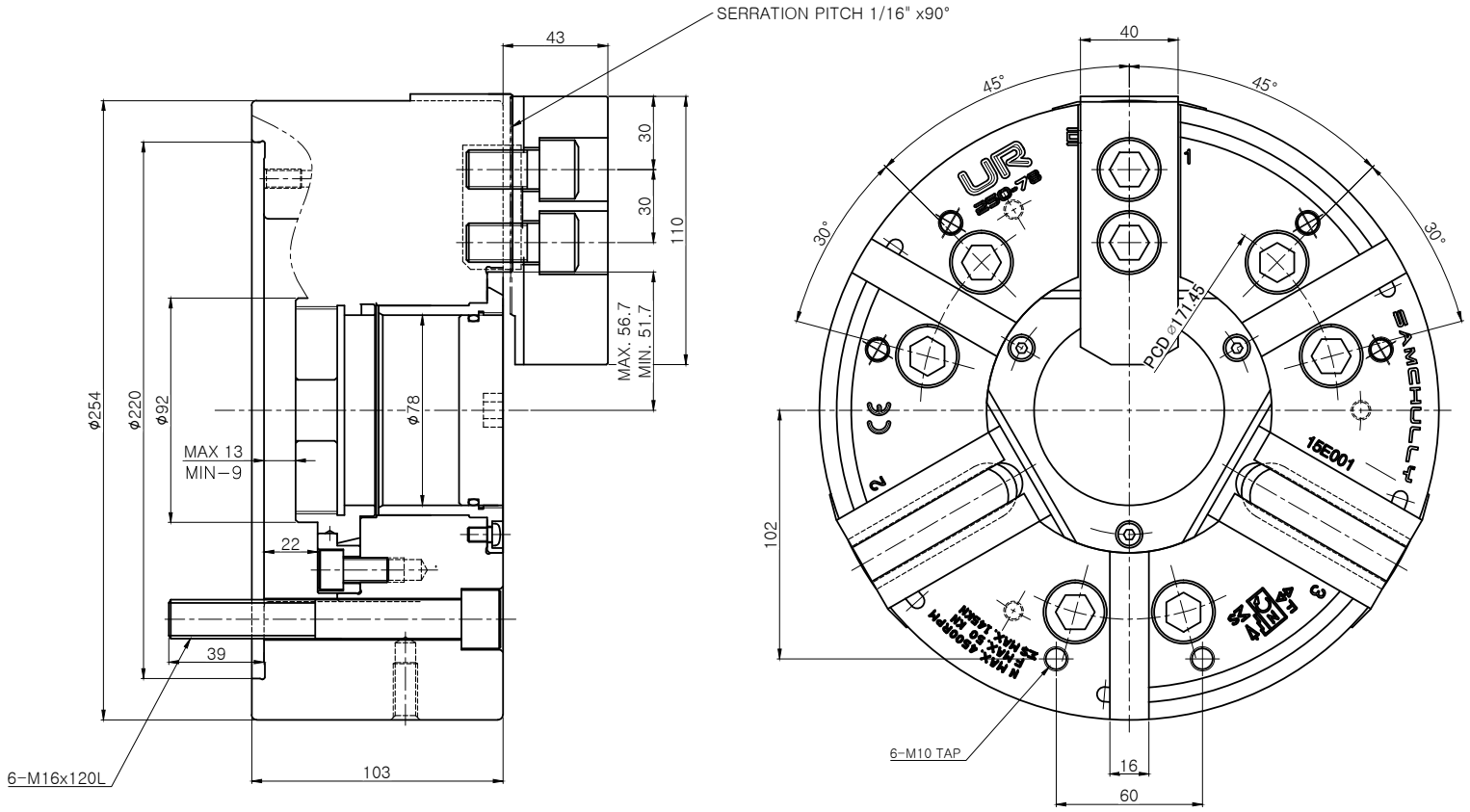
Generale	
Capacità refrigerante	208 L

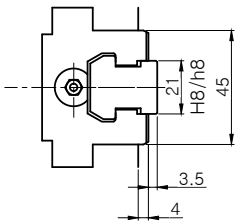
Air Requirements	
Aria richiesta	113 L/min @ 6.9 bar
Manicotto pneumatico in linea	3/8 in
Giunto (per aria)	3/8 in
Pressione aria min.	5.5 bar

Electrical Specification	
Velocità mandrino	4500 rpm
Sistema di azionamento	Direct Speed, Belt Drive
Potenza mandrino	22.4 kW
Tensione d’ingresso CA	220 VAC
Ampere a pieno carico	70 A
Tensione d’ingresso CA	440 VAC
Ampere a pieno carico	35 A

Dimensions - Shipping	
Pallet nazionale	435 cm x 229 cm x 234 cm
Pallet export	435 cm x 229 cm x 234 cm
Peso	7258.0 kg

A1





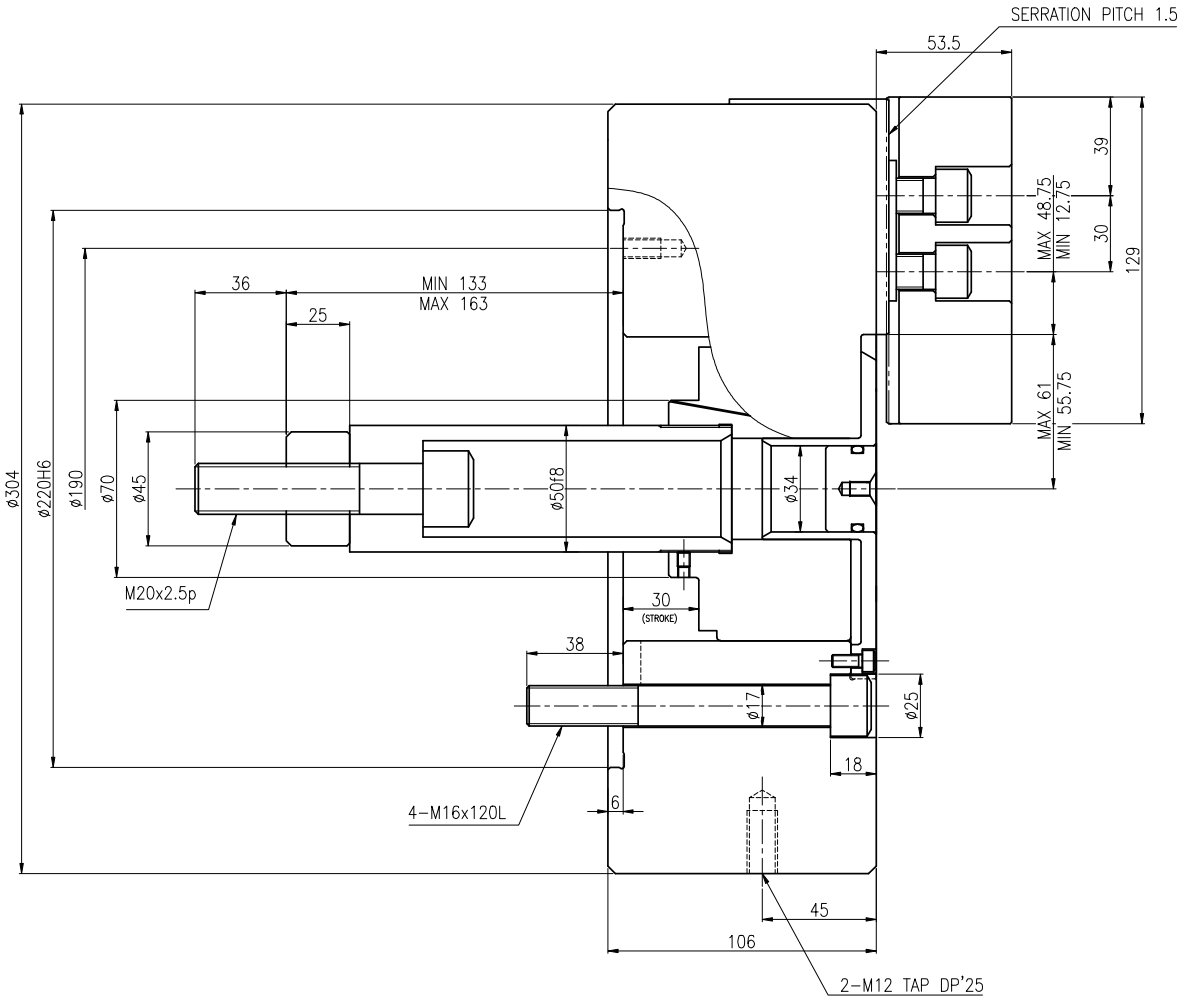
SPECIFICATION	
PLUNGER STOKE	22 mm
JAW STOKE (직경)	10.0 mm
PLUNGER 허용추력	5102kgf (50 kN)
최대 파악력	14795kgf (145 kN)
최고 회전수	4500 r.p.m.
WEIGHT (SOFT JAW 부착)	32 kgf
$G \cdot D^2$ (SOFT JAW 부착)	0.329 kgf·m²
최고 회전중 파악력	4200 kgf
사용 CYLINDER	SH-19082
최대 설정 유압력	28 kg/cm²

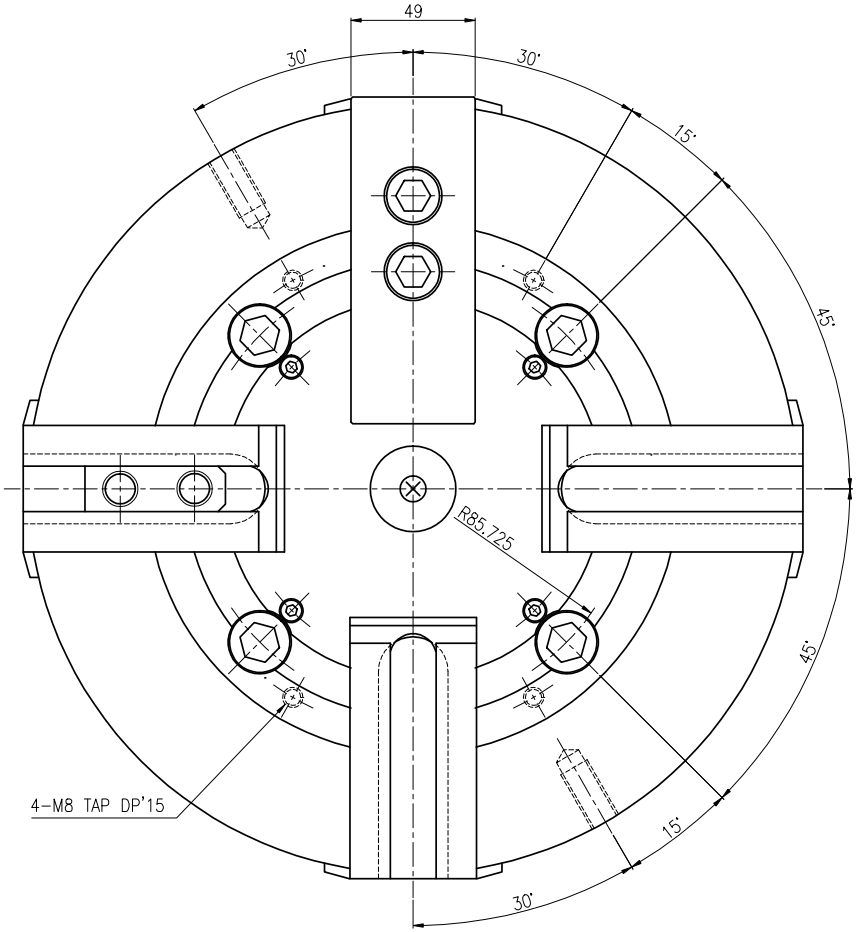
⚠				
기호	변 경 내 용	날 짜	수 정	승 인
변 경 사 항				

NOTE

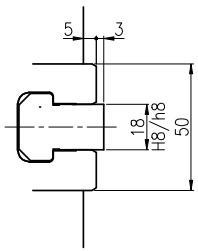
1. BALANCE는 1g 이내를 목표로 할 것.
   (SOFT JAW 포함하지 않을 것.)

순 번	0	규 격	UR-250	부품명	외형도
분 류	UR-250 외형도			분 류	초고속중공유압척
도 번	UR-250-00			부 서	기술연구소
투 상 3각법			이충재	날 짜	2015. 06. 08.
척 도 1 : 1	이호범	이충재		SAMCHULLY	
	승 인	검 도	설 계		





SPECIFICATION	
PLUNGER STOKE	30 mm
JAW STOKE (직경)	10.5 mm
PLUNGER 허용추력	2,805 kgf
최대 파악력	10,605 kgf
최고 회전수	3,000 r.p.m.
WEIGHT (SOFT JAW 포함)	55 kgf
$G \cdot D^2$ (SOFT JAW 포함)	2.83 kgf·m^2
적용 CYLINDER	Y-1530R
최대설정유압력	18.4 kg/cm^2



순 번	-	규 격	-	부품명	외형도
분 류	고속 중실 유압척			납품처	
도 번	HCF-12-WEB			사용처	
투 상	3각법			날 짜	
척 도	1 : 1	승 인	검 도	설 계	SAMCHULLY

4 STATIONARY GEAR

La lavorazione del pezzo in esame è eseguita su macchine utensili non a controllo numerico poiché parte di un progetto con scopo prettamente didattico; di norma, infatti, trattandosi di un componente di un motore automobilistico, sarebbe giustificato l'utilizzo di una macchina CNC, grazie alla quale è possibile ridurre il tempo e i costi di lavorazione.

4.1 PROCESSO DI LAVORAZIONE

Dopo un'analisi del disegno sono state individuate e contrassegnate tramite bollatura le superfici del pezzo sulle quali sarà necessaria una lavorazione. Successivamente sono state scelte le possibili lavorazioni attuabili sul pezzo; ove possibile è stata preferita l'operazione di tornitura, vista l'assialsimmetria del pezzo. Nello specifico, ad esclusione dei sei fori *11*, verranno tutte ottenute tramite tornitura, compresa la superficie *10*, per la quale verrà eseguito un preforo per permettere la tornitura interna della superficie. È stata scelta tale operazione a causa della dimensione del foro (*ø 43*) e a causa della lavorazione di barenatura necessaria a garantire la rugosità superficiale, eseguita sul tornio con utensile apposito successivamente. La suddivisione in fasi è stata fatta in base alla macchina necessaria per le lavorazioni; quella in sottofasi in base alle superfici di bloccaggio e all'orientazione del pezzo. La sequenza delle operazioni è stata studiata così che fossero minimizzati i tempi attivi e i tempi passivi, muovendo il pezzo solo quando necessario. L'ordine delle sottofasi, ove presenti, è dato da esigenze di bloccaggio e orientazione del pezzo.

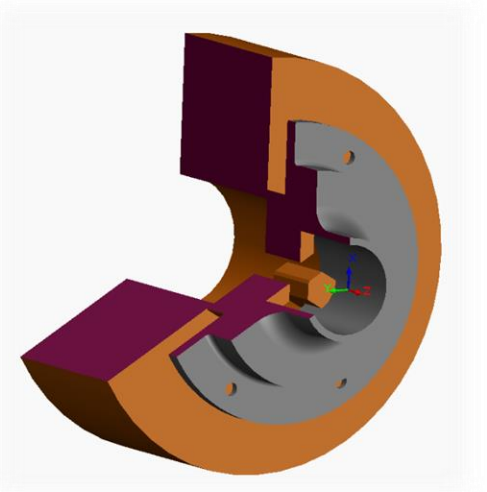


Figura 4.1: sezione a 2/3 del bloccaggio interno sulla superficie 10, sottofase 10 b

4.2 SCELTA DEI MATERIALI

La scelta è ricaduta sul 39NiCrMo3. Le ragioni di tale scelta riguardano principalmente le sue proprietà meccaniche e la lavorabilità, nonché il costo. Esso deve infatti supportare l'albero, su di esso quindi saranno scaricate parte delle sollecitazioni a cui è soggetto quest'ultimo. I diversi elementi di lega conferisco:

- Nichel: migliora la resistenza alla corrosione, all'ossidazione a caldo, facilita il trattamento termico di tempra, aumenta la resilienza, aumenta l'allungamento percentuale a rottura e la duttilità, aumenta il carico di rottura a trazione, aumenta la durezza. Peggiora invece la lavorabilità alle macchine utensili e la conducibilità termica;
- Cromo: aumenta la resistenza alla corrosione ed all'ossidazione a caldo, facilita il trattamento termico di tempra, aumenta la durezza, aumenta la resilienza, aumenta il carico di rottura, aumenta la resistenza all'usura. Peggiora conducibilità termica e lavorabilità alle macchine utensili;
- Molibdeno: aumenta la lavorabilità alle macchine utensili, aumenta il carico di rottura a trazione, aumenta la durezza, aumenta la resistenza all'usura, aumenta la resistenza alla corrosione ed all'ossidazione a caldo.

4.3 SCELTA DELLE MACCHINE UTENSILI

Le macchine utensili sono state scelte considerando l'ingombro del pezzo da lavorare (*152x65* il grezzo, *145x57* il semilavorato) e considerando una prima stima riguardante delle velocità di rotazione per le superfici che richiedevano le finiture migliori. Successivamente abbiamo verificato, una volta scelti gli utensili e i parametri di taglio, che le caratteristiche della macchina permettessero tali operazioni. Sulla base di tali considerazioni è stato scelto il tornio *Ursus 300*, mentre per le operazioni di foratura è invece stato scelto il trapano *Itama T55 1600 RH*. Le schede tecniche delle due macchine sono riportate a fine capitolo.

4.4 SCELTA DEGLI UTENSILI

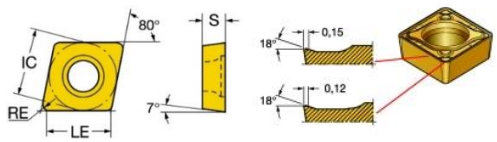
Gli utensili sono stati selezionati dai cataloghi della Sandvik Coromant e WNT, analizzandone i parametri consigliati e i materiali, così da scegliere quelli ritenuti più adatti. Di seguito si riportano quelli selezionati e le relative tabelle identificative con i codici contenuti nel foglio di fase.

Codice CNC	Utensile / Inserto
T01	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335
T02	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315
T08	100TGST120090M B225A12000HPX

Codice CNC	Utensile / Inserto
T13	930-BB30-P-08-088 460.1-0653-033A1-XM GC34
T14	930-BB30-P-08-088 DIN 373
T15	825D-45TC09U-C3L TCMT 09 02 04-PM 4335

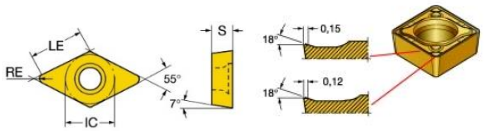
4.5 INSERTI E PUNTE

T01: CCMT 09 T3 12-PR 4335



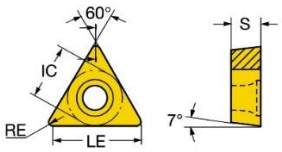
Numero di taglienti (CEDC) **2**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **9,525 mm**
Lunghezza effettiva del tagliente (LE) **8,472 mm**
Raggio di punta (RE) **1,191 mm**
Spessore dell'inserto (S) **3,969 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,003 kg**

T02: DCMT 11 T3 08-UF 4315



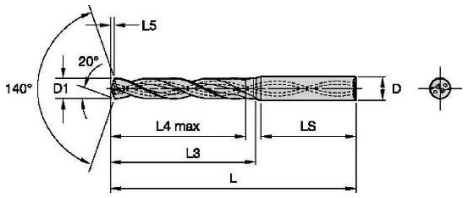
Numero di taglienti (CEDC) **2**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **9,525 mm**
Lunghezza effettiva del tagliente (LE) **10,828 mm**
Raggio di punta (RE) **0,794 mm**
Spessore dell'inserto (S) **3,969 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,005 kg**

T15: TCMT 09 02 04-PM 4335



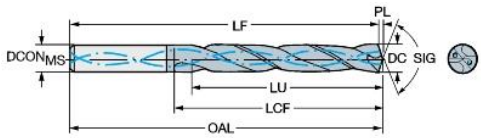
Numero di taglienti (CEDC) **3**
Diametro del cerchio inscritto (IC) **5,556 mm**
Lunghezza effettiva del tagliente (LE) **8,97 mm**
Raggio di punta (RE) **0,397 mm**
Spessore dell'inserto (S) **2,381 mm**
Angolo di spoglia inferiore principale (AN) **7 deg**
Peso dell'articolo (WT) **0,002 kg**

T08: B225A12000HPX



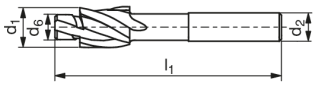
[D1] Drill Diameter Min Metric	**12**
[D1] Drill Diameter Min Inch	**.4724**
[L] Overall Length Metric	**118**
[L3] Flute Length Metric	**71**
[L4] Max. Drill Depth Metric	**58**
[L5] Drill Point Length Metric	**2,520**
[LS] Shank Length Metric	**45,0**
[D] Adapter/Shank/Bore Dia	**12,0**

T13: 460.1-0653-033A1-XM GC34



Diam. di taglio (DC) **6,53 mm**
Lunghezza utile (LU) **33,6 mm**
Diam. di collegamento **8 mm**
Angolo di punta (SIG) **140 deg**
Lung. della punta (PL) **1 mm**
Lung. globale (OAL) **91 mm**
Lung. funzionale (LF) **90 mm**
Lung. dell'elica (LCF) **53 mm**
Peso dell'articolo (WT) **0,051 kg**

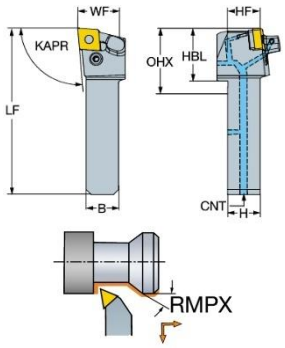
T14: DIN 373



Filettatura: **M6**
d1: **11 mm**, d2: **8 mm**
l1: **80 mm**, d6: **6.4 mm**

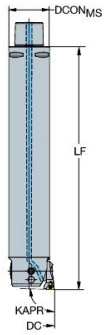
4.6 UTENSILI E ADATTATORI

T01, T02: QS-PCLNR 2020-12C



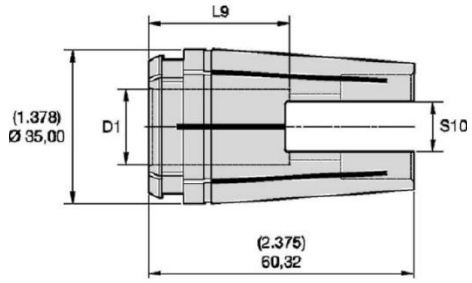
Versione (HAND) **R**
Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR) **95 deg**
Angolo di attacco dell'utensile (PSIR) **-5 deg**
Ang max lavorazione del piano incl (RMPX) **0 deg**
Angolo del corpo lato pezzo (BAWS) **0 deg**
Sporgenza minima (OHN) **32 mm**
Sporgenza massima (OHX) **52 mm**
Larghezza dello stelo (B) **20 mm**
Altezza dello stelo (H) **20 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **101 mm**
Larghezza funzionale (WF) **25 mm**
Altezza funzionale (HF) **20 mm**
Peso dell'articolo (WT) **0,325 kg**

T15: 825D-45TC09U-C3L



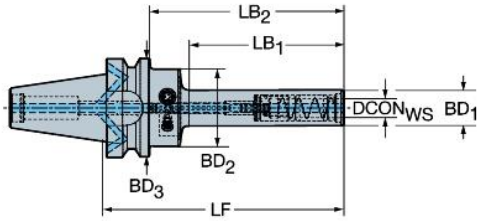
Diametro di taglio minimo (DCN) **35 mm**
Diametro di taglio massimo (DCX) **45 mm**
Angolo del tagliente dell'utensile (KAPR) **92 deg**
Numero di articoli da taglio (CICT) **1**
Diametro di collegamento (DCON) **32 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **221 mm**
Diametro del corpo (BD1) **32 mm**
Lunghezza del corpo (LB1) **221 mm**
Peso dell'articolo (WT) **1,484 kg**

T08: 100TGST120090M



Tap Range Metric **M16**
[D1] Clamping Diameter Max **12 mm**
[S10] Square Size Metric **9 mm**
[L9] Clamping Hole Length **30 mm**

T13, T14: 930-BB30-P-08-088



Diametro di collegamento (DCON) **8 mm**
Misura del filetto (CRKS) **M12**
Lunghezza di bloccaggio (LSC) **37 mm**
Lunghezza funzionale (LF) **88 mm**
Diametro del corpo (BD1) **17,5 mm**
Diametro del corpo (BD2) **40 mm**
Diametro del corpo (BD3) **46 mm**
Lunghezza del corpo (LB1) **45,8 mm**
Lunghezza del corpo (LB2) **66 mm**
Lunghezza del corpo (LB3) **88 mm**
Peso dell'articolo (WT) **0,587 kg**

4.7 POTENZA E TEMPI DI LAVORAZIONE

Per i calcoli sono state utilizzate formule analoghe a quelle utilizzate per l'albero (paragrafo 3.10). Di seguito si riporta il foglio di calcolo utilizzato.

ALLEGATI

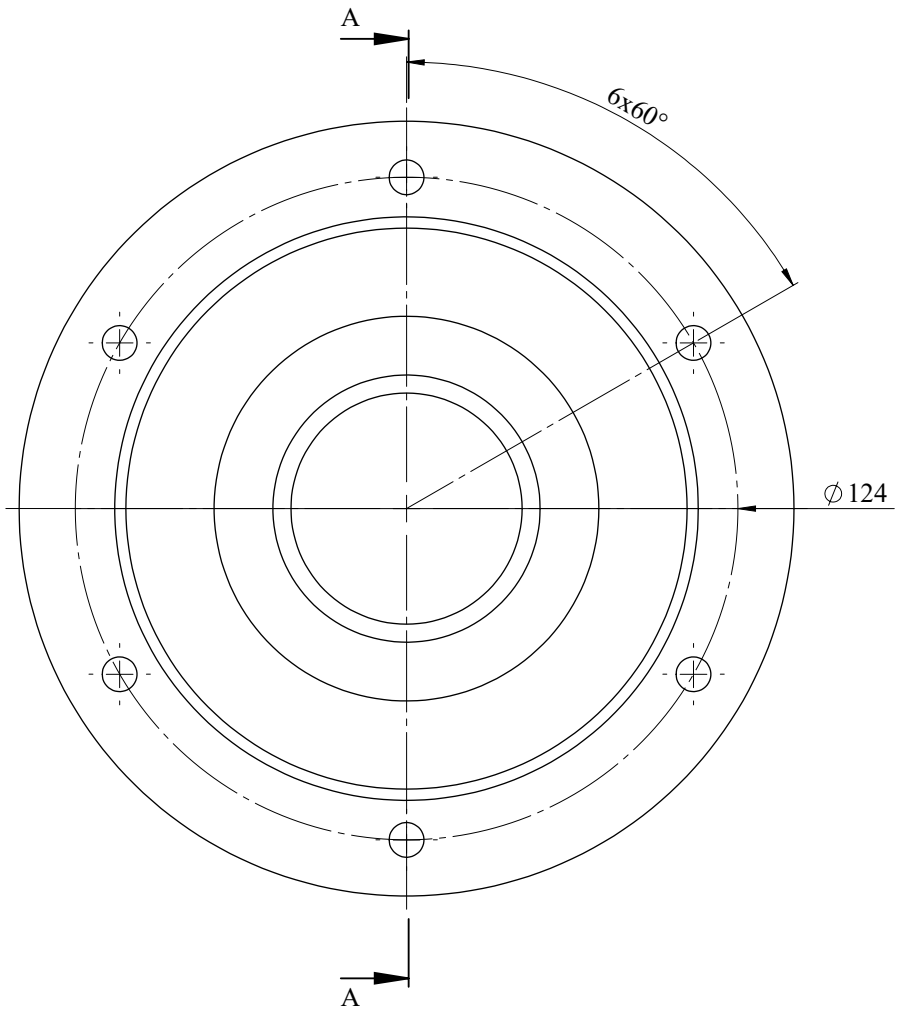
1. Foglio di calcolo delle potenze
2. Disegno del particolare
3. Foglio di ciclo
4. Foglio di fase
5. Specifiche tecniche URSUS 300 e t55-1600 rh

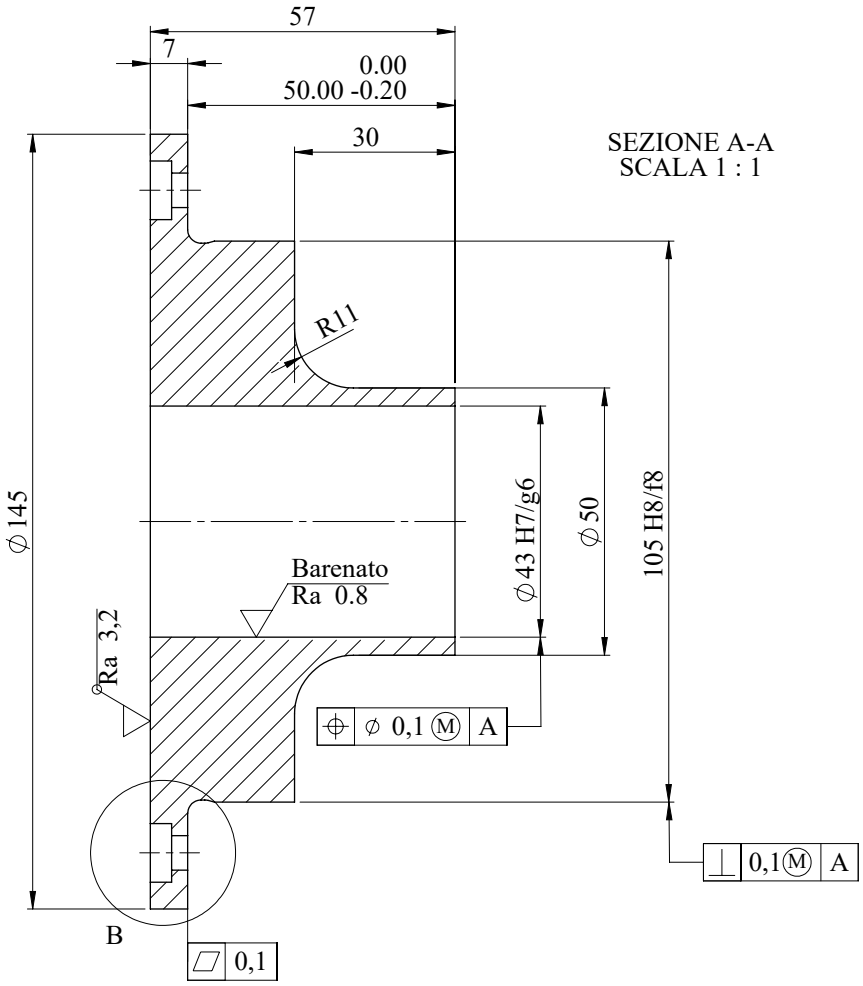
Lavorazione al tornio:

	To (min)	L (mm)	f (mm/r)	p (mm)	v (m/min)	n (r/min)	d (mm)	cicli	S (mm^2)	Ps (MPa)	Pc (MPa)	P (kW)	TEMPO	
Montaggio pezzo	1.00												ATTIVO	PASSIVO
Sgrossatura 8	0.25	15	0.30	2.00	215	450	152	2	0.600	3513	3885	8.35		
Sgrossatura 9	1.04	72	0.30	2.00	215	472	145	2	0.600	3513	3885	8.35		
Sgrossatura 10 (1)	5.11	57	0.10	57.00	18	478	12	4	0.600	4978	5505	0.99		
Sgrossatura 10 (2)	0.47	57	0.35	3.00	195	2218	28	6	1.050	3513	3479	11.87	6.88	1.00
Inversione del pezzo	1.00													
Sgrossatura 1, 2, 3, 4, 5, 7 (1)	2.21	53	0.35	3.00	195	497	125	7	1.050	3513	3479	11.87		
Sgrossatura 1, 2, 3, 4, 5, 7 (2)	1.13	33	0.35	3.00	195	796	78	9	1.050	3513	3479	11.87		
Finitura 1, 2, 3, 4, 5, 7	0.28	100	0.25	0.50	460	1465	100	1	0.125	3513	5292	2.54		
Esecuzione gola 6	0.02	5	0.25	1.00	460	1395	105	1	0.250	3513	4616	2.95	3.64	1.00
Cambio afferraggio	1.00													
Barenatura 10	0.24	57	0.10	0.50	345	2555	43	1	0.050	3513	6339	0.46	0.24	1.50
Smontaggio	0.50													
Tempo TOTALE	14.26													

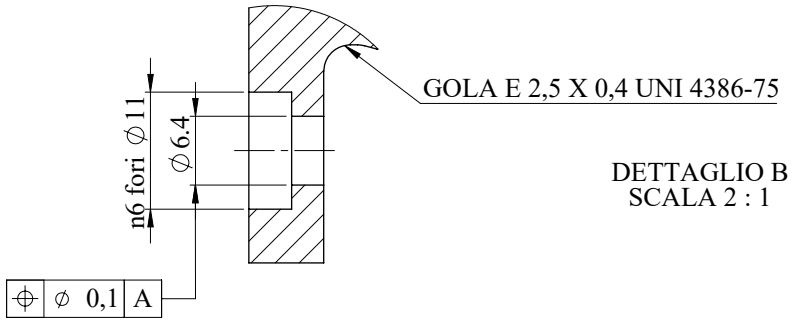
Lavorazione con trapano:

	To (min)	L (mm)	f (mm/r)	p (mm)	v (m/min)	n (r/min)	d (mm)	cicli	S (mm^2)	Ps (MPa)	Pc (MPa)	P (kW)	TEMPO	
Montaggio pezzo n° 6 volte	3.00												ATTIVO	PASSIVO
Foratura 11	0.75	7	0.10	7.00	18	878	7	6	0.327	5100	6358	0.62		
Allargatura 11	0.86	4	0.08	4.00	18	521	11	6	0.320	2996	3750	1.08	1.62	3.20
Smontaggio	0.20													
Tempo TOTALE	4.82													





SEZIONE A-A
SCALA 1 : 1



DETTAGLIO B
SCALA 2 : 1

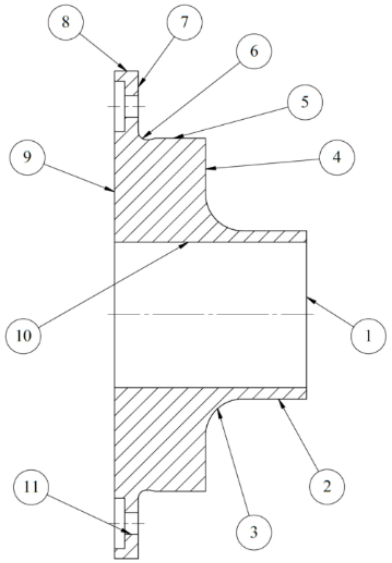
Ra 3,2

(Barenato
Ra 0.8)

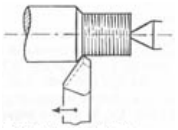
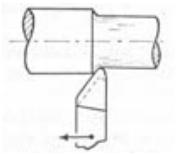
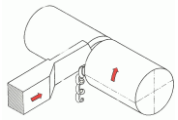
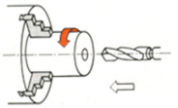
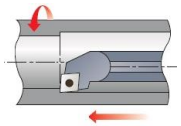
Università di Pisa Scuola di ingegneria				Largo Lucio Lazzarino, 2, 56122 Pisa Telefono: +39 050 221 7000 Email: scuola.ingegneria@unipi.it
	Scala: 1 : 1	Foglio: 1 / 1	A.A.: 2019/2020 Data: 10/04/20	Cabiddu, Ciliberti, Minosi, Romanella Ingegneria Meccanica, triennale
Tolleranze generali:	ISO 2768 - m			
Denominazione:	Stationary gear			Materiale: 39NiCrMo3

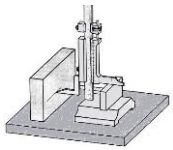
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

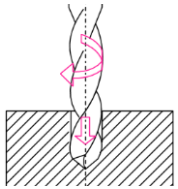
Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale	Ciclo di lavorazione elemento: STATIONARY GEAR	Foglio 1 di 1



Fasi			Macchina	Attrezzatura	Tempo attivo	Tempo passivo	Superficie di riferimento	Superficie di bloccaggio	Note
n.	Sottofasi e Operazioni								
10	a	Sgrossatura 8 Sgrossatura 9 Sgrossatura 10	Tornio CMT Ursus 300	Mandrino Autocentrante	6:53	1:00	SP9	SP2	Tempi riportati in formato *mm:ss*
	b	Sgrossatura e finitura 1, 2, 3, 4, 5, 7 Esecuzione gola 6			3:38	1:00	SP9	SP10	
	c	Barenatura 10			0:14	1:30	SP9	SP5	
20	a	Tracciatura 11	Banco di tracciatura	Truschino	-	-	SP9	SP1	
30	a	Foratura e allargatura 11	Trapano Itama T55 1600 RH		1:37	3:12	SP9	SP1	

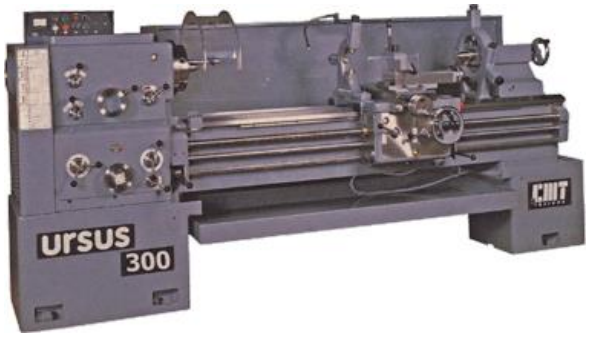
Fase di lavorazione n. 10 dell'elemento: STATIONARY GEAR										Foglio 1 di 2
Materie prime		Materiale: C40 39NiCrMo3		Stato: grezzo di lavorazione	Diametro: 152 mm Lunghezza: 65 mm	Parametri di taglio				
Schizzo di lavorazione per sottofase		Operazione		Utensile	Controllo	Potenza macchina [kW]	Potenza di taglio [kW]	Velocità di taglio [m/min]	n. giri mandrino [g/min]	
		n	Descrizione			rendimento	n. passate	prof. di passata	avanzamento [mm/giro]	
a	*sgrossatura* 	1	Sgrossatura 8	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335	Calibro imperiale/metrico, comparatore		8.35 2	215 2	450 0.3
		2	Sgrossatura 9				8.35 2	215 2	472 0.3
	finitura 	3	Sgrossatura 10	100TGST120090M B225A12000HPX 825D-45TC09U-C3L CCMT 09 T3 12-PR 4335			0.99 4	18 57	478 0.10
							11.87 6	195 3	2218 0.35
b	*sfacciatura* 	1	Sgrossatura 1, 2, 3, 4, 5, 7	QS-PCLNR 2020-12C CCMT 09 T3 12-PR 4335			11.87 16	195 3	650 0.35
		2	Finitura 1, 2, 3, 4, 5, 7	QS-PCLNR 2020-12C DCMT 11 T3 08-UF 4315			2.54 1	460 0.5	1465 0.25
	foratura 	3	Esecuzione gola 6				2.95 1	460 1	1395 0.25
c	*barenatura* 	1	Barenatura 10	825D-45TC09U-C3L TCMT 09 02 04-PM 4335			0.46 1	345 0.5	2555 0.10

Fase di lavorazione n. 20 dell'elemento: STATIONARY GEAR									Foglio 2 di 2
Schizzo di lavorazione per sottofase		Operazione		Utensile	Controllo	Potenza macchina [kW]	Potenza di taglio [kW]	Velocità di taglio [m/min]	n. giri mandrino [g/min]
		n	Descrizione			rendimento	n. passate	prof. di passata	avanzamento [mm/giro]
a	*tracciatura* 	1	Tracciatura 11	Truschino					

Fase di lavorazione n. 30 dell'elemento: STATIONARY GEAR									
Schizzo di lavorazione per sottofase		Operazione		Utensile	Controllo	Potenza macchina [kW]	Potenza di taglio [kW]	Velocità di taglio [m/min]	n. giri mandrino [g/min]
		n	Descrizione			rendimento	n. passate	prof. di passata	avanzamento [mm/giro]
a	*foratura* 	1	Foratura 11	930-BB30-P-08-088 460.1-0653-033A1-XM GC34	Calibro imperiale/metrico		0.62 6	18 7	878 0.10
	allargatura 	2	Allargatura 11	930-BB30-P-08-088 DIN 373			1.08 6	18 4	521 0.08

N.B: I valori in doppia colonna per singola cella contraddistinguono una stima di lavorazione effettuata in due step, nonostante questa avvenga in una sola volta.

Specifiche tecniche: **URSUS 300**



Altezza punte sul banco	mm 300
Distanza nominale punte	mm 3000
Distanza effettiva fra le punte	mm 3100
Diametro foro mandrino	mm 105
Naso mandrino	C.L. 8"
Bussola riduzione per mandrino	Cono Morse 5
Diametro cuscinetto anteriore	mm 140
Diametro cuscinetto posteriore	mm 130
Volteggio sul banco	mm 600
Diametro max. tornibile sulla slitta	mm 375
Corsa slitta trasversale	mm 380
Corsa carrellino portautensile	mm 165
Larghezza banco	mm 330
Campo di lavoro lunetta fissa	mm 98 + 240
Campo di lavoro lunetta mobile	mm 16 + 105
Diametro cannotto contropunta	mm 68
Corsa cannotto	mm 195
Cono della contropunta	Cono Morse 5
Potenza motore mandrino (opzione)	kW 9,2 (12,5)
Numero vel. rot. mandrino	16
Gamma vel. rot. mandrino standard	min^{-1} 23-1000
Gamma vel. rot. mandrino opzione	min^{-1} 35-1500
Avanzamenti di lavoro	28
Avanzamenti longitudinali	0,06 + 0,84
Avanzameti trasversali	0,03 + 0,42
Superficie occupata in pianta	mm^2 4650 x 1100

Specifiche tecniche: **t55-1600 rh**



Capacità di foratura su acciaio	mm 55
Capacità di foratura su ghisa	mm 60
Capacità di maschiatura su acciaio	M 45
Capacità di maschiatura su ghisa	M 55
Attacco mandrino C.M.	No. 5
Corsa del mandrino	mm 315
Avanzamenti del mandrino	No. 16
Gamma avanz. del mandrino	mm/rev 0.04/3.20
Distanza tra colonna e mandrino	mm 350 ~ 1600
Angolo di rotazione del braccio	deg 360°
Distanza tra basamento e mandrino	mm 320/1220
Corsa longitudinale della testa	mm 1250
Gamma giri mandrino	Rpm 25/2000
Diametro della colonna	mm 350
Dimensioni del basamento	mm^3 2380x980x210
Dimensioni utili del cubo	mm^3 500x630x500
Potencia del motor del husillo	kW 3 4
Potenza del motore sollev.	kW 1,5
Potenza blocc. idraulici	kW 0,75
Potenza dell'elettropompa	kW 0,09
Dimensioni d'ingombro	mm^3 2500x1070x2655
Peso netto approssimativo	Kg 3500