POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

Ciclo automatico innovativo per il processo di foratura di precisione di torrette per meccanismi a camma: studio e valutazione

Relatori

Prof. Andrea Manuello Bertetto

Ing. Alessandro Nardella – Italplant S.r.l

Candidato

Conte Gabriele

7 Aprile 2022

Sommario 1

Abstract 2

Capitolo 1: Descrizione azienda – Italplant S.r.l. 3

1.1 Storia e profilo dell'azienda 3
1.2 Prodotti principali 4
Globoidal Indexer 5
Precision Conveyor 8
1.1 Mission e vision 10

Capitolo 2: Analisi ciclo di foratura di precisione 12

2.1 Formule e definizioni 13
2.2 Fresatrice Newall 17
2.3 Divisore Nikken 19
2.4 Ciclo di foratura 22
01. Operazioni preliminari 22
02. Foratura - sgrossatura 25
03. Foratura - finitura 29
04. Spianatura 32
05. Svasatura 33
06. Maschiatura 34
2.5 Rilievo - Indexer SX 60 -10 fori 36
2.6 Rilievo - Indexer SOTL SX 60 – 6 fori 39
2.7 Punti critici del processo 42
Operazioni preliminari 42
Foratura 43
Tempo ciclo passivo 44

Capitolo 3: Nuovo ciclo di foratura 46

3.1 Tecnologie di taglio 47
Utensili - Sgrossatura 48
Utensili – Finitura 50
3.2 Nuova sequenza del ciclo 55
1. Parametri di taglio 57
2. Ordine d'acquisto degli utensili 66
3. Test sgrossatura con punta a cuspide 69
3.3 Teste di foratura e maschiatura 71
1. Unità singola di foratura – DXP 18 72
2. Unità singola di maschiatura – TX 20 73
3. Unità combinata foratura-maschiatura – DXE 16 74
3.4 Torretta a revolver 75
3.5 Soluzioni per ciclo automatico 77
Setup torretta HT200 78
Retrofit fresatrice Newall 82
Nuovo centro di lavoro CNC 83
Foratura presso centro di lavoro CNC a 5 assi 84

Conclusioni 86

Bibliografia e sitografia 89

Sommario

Il seguente elaborato ha come oggetto l'analisi di un processo di foratura di precisione eseguito presso Italplant S.r.l., azienda con sede a Torino, specializzata nella produzione di macchine automatiche ad alta precisione e ripetibilità quali globoidal indexer e conveyor.
Il ciclo in esame è relativo alla foratura di precisione delle torrette; i fori richiedono stringenti tolleranze per assicurare il corretto posizionamento dei perni folli e, quindi, garantire le specifiche di precisione, ripetibilità e affidabilità degli indexer.
Attualmente il processo è eseguito in officina mediante una fresatrice verticale tradizionale che, a causa dei suoi limiti tecnici, richiede maggiori tempi ciclo sia attivi che passivi, limita l'azienda nella produttività e ne condiziona la logistica dei processi interni.
L'obiettivo preposto dall'azienda è quello di ottimizzare il ciclo di foratura con lo scopo di renderlo automatico e maggiormente produttivo, mantenendo inalterata la qualità del processo.
Nel primo step è stato analizzato dettagliatamente il processo di foratura attuale. È stata eseguita un'attività di rilevamento del tempo ciclo relativamente alla foratura di due differenti tipologie di torrette al fine di ricercare i punti critici su cui intervenire.
Le soluzioni individuate per raggiungere il target previsto sono:

1. Retrofit della macchina fresatrice attualmente impiegata
2. Progettazione e programmazione di una nuova macchina CNC
3. Trasferimento del ciclo presso un centro di lavoro CNC a cinque assi

Nel successivo step, sono state avviate delle consulenze tecniche con aziende specializzate in utensili per foratura di precisione e automazione industriale con lo scopo di ricevere informazioni di natura tecnica ed economica dei prodotti offerti.
Sono stati identificati utensili ad alta efficienza per le operazioni di sgrossatura e finitura e soluzioni innovative quali teste di foratura programmabili con cambio utensile integrato.
Il ciclo di foratura è stato ripianificato per garantire i requisiti richiesti: le nuove tecnologie di taglio permettono di migliorare ulteriormente la qualità del prodotto e l'aumento della produttività avvantaggia l'economia del processo poiché permette una maggiore ripartizione dei costi di produzione.
Infine, sono state comparate le soluzioni individuate analizzando per ciascuna di esse i rispettivi costi e benefici.
L'automatizzazione del processo in esame consentirebbe all'azienda di definire un programma di produzione del ciclo di foratura e, quindi, allestire un magazzino-torrette: ciò le permetterebbe di incrementare l'efficienza dell'intera linea produttiva dei globoidal indexer.

Abstract

The following paper concerns the analysis of a precision drilling process performed at Italplant S.r.l., a company based in Turin, specialized in the production of high-precision and repeatable automatic machines such as globoid indexers and conveyors.
The cycle in question relates to precision drilling of the turrets; the holes require strict tolerances to ensure the correct positioning of the cam followers and, therefore, to guarantee the precision, repeatability and reliability specifications of the indexers.
Currently, the process is performed in the workshop using a traditional vertical milling machine which, due to its technical limitations, requires longer cycle times both active and passive, limits the company's productivity and affects the logistics of internal processes.
The company's goal is to optimize the drilling cycle to make it automatic and more productive while maintaining the quality of the process.
In the first step, the drilling cycle currently performed in the workshop was analyzed in detail. A cycle time detection activity was performed about the drilling of two different types of turrets to search for the critical points on which to intervene.
The solutions identified to achieve the intended target are:

1. Retrofit of the milling machine currently used
2. Design and programming of a new CNC machine
3. Transfer of the cycle to a five-axis CNC machining centre

In the next step, the technical consultancy was initiated with companies specializing in tools for precision drilling and industrial automation to receive technical and economic information on the products offered.
High-efficiency tools were identified for roughing and finishing operations and innovative solutions such as programmable drilling heads with integrated tool change.
The drilling cycle has been re-planned to ensure the required requirements: the new cutting technologies allow to further improve the quality of the product and the increase in productivity benefits the economy of the process as it allows a greater distribution of production costs.
Finally, the solutions identified were compared by analyzing the respective costs and benefits for each of them.
The automation of the process in question would also allow the company to set up a warehouse-turrets following a drilling cycle planning that would allow it to make the entire production line of globoid indexers more efficient.

Capitolo 1: Descrizione azienda – Italplant S.r.l.

1.1 Storia e profilo dell'azienda

Italplant S.r.l. è un'azienda produttrice di macchine automatiche con sede a Torino.
Gli ormai 40 anni di esperienza nella sfera della progettazione la rendono una delle aziende leader nel settore della produzione di conveyor, indexer e teste a dividere.
Tali prodotti sono spesso destinati ad un mercato di nicchia ovvero in applicazioni dove precisione, ripetibilità ed affidabilità sono una specifica prioritaria.

Figura 1.1 – Showroom e officina Italplant S.r.l. Fonte: www.italplant.com

Italplant è stata fondata nel 1981 dall'Ingegnere meccanico Giorgio C. Gay.
L'azienda vanta storicamente due importanti collaborazioni, in ordine temporale, dapprima con l'azienda inglese Manifold e successivamente con la statunitense Camco.
La collaborazione con l'azienda inglese ha portato grandi successi, tra cui la progettazione della serie di indexer a camma cilindrica MK1 e la revisione di altri indexer a camma globoidale con foro passante.
Nel 1990 Italplant avvia la collaborazione con CAMCO, azienda leader nella produzione di Precision Link Conveyor, che portò i dirigenti ad avviare la vendita di PLC anche in Italia.
Nel corso dell'ultimo decennio, l'azienda ha ampliato i propri regimi produttivi grazie alle crescenti richieste da parte del mercato con una particolare attenzione anche alla propria immagine con un recente rebranding.

Nella sede centrale di Torino si trovano gli uffici, i dipartimenti di R&D, l'officina e lo showroom.

L'officina e il reparto di ricerca e sviluppo operano in sinergia al fine di monitorare le fasi di produzione ed assemblaggio per garantire le specifiche richieste dal cliente e, eventualmente, intervenire per tempo nel caso si presentassero delle anomalie, minimizzando tempi e costi.
Di recente, è stato aggiunto all'interno dell'area officina anche lo showroom ovvero un'area espositiva che dà modo ai clienti di visionare i prodotti e le rispettive performance.

Il catalogo dell'azienda offre sia una serie di prodotti standard differenziati per dimensioni, carichi e velocità, ma offre anche la possibilità di customizzarli in base alle specifiche richieste del cliente; l'ufficio tecnico ne proporrà, a seguito di una consulenza, una soluzione ad hoc.
La possibilità di avere un prodotto su misura è, senza dubbio, una delle ragioni che ha permesso ad Italplant di collaborare con aziende di alto rilievo in diversi settori dal packaging, automotive, farmaceutico e robotica.

A livello ingegneristico, il cardine alla base delle meccanizzazione dei prodotti offerti dall'azienda è un intermittore globoidale che consente, in sintesi, di convertire un moto rotatorio uniforme in un moto intermittente unidirezionale con successive fase di avanzamento ed arresto.
Nello specifico, si tratta di un meccanismo il cui movente è una camma globoidale, movimentata da un blocco moto-riduttore, che trasferisce il moto ad una torretta porta rulli i cui assi sono disposti ortogonalmente all'asse di rotazione del cedente.
Il moto in uscita è, dunque, generato dall'accoppiamento cinematico dei perni folli, impiantati sulla torretta, con la scanalatura globoidale della camma.
La legge del moto del cedente è la specifica di progetto richiesta dal committente in termini di angolo e tempo di avanzamento; a tal fine il reparto di progettazione ne definisce la geometria della camma globoidale, la dimensione della torretta ed il numero di perni che devono essere impiantati su di essa.
Ciò che giustifica le performance dei prodotti di Italplant in termini di precisione ed affidabilità è il consolidato know-how dell'azienda relativamente alle tecnologie di produzione e progettazione dei meccanismi globoidali, tali da renderla unica nel settore.
Italplant, infatti, possiede un brevetto relativo alla progettazione di una macchina CNC con un innovativo metodo di taglio delle camme ad alta velocità che garantisce una produttività del 30% superiore rispetto agli altri macchinari presenti sul mercato.
Essa è in grado, dato in input il programma con la specifica legge di moto della camma, di gestire l'intero processo costruttivo della stessa a partire dalla fase di taglio a quella di rettifica.
In secondo luogo, poiché i perni-folli costituiscono gli organi deputati alla trasmissione del moto, l'azienda ha sviluppato internamente un proprio disegno col duplice scopo di trasferire alte coppie con il minimo grado di usura.
Tra le certificazioni e brevetti dell'azienda rientra anche il sistema Safety Output Torque Limiter SOTL/ATT: gli indexer possono essere dotati di un limitatore di coppia opzionale con un organo di frizione all'interno che permette di preservare la meccanica nel caso il sistema subisca delle sovra sollecitazioni improvvise. Il meccanismo interno fa sì che si disinnesti l'albero di uscita per evitare che si presentino danni agli organi di trasmissione quali perni folli, camma e la stessa tavola.

1.2 Prodotti principali

I prodotti offerti da Italplant comprendono principalmente le seguenti due categorie:

a. *Globoidal Indexer*
b. *Precision Conveyor*

Oltre all'ampio catalogo, l'azienda propone soluzioni su misura a seconda delle specifiche richieste del cliente ed una serie di optional come il sistema brevettato SOTL/ATT.

Globoidal Indexer

Gli indexer o teste a dividere a camme sono tra i prodotti di punta di Italplant.
Sono dispositivi ad assi ortogonali che trasformano il moto rotatorio continuo dell'albero in ingresso in un moto intermittente dell'albero in uscita.
L'accelerazione e la velocità sono completamente controllate nel corso dell'intero ciclo di lavoro garantendo, dunque, elevate precisioni, ripetibilità e affidabilità.
Il catalogo offre la possibilità di scelta tra quattro serie di indexer, che si differenziano in base alle velocità di lavorazione e alla capacità di carico:

1. Slimdex SX
2. Stationary Place SP
3. Mark 2 MK2
4. Toroidal indexer TIG

In *Figura 1.2* è riportata una grafica utile per la classificazione delle quattro serie di indexer dell'azienda in relazione alle specifiche di: possibilità di avere un foro centrale, carico assiale, capacità dinamica, alta velocità e ciclica continua.

Figura 1.2 – Indicatori di performance delle quattro serie di indexer offerti da Italplant. Fonte: www.italplant.com

1. SX

Figura 1.3 – Serie globoidal indexer Slimdex SX. Fonte: www.italplant.com

La serie Slimdex è quella più compatta ed economica prodotto dall'azienda ed è ideale per applicazioni standard da tavola girevole.
Il moto è gestito da una camma globoidale che permette di gestire accuratamente il ciclo di lavoro; i modelli Slimdex sono disponibili con un pacchetto comprensivo di: indexer, riduttore a vite senza fine (con o senza frizione integrale di sicurezza), motori AC o DC e sensore di prossimità.
Tra gli optional disponibili vi sono la possibilità di avere un foro centrale per il passaggio di cablaggi elettrici o idraulici oppure il sistema di sicurezza SOTL/ATT.
I modelli disponibili sono: SX 25, SX 40, SX 60, SX 95, SX 140.

2. SP

Figura 1.4- Serie globoidal indexer Stationary Place SP. Fonte: www.italplant.com

La serie di teste a dividere a camma globoidale SP è ideale per applicazioni da tavola girevole con medi o elevati carichi assiali; sono largamente utilizzati per macchine automatiche di trasporto con avanzamento angolare o lineare.
Sono dotati di cuscinetti a rulli conici sovradimensionati che permettono di reggere carichi maggiori in fase di esercizio; inoltre, sono disponibili con angoli di indexaggio che possono raggiungere i 330°.
I modelli disponibili sono: SP 805, SP 1205, SP 1705.

3. MK2

Figura 1.5- Serie globoidal indexer Mark 2. Fonte: www.italplant.com

La serie di indexer MK2 è quella che consente di fornire una maggiore versatilità in esercizio in quanto permette, grazie ad una ridotta inerzia interna al sistema, elevate velocità di rotazione ed una trasmissione moderata della coppia.
Sono dotati di una coppia di rulli conici sull'albero di uscita.
Garantiscono elevate performance anche sotto carichi elevate e sono disponibili una vasta gamma di modelli con un massimo di stop pari a 32.
I modelli disponibili sono: MK2 210, MK2 325, MK2 500, MK2 650, MK2 800 e MK2 1100.

4. TIG

Figura 1.6 - Serie globoidal indexer Toroidal indexer TIG. Fonte: www.italplant.com

Le TIG, teste a dividere toroidali, sono meccanismi a camma globoidale aventi un funzionamento analogo alle altre tavole girevoli.
La differenza rispetto alle altre serie è relativa all'elemento in rotazione: in questo caso è un anello.
Da questo ha origine la forma toroidale della testa a dividere, particolarmente utile nel caso in cui si necessiti di molto spazio nella zona centrale.
Questo spazio permette, oltre al passaggio di cavi, di posizionare vere e proprie stazioni di montaggio, pick and place e ogni attrezzatura che verrebbe altrimenti posta all'esterno del gruppo, portando via spazio prezioso.
Il risultato è una tavola compatta, dalle prestazioni e capacità di carico di gran lunga superiori alle

sue concorrenti, grazie ai perni folli a disegno Italplant, che ne esaltano le caratteristiche meccaniche.
I modelli disponibili per questa serie sono: TIG 800, TIG 1200, TIG 1600.

Precision Conveyor

I nastri trasportatori prodotti da Italplant S.r.l trovano applicazione nell'industria meccanica, manufatturiera, packaging, assemblaggio.
L'azienda propone una gamma di Conveyors in base alle specifiche in termini di accuratezza, ripetibilità, velocità, dimensioni e carichi di lavoro.
Sono guidati dagli stessi indexer a camma globoidale prodotti all'interno dell'azienda capaci di garantire differenti tipologie di leggi del moto del cedente.
Si suddividono, nello specifico, in tre categorie, a loro volta disponibili in più modelli a seconda della lunghezza della maglia:

1. Precision Belt Conveyor PBC
2. Precision Link Conveyor PLC
3. Precision Link Conveyor High Accuracy HA

1. PBC

Figura 1.7 – Serie Precision Belt Conveyor PBC. Fonte: www.italplant.com

I trasportatori a cinghia di precisione PBC rappresentano lo standard più alto sul mercato.
Con struttura quasi interamente in alluminio, coniugano due concetti fondamentali per il cliente: struttura modulabile in base alle esigenze e costi decisamente inferiori rispetto ad altri sistemi di trasporto a cinghia.
Ciò è stato possibile grazie ad un connubio tra essenzialità progettuale e rigidi vincoli meccanici: il risultato è un trasportatore adatto a molteplici applicazioni, di livello superiore rispetto ai suoi concorrenti a cinghia, e nonostante questo più economico.
Le motorizzazioni applicabili possono prevedere un movimento intermittente (tavole rotanti Italplant), o continuo (teste a dividere programmabili con servomotore HER Italplant).

2. PLC

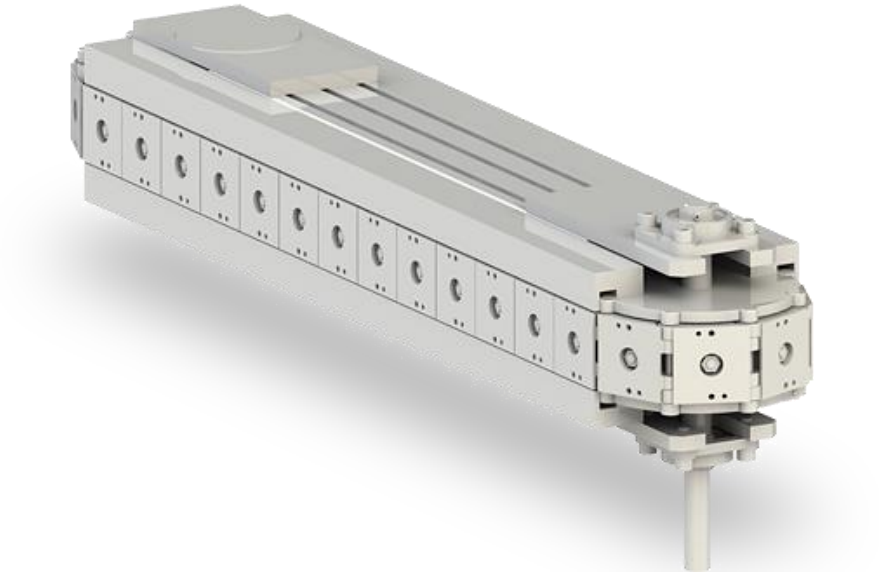


Figura 1.8- Serie Precision Link Conveyor PLC. Fonte: www.italplant.com

I trasportatori di precisione PLC rappresentano Io stato dell'arte dei trasportatori per ogni tipo d'industria – meccanica, manifatturiera, assemblaggio, packaging – e per ogni settore di applicazione: dal medicale alla cosmesi, sino all'elettronico.
I trasportatori PLC sono in grado di combinare estrema precisione, alta velocità, movimenti dolci, alta capacità di carico, versatilità di posizionamento, lunghezza variabile.
Accoppiato con un intermittore a camma globoidale Italplant in grado di garantire un movimento dettato da un'incredibile varietà di leggi di moto, sia standard sia personalizzabili.
Gli intermittori sono mossi da riduttore a vite e motore trifase, o a richiesta, da servomotore e azionamento da noi forniti.
È possibile accoppiare il conveyor con pick and place Italplant, in grado di effettuare operazioni di carico/scarico in sincrono con il trasportatore.
Siamo in grado di calcolare non soltanto il sistema trasportatore – manipolatori e motorizzazione – ma anche supporti e attrezzature da assemblare sulle singole maglie, o altri componenti per il carico e lo scarico. La possibilità, inoltre, di scegliere la lunghezza e il passo dei pallet consente di coprire ogni possibile desiderio del cliente.

3. PLC HA

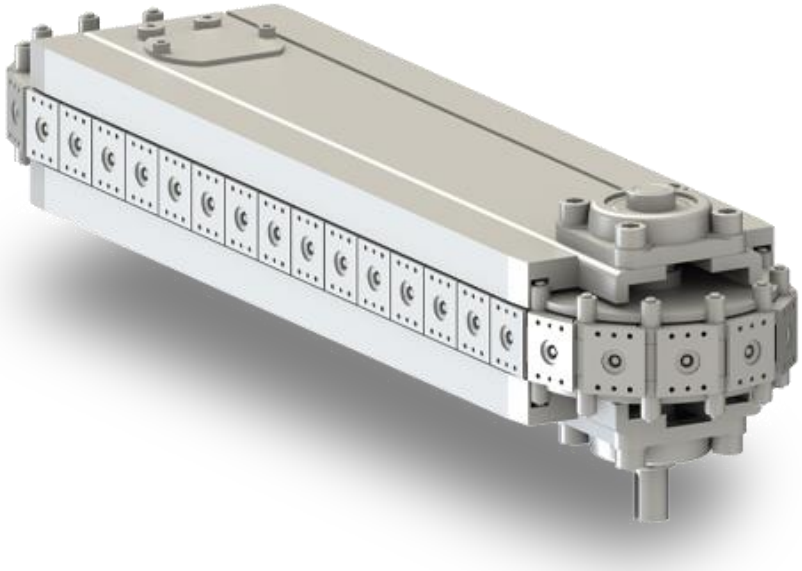


Figura 1.9- Serie Precision link conveyor high Accuracy PLC HA. Fonte: www.italplant.com

Il PLC HA (High Accuracy) è il trasportatore utilizzato per montaggi e operazioni che richiedono estrema accuratezza, per i settori dell'automazione e di controllo.
È composto da una trave in acciaio strutturale e una catena di alluminio (o in materiale differente su richiesta), guide e rulli in acciaio ingrassati a vita.
La struttura è modulare, in base alle esigenze del cliente.
Questo trasportatore è adatto a tutte le operazioni di montaggio che richiedono altissima precisione, rigidità e velocità.
PLC HA presenta due varianti: la versione XL, con sezione del trave maggiorata, e la versione Heavy Duty, adatta a carichi elevati e applicazioni nel campo dell'automotive.

1.1 Mission e vision

L'azienda fin dalle origini ha perseguito la medesima mission: garantire livelli di performance dei prodotti sempre più elevati grazie sia al continuo consolidamento del know-how interno assieme ad un'attenta analisi delle nuove tecnologie presenti sul mercato.
Questi fattori hanno permesso ad Italplant di incrementare l'efficienza e la produttività dei processi, a partire dalle fasi di presa in carico dell'ordine sino alla fase di test e consegna del prodotto al cliente.

Per tale ragione, l'azienda ha conseguito la certificazione ISO 9001:2015 che ne attesta il rigore e la qualità interna della gestione della sua linea produttiva.
Nel corso degli ultimi anni, la crescente richiesta dei prodotti dal mercato ha determinato un aumento dei volumi produttivi che ha portato l'azienda ad interrogarsi sulle possibili cause di inefficienza nel ciclo produttivo ed alle possibili alternative da attuare.

Uno dei colli di bottiglia rilevati dall'azienda nel ciclo produttivo è relativo al processo di foratura delle torrette dei globoidal indexers a causa dell'utilizzo di utensili ormai obsoleti ed una macchina di foratura tradizionale: l'azienda si è posta come obiettivo, nel breve termine, quello di riammodernare il processo di foratura al fine di renderlo più efficiente e produttivo.

Tale visione è strettamente correlata ad un sistema industriale 4.0 caratterizzato da linee produttive sempre più automatizzate ed indipendenti dall'azione dell'operatore.
Il target che l'azienda si propone mediante tale investimento è quello di ridurre il tempo ciclo del processo di foratura, sia attivo che passivo, da cui può trarne beneficio l'intera linea produttiva dei globoidal indexers.

Capitolo 2: Analisi ciclo di foratura di precisione

L'azienda ha rintracciato delle inefficienze lungo la linea produttiva dei globoidal indexers e, nello specifico, durante la fase di foratura delle torrette: il processo è lento e richiede necessariamente la presenza dell'operatore a bordo macchina.
Tutto ciò ne pregiudica la gestione ottimale di un magazzino torrette che, allo stato attuale, è assente in officina.
Per tale ragione, l'area R&D è stata delegata ad indagare sulle criticità del processo di foratura.

Il processo di foratura attuale è eseguito in officina a bordo di una fresatrice verticale tradizionale sulla cui tavola è fissato un divisore Nikken ad alta precisione.
Durante il ciclo di lavoro, la torretta è fissata al divisore che guida la rotazione della stessa al fine di evitare l'accumulo di un errore angolare nella fase di avanzamento che ne potrebbe compromettere il processo.
Il seguente elaborato di tesi mira, dunque, alla valutazione dell'investimento ottimale necessario per rinnovare il ciclo con l'obiettivo di automatizzarlo e ridurre i relativi tempi attivi e passivi.

Per tale ragione, è stato necessario raccogliere una serie di dati di partenza sulla base dei quali poter valutare successivamente un confronto oggettivo tra i possibili scenari risolutivi.
Nel primo step è stata eseguita un'attività di rilevamento dei tempi ciclo delle singole fasi del processo con un'attenta analisi dei tempi passivi ovvero gli intervalli temporali durante i quali la macchina non esegue le operazioni di taglio.
Tra i tempi passivi rientrano le procedure di setup mediante le quali l'operatore esegue il bloccaggio del pezzo sulla tavola oppure imposta manualmente i parametri di taglio; inoltre, sono da considerarsi passivi anche gli intervalli in cui l'operatore esegue il cambio utensile o non è presente a bordo macchina poiché impegnato in altre operazioni all'interno dell'officina.

In questa prima fase è stato analizzato il ciclo di foratura attuale al fine di stilare un report che riportasse nel dettaglio gli utensili adoperati in ogni singola operazione ed i relativi parametri di taglio; nello specifico sono stati rilevati i cicli di foratura di due torrette differenti per materiale e numero di fori.
Al termine del rilevamento delle tecnologie e delle tempistiche, è stata eseguita un'analisi circa le criticità del processo al fine di evidenziare i punti su cui poter intervenire già nell'immediato o mediante nuovi investimenti.

In *Tabella 2.1* sono riportati nel dettaglio i cicli di foratura delle torrette relativi a due differenti tipologie di indexers:

1. SX 60 – 10 fori in ghisa
2. SOTL SX 60 – 6 fori in acciaio

Modello	*SX 60*	*SOTL SX 60*
Materiale	*Ghisa sferoidale - GS400*	*Acciaio - 38CrNiMo4*
N. fori	*10*	*6*
Diametro [mm]	*15,84*	*15,84*
Tipologia foro	*Passante*	*Passante*
Lunghezza [mm]	*21*	*21*
L/D	*1,31*	*1,31*
Fori filettati	*M8x16*	*M8x16*

Tabella 2.1 – Specifiche tecniche dei fori delle torrette SX 60 e SOTL SX 60

Si riporta di seguito in *Tabella 2.2* le dimensioni dei fori da realizzare per le differenti tipologie di torrette/globoidal indexer. Per alcune serie è possibile che siano previste perni folli di diversa taglia e con diametri differenti: in tali casi sono stati definiti con '+' i modelli con i perni maggiorati (es. SX-95+ corrisponde alla torretta con fori da 22,23 mm rispetto al SX-95 con perni da 19,05 mm).
Il monitoraggio dello storico delle vendite dell'azienda ha evidenziato come i maggiori volumi produttivi sono relativi agli ordini di globoidal indexer dalla serie SX-40 fino alla SP-805 con perni da 22,23 mm.

Globoidal Indexer	Ø foro [mm]
SX-40	*11,10*
SX-60	*15,84*
SX-95	*19,05*
SX-95+ e SP-805	*22,23*
SP-805+	*25,40*
SP-1205	*28,58*
SP-1205+	*31,75*

Tabella 2.2 – Dimensione del diametro dei fori delle torrette per le diverse serie di indexer.

2.1 Formule e definizioni

Il processo di foratura rientra nella più ampia categoria di operazioni meccaniche per asportazione di truciolo e tra le più frequenti nei processi industriali.
Ogni foro a seconda della dimensione e della qualità da ottenere, in termini di tolleranza e finitura superficiale, richiede una sequenza più o meno complessa di operazioni ed utensili da utilizzare.
Nel caso di una foratura di precisione, come nel caso in esame, è necessario procedere ad un primo step di sgrossatura durante il quale la lavorazione è piuttosto grossolana seguito da un'accurata fase di finitura mediante barenatura e alesatura.

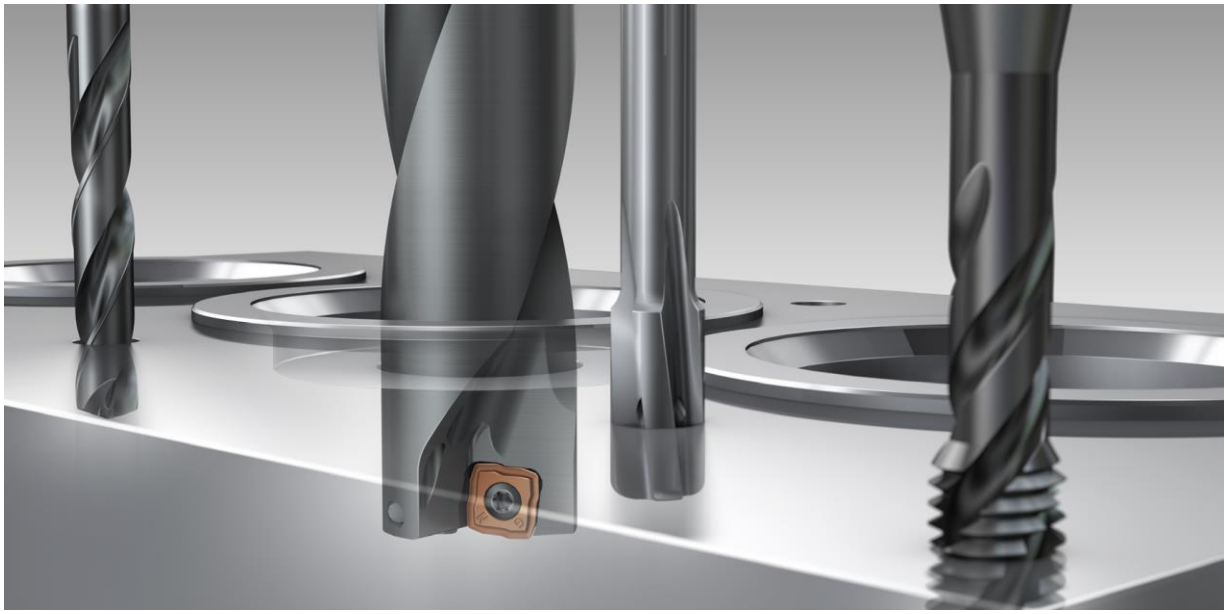


Figura 2.1 – Differenti tecnologie di foratura e rispettivi utensili. Fonte: www.sandvik.coromant.com

Per ognuna di queste operazioni è montato a bordo macchina un utensile differente con geometria idonea per la gestione delle forze e coppie di taglio necessarie e, inoltre, ognuno di essi lavora con specifici parametri di taglio.
In sgrossatura si utilizza un utensile multi-tagliente a punta elicoidale caratterizzato dai seguenti parametri: diametro pari a quello del foro da ottenere, angolo d'inclinazione dell'elica dei taglienti, angolo tra i taglienti e angolo dello spigolo centrale.
La lavorazione meccanica di alesatura è eseguita con un utensile multi-tagliente caratterizzato da un primo tratto d'imbocco ad alta conicità, un successivo tratto di lavoro leggermente conico ed una sezione a diametro costante.
L'operazione di barenatura è eseguita mediante un utensile sul quale è possibile effettuare una regolazione radiale dell'inserto; tale processo è simile ad una tornitura interna del foro.
Le due operazioni di finitura presentano delle differenze operative: l'alesatura garantisce migliori finiture superficiale grazie all'utilizzo di un utensile multi-tagliente; mentre, la barenatura permette di modificare e correggere eventualmente anche l'asse del foro.

Nelle operazioni di taglio si distinguono i seguenti moti relativi tra utensile e pezzo in lavorazione:

- moto di taglio: il moto principale mediante il quale si esercita un'azione di taglio sul pezzo con conseguente trasferimento di forze e coppie.
  Il moto di taglio è di tipo rotatorio continuo ed è posseduto dall'utensile; esso può essere espresso sia come velocità di taglio V_c [m/min], sia come velocità di rotazione del mandrino n [rpm];
- moto di avanzamento: il moto mediante il quale si porta sotto l'azione dell'utensile nuovo materiale da asportare.
  Il moto di avanzamento è di tipo rettilineo ed è anch'esso posseduto dall'utensile; esso può essere espresso come avanzamento per giro f_n [mm/giro] oppure come velocità di avanzamento V_a [mm/min];
- moto di registrazione: l'utensile è disimpegnato dalle operazioni di taglio ed è il moto che permette di far coincidere l'asse dell'utensile con quello del foro da eseguire, oltre che a portare l'utensile in vicinanza della superficie del pezzo.

Il moto di registrazione è rettilineo ed è posseduto sia dal moto della tavola nelle due direzioni nel proprio piano, e dal moto dell'utensile nella direzione ortogonale alle prime due.

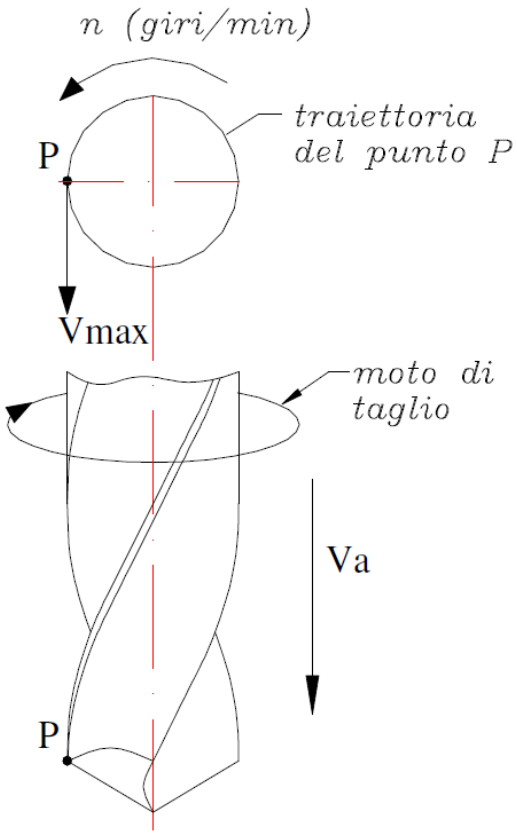


Figura 2.2 – Analisi dei moti relativi utensile-pezzo in corrispondenza del punto di contatto P.
Fonte: https://antoniomatteacci.myblog.it

Sia n la velocità di rotazione imposta al mandrino e P il punto di contatto utensile-pezzo, allora la velocità di taglio V_c corrisponde alla velocità relativa tra utensile e pezzo in P in cui avviene il contatto ed avviene l'asportazione del truciolo.
Corrisponde, come definito in *Figura 2.2*, alla velocità periferica dell'utensile diretta tangenzialmente alla traiettoria in P e con verso concorde alla velocità di rotazione del mandrino n [giri/min].
Il modulo della velocità di taglio non è costante, ma segue una legge con profilo triangolare con valore nulla in corrispondenza dell'asse utensile.
Tale parametro di lavoro è riferito da catalogo dal costruttore dell'utensile al fine di ottimizzare il processo.
Data V_c, essa può essere settata direttamente sull'interfaccia di una macchina CNC oppure, nel caso di macchine tradizionale, si interviene direttamente sulla velocità di rotazione del mandrino n ad essa corrispondente data la seguente relazione:

$$n\,[rpm] = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_c} \qquad (1)$$

La velocità di avanzamento V_a [mm/min] indicata in *Figura 2.2* definisce, invece, la velocità con cui l'utensile si muove lungo la direzione verticale z per portarsi a contatto con nuovo materiale da tagliare.
Essa è correlata con l'avanzamento per giro f_n [mm/giro] mediante la relazione che segue:

$$V_a\ [mm/min]\ = f_n\ \cdot n \qquad (2)$$

Confrontando le vasi di sgrossatura e finitura, in termini dei parametri di lavoro sopracitati, si osserva come alesatura e barenatura asportano sovrametalli dell'ordine del decimo di millimetro e lavorano con velocità di taglio inferiori rispetto alla sgrossatura.
Da ciò ne consegue che le forze di taglio generate sono molto limitate.

L'analisi delle forze e potenze sviluppate nel corso della lavorazione meccanica da taglio sono frutto di una complessa analisi per cui spesso tali parametri vengono ricavati da relazioni empiriche presenti in letteratura.
Nel caso in esame, tali parametri al netto della sola richiesta dell'utensile sono state valutate da formulazioni fornite direttamente da catalogo a fronte delle sperimentazioni e del know-how delle aziende produttrici.
Tale valutazione è necessaria al fine di provvedere un idoneo sistema di bloccaggio per verificarne la rigidità del sistema e, inoltre, ha un ruolo chiave nella progettazione poiché definisce il limite superiore per la scelta della taglia dei componenti del sistema.

Di seguito si riportano le formule relative al calcolo dei parametri di taglio per le operazioni di sgrossatura e barenatura.

Formule foratura

Velocità di taglio V_c [m/min]
$$V_c = \frac{D_c\ \cdot \pi\ \cdot n}{1000} \qquad (3)$$

Potenza netta P_c [kW]
$$P_c = \frac{f_n\ \cdot D_c\ \cdot V_c \cdot k_c}{240 \cdot 10^3} \qquad (4)$$

Momento torcente M_c [Nm]
$$M_c = \frac{P_c\ \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n} \qquad (5)$$

Formule barenatura

Velocità di taglio V_c [m/min]
D_m : diametro medio
$$V_c = \frac{D_m\ \cdot \pi\ \cdot n}{1000} \qquad (6)$$

Velocità del mandrino n [rpm]
$$n = \frac{V_c\ \cdot 1000}{\pi \cdot\ D_m} \qquad (7)$$

Avanzamento radiale inserto a_p [mm]
$$a_p = \frac{D_{max} - D_{min}}{2} \qquad (8)$$

Potenza netta P_c [kW]
$$P_c = \frac{f_n\ \cdot a_p\ \cdot V_c \cdot k_c}{60 \cdot 10^3}\left(1\ - \frac{a_p}{D_c}\right) \qquad (9)$$

Momento torcente M_c [Nm]
$$M_c = \frac{P_c\ \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n} \qquad (10)$$

2.2 Fresatrice Newall

Il processo di foratura delle torrette dei globoidal indexers, preso in esame, è eseguito a bordo della macchina fresatrice Newall 1520, sulla cui tavola è fissato il divisore Nikken NSVZ300 ad alta precisione angolare.
Quest'ultimo, sul piano funzionale, ha un ruolo chiave nel processo di foratura di precisione poiché gestisce la rotazione della torretta evitando l'accumulo di un errore angolare.

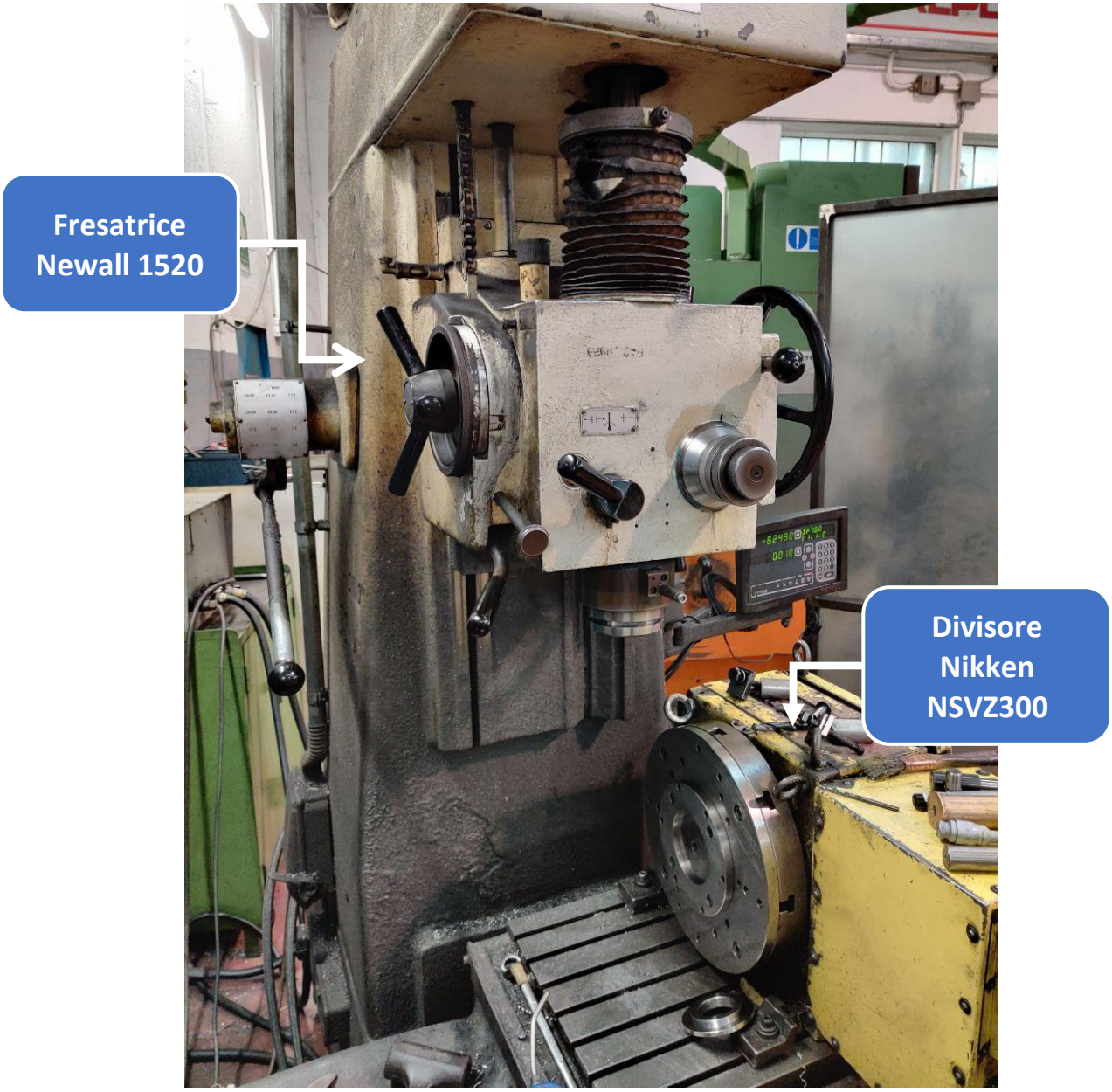


Figura 2.3 – Fresatrice verticale Newall 1520 e divisore Nikken NSVZ300.

La fresatrice adoperata è una macchina utensile di tipo tradizionale con l'aggiunta di un solo sistema di sensoristica e la rispettiva interfaccia di visualizzazione quote della sola tavola portapezzo, mentre il setup dei parametri di taglio è completamente manuale ed affidato all'operatore che deve intervenire sugli organi meccanici, quali leve e manovelle, presenti a bordo macchina.
La macchina utensile dispone, inoltre, di sistemi di sicurezza che permettono all'operatore di interrompere il processo in atto nel caso si presentassero delle anomalie.

Nello specifico è una fresatrice verticale, in quanto l'asse del mandrino è disposto verticalmente, parallelamente alla direzione z; la tavola portapezzo può essere regolata solo nelle due direzioni nel proprio piano x e y.

Il basamento e montante posteriore rappresentano lo scheletro della fresatrice; all'interno del montante ha sede il motore con i relativi sistemi di ingranaggi che permettono di generare il moto rotatorio uniforme del mandrino.

Figura 2.4 – Leva a bordo della fresatrice Newall per il setting manuale della velocità di rotazione del mandrino.

Il moto di taglio, dunque, è trasmesso dal mandrino all'utensile; la fresatrice dispone di una leva, come mostrato in *Figura 2.4*, posta lateralmente alla macchina, mediante cui l'operatore può scegliere tra 12 livelli di velocità da 66 a 3000 rpm, in base alla lavorazione da eseguire.

Il moto di avanzamento della testa del gruppo mandrino/utensile nella direzione z può essere gestito mediante due differenti modalità: l'operatore può selezionare uno tra tre livelli di avanzamento per giro f_n (0,076 – 0,040 – 0,152 mm/giro) mediante una leva posta sul lato sinistro del montante oppure l'operatore può gestire la velocità di avanzamento in maniera manuale attraverso la rotazione di una seconda manovella a bordo macchina.

Per operazioni in cui è richiesto un controllo della corsa di lavoro dell'utensile più accurato, l'operatore può utilizzare la ghiera graduata che è presente frontalmente con una risoluzione dell'ordine del decimo di millimetro.

Il moto di registrazione è, invece, posseduto dalla tavola porta pezzo il cui posizionamento può essere realizzato mediante un sistema meccanico o elettro-meccanico.
Nel primo caso, l'operatore può regolare la posizione del pezzo e, quindi, garantire la coassialità foro-utensile, mediante la rotazione delle due manovelle dove il moto rotatorio viene poi convertito nella traslazione delle rispettive slitte grazie ad un sistema con vite a ricircolo di sfere.

Figura 2.5 – Digital readout esterno DRO - Newall DP 700 per il posizionamento della tavola porta pezzo.

La macchina, inoltre, dispone di un sistema Digital readout esterno DRO la cui interfaccia permette la visualizzazione delle quote x e y della tavola, come mostrato in *Figura 2.5.*
Il DRO è un Newall DP700 e coopera mediante encoder lineari/riga ottica con risoluzione da 10 µm caratterizzati da un'alta resistenza agli agenti usuranti tipici dei processi per asportazione di truciolo.
Dunque, un metodo alternativo, per la regolazione della tavola è mediante il DRO dando in input al sistema elettro-meccanico le quote esatte x e y; rappresenta un metodo senz'altro più immediato e preciso.

Il ciclo di foratura delle torrette richiede stringenti specifiche sia in termini di dimensioni del foro che strette tolleranze angolari circa la disposizione dei fori lungo la superficie laterale del pezzo.
Ciò è giustificato dalla funzionalità dei perni folli che devono essere impiantati al loro interno in quanto sono gli organi meccanici deputati alla trasmissione del moto e delle coppie dalla camma globoidale al cedente.
Dunque, è necessario che la rotazione angolare del pezzo in lavorazione sia eseguita in maniera eccellente evitando che ci sia un accumulo dell'errore nelle successive fasi di rotazione della torretta che potrebbero disallineare l'asse del foro con quello dell'utensile.
Per tale ragione, sulla tavola porta-pezzo della fresatrice verticale Newall 1520 è stato fissato un divisore ad alta precisione sul quale, a sua volta, viene fissata la torretta e ne gestisce accuratamente la rotazione.

2.3 Divisore Nikken

Il divisore utilizzato per il ciclo di foratura di precisione delle torrette dei globoidal indexers è una tavola rotante Nikken appartenente alla gamma NSV, dotata di un dispositivo elettronico associato che ne permette di comandare la meccanica interna a seconda dell'angolo di rotazione richiesto.
Il divisore è posizionato sulla tavola portapezzo della macchina fresatrice con delle staffe di bloccaggio; mentre, su di esso viene montata una maschera ad hoc per il fissaggio della torretta.

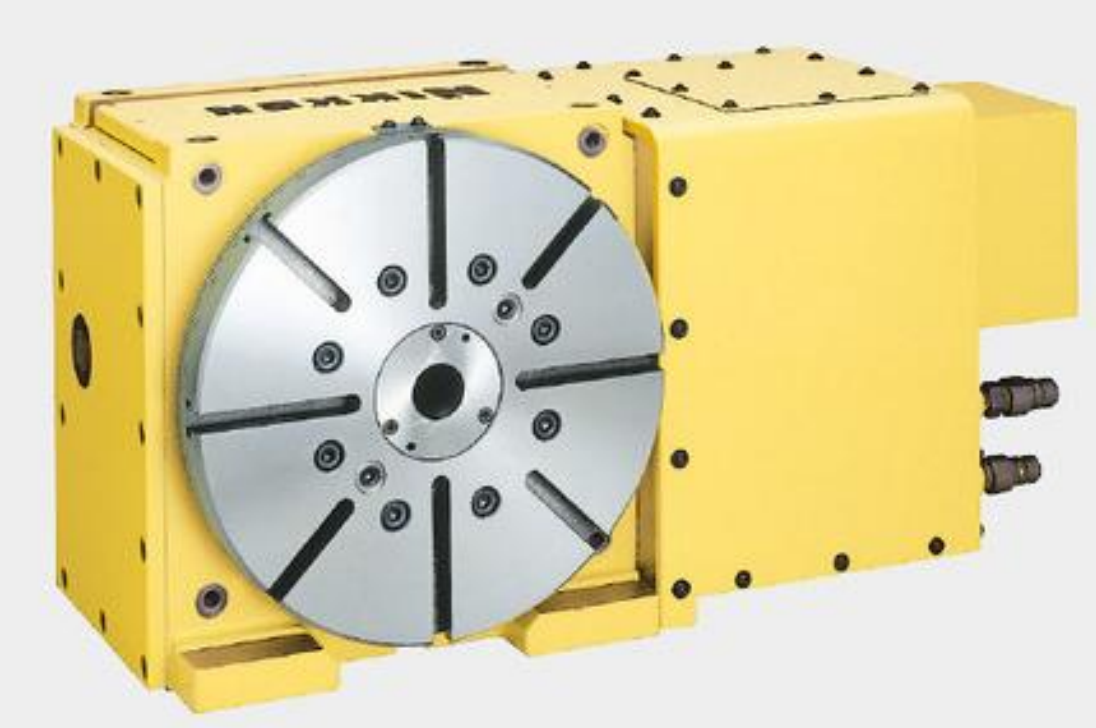


Figura 2.6 – Divisore Nikken NSVZ300 ad alta precisione angolare. Fonte: https://www.nikken-world.it

Il modello, nello specifico, è un Nikken NSVZ300 Ultra Precision Rotary; è dotato di un sistema di accoppiamento Hirt a tre pezzi che permette alla tavola di avere una precisione d'indicizzazione di ±2'' con un sistema di bloccaggio idraulico.
Il massimo carico di spinta orizzontale supportato dalla tavola è pari a 39200 N.
Ciò che ne garantisce un'elevata precisione nei movimenti è il sistema interno con dentatura frontale Hirt: gli innesti, grazie alla geometria della dentatura fortemente autocentrante, permettono di conferire alla tavola elevata rigidità e ripetibilità in divisione e, in contemporanea, permette di gestire elevate trasmissioni di coppie rispetto agli altri accoppiamenti presenti sul mercato.

Di seguito in *Figura 2.7* si riportano le specifiche tecniche del divisore riportate da catalogo.

Specifications

Item / Code No.		NSVZ300
Diameter of Table	ϕmm	300
Diameter of Spindle Hole	ϕmm	ϕ60H7 ϕ52
Center Height	mm	170
Width of T Slot	mm	$12^{+0.018}_{0}$
Clamping System		Hydraulic
Clamping Torque	N·m	2155
Table Inertia at Motor Shaft $(\frac{GD^2}{4})$	kg·m²X10⁻³	0.16
Servo Motor	min⁻¹	αiF4·2000
MIN. Increment		1°
Rotation Speed	min⁻¹	11.1
Total Reduction Ratio		1/180
Indexing Accuracy	sec	±2
Net Weight	kg	150
MAX. Work Load on the Table	Vertical kg	150
	Horizontal kg	300
MAX. Thrust Load applicable on the Table	N	39200
	*1 FXL N·m	2156
	FXL N·m	1421
Guide Line of MAX. Unbalancing Load	*2 N·m	30
MAX. Work Inertia	Vertical $(\frac{GD^2}{4})$ kg·m²	1.0
Driving Torque	N·m	——

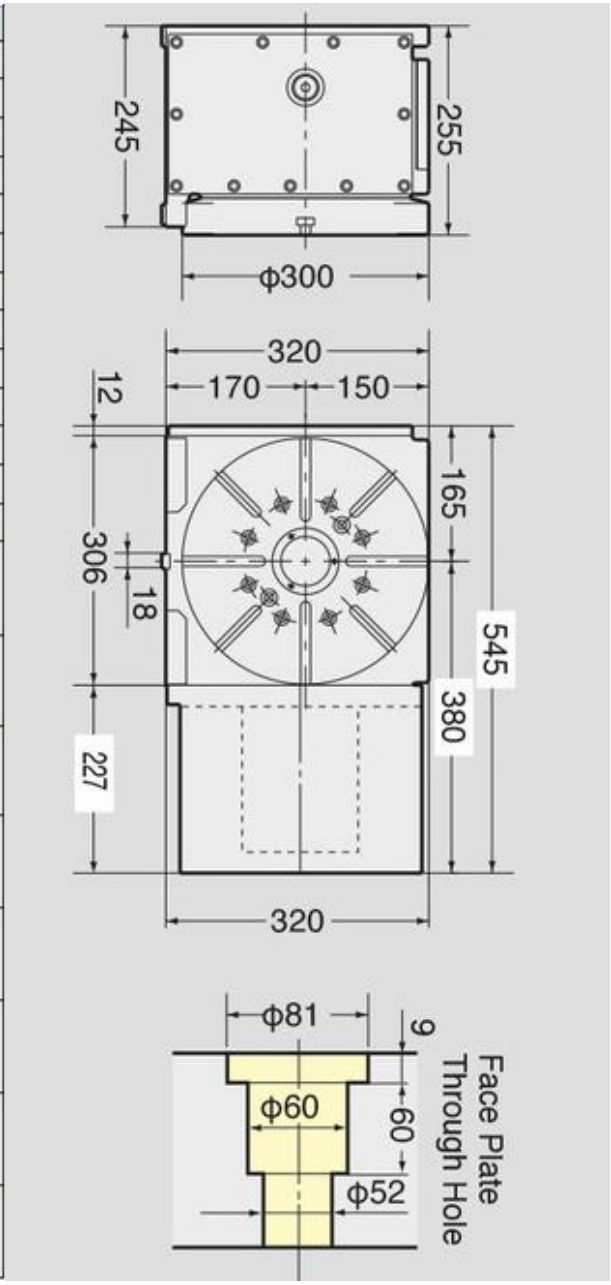


Figura 2.7 – Specifiche tecniche e dimensioni del Nikken NSVZ300. Fonte: https://www.nikken-world.it/

2.4 Ciclo di foratura

Nei paragrafi che seguono si riportano nel dettaglio le singole fasi del ciclo di foratura attualmente adoperato in officina sulle torrette dei globoidal indexers.

Il ciclo di lavoro, eseguito presso la macchina utensile fresatrice Newall, può essere scomposto nelle seguente sottofasi come mostrato in *Figura 2.8*:

01. Operazioni preliminari
02. Foratura - sgrossatura
03. Foratura - finitura
04. Spianatura
05. Svasatura
06. Maschiatura

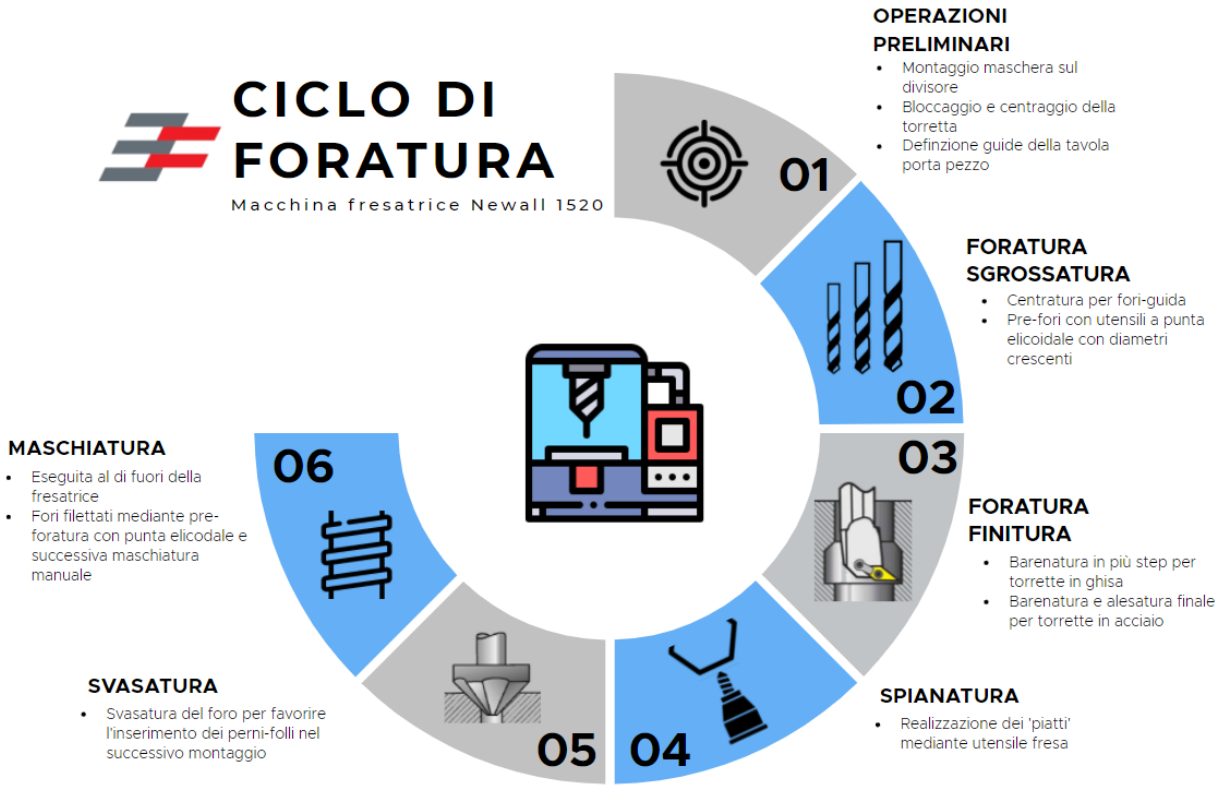


Figura 2.8 – Schema delle fasi del ciclo di foratura di precisione delle torrette.

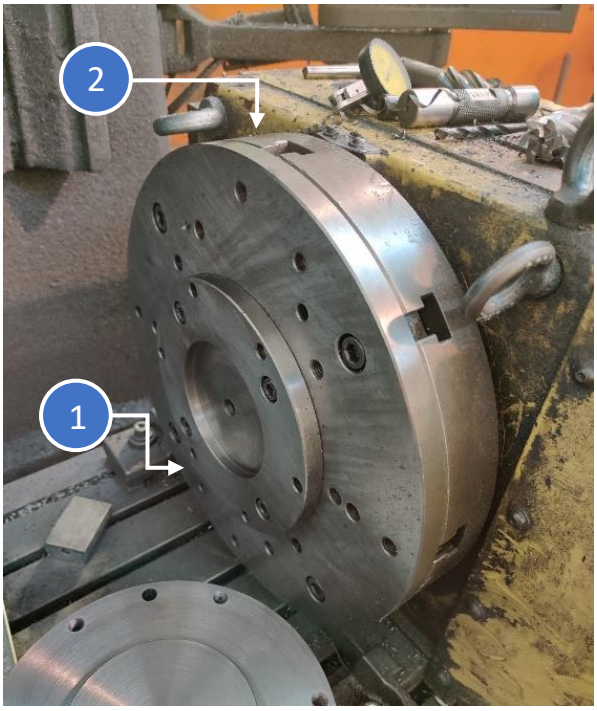
01. Operazioni preliminari

A monte dell'effettivo processo di foratura presso la fresatrice Newall, sono necessarie delle accurate operazioni preliminari con un duplice scopo:

- Garantire un corretto bloccaggio del semilavorato sul divisore Nikken;
- Definire le quote x e y delle guide della fresatrice.

Si riporta di seguito la procedura dettagliata delle operazioni di bloccaggio e del preset della macchina utensile.

a. Montaggio della maschera sul divisore Nikken.



Ogni tipologia di torretta, in base al corrispondente diametro, necessita di una maschera [1] da fissare sul divisore [2] con la rispettiva geometria delle sedi per le spine.

Figura 2.9 – Montaggio maschera sul divisore Nikken.

b. Bloccaggio della torretta [3] sul divisore mediante spine e staffe [4].

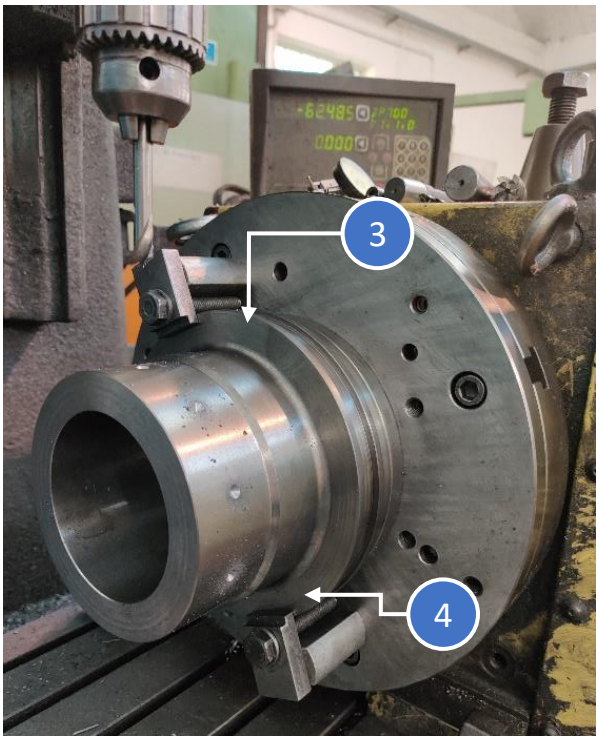


Figura 2.10 Bloccaggio della torretta sul divisore.

c. Controllo su quattro punti della direzione dell'asse orizzontale del semilavorato mediante l'utilizzo combinato di due comparatori.

Come mostrato in *Figura 2.11*, un primo comparatore [5] è posizionato sulla tavola della fresatrice e controlla la quota verticale z di un secondo comparatore [6].

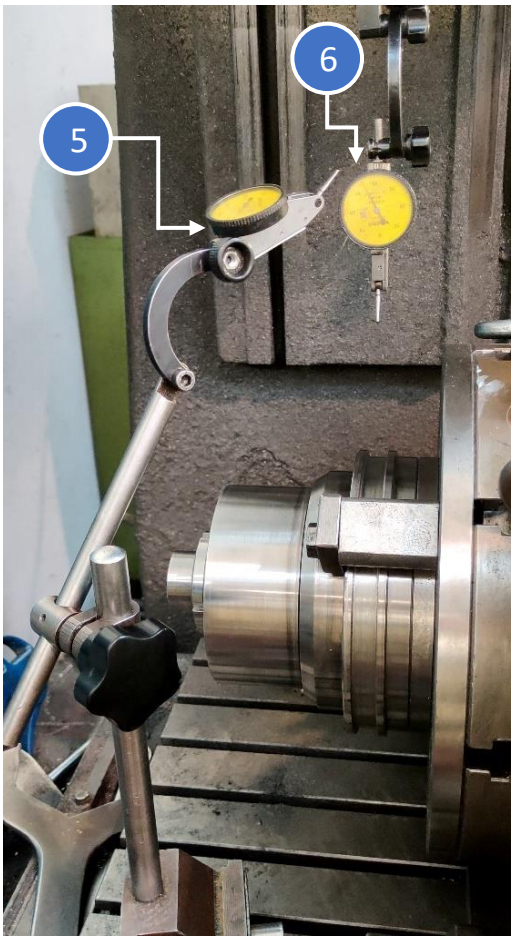


Figura 2.11 – Centraggio torretta mediante l'utilizzo di due comparatori.

Quest'ultimo, invece, controlla l'asse orizzontale del foro su quattro punti (a seguito di successive rotazioni di 90° eseguite mediante il controllo elettronico del divisore Nikken).

La massima tolleranza ammessa nel corso di tale procedura è di 0.03 mm; nel caso in cui la tolleranza fosse maggiore rispetto a quella richiesta, l'operatore procede manualmente eseguendo delle piccole correzioni e quindi riesegue il check.

d. Definire le quote x e y relative al posizionamento delle due guide della fresatrice Newall.
   Tale procedura è eseguita adoperando un tastatore [7] dal diametro di 4 mm.

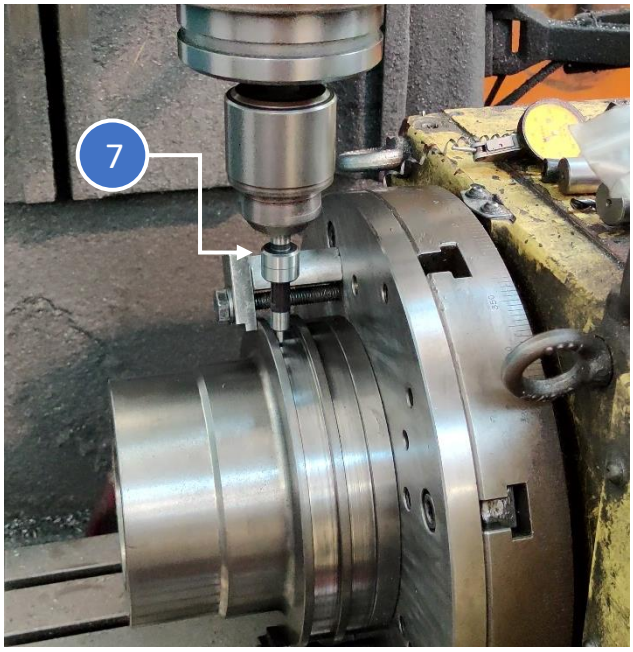


Figura 2.12 – Utilizzo di un tastatore per definire il posizionamento della tavola portapezzo.

Nota la quota relativa alla distanza tra il centro della gola e la posizione del centro del foro, si esegue una misura al fine di poter centrare l'utensile per le successive operazioni di foratura.
Dunque, dal momento che la quota di interesse è pari numericamente a 66.5 mm, si porta la guida ad una coordinata x pari a -62.5 mm poiché è da valutare l'offset pari al diametro del tastatore.
Al contrario, non si interviene sulla guida nella direzione y che viene fissata nell'origine.
Le coordinate delle guide della fresatrice al termine delle operazioni preliminari sono:

$$\begin{cases} x = -62.5\ mm \\ y = 0\ mm \end{cases}$$

02. Foratura - sgrossatura

Dopo aver predisposto la fresatrice ed il divisore nelle condizioni di lavoro idonee relativamente alla dimensione della torretta da lavorare, si procede con l'avvio del ciclo di foratura.
In linea generale, il processo segue due fasi: una prima di sgrossatura dove si procede con utensili a punta elicoidale dal diametro via via crescente ed una successiva fase di finitura per raggiungere la dimensione del foro definita da progetto.
Per ognuno dei singoli step si riportano in dettaglio la tipologia di utensile e i parametri di taglio impostati a bordo macchina per le operazioni di taglio.

a. Centratura
   Il processo di foratura richiede un primo step di centratura durante il quale si realizza un primo foro-guida necessario per garantire l'allineamento tra l'asse del foro e l'asse dell'utensile in lavorazione.

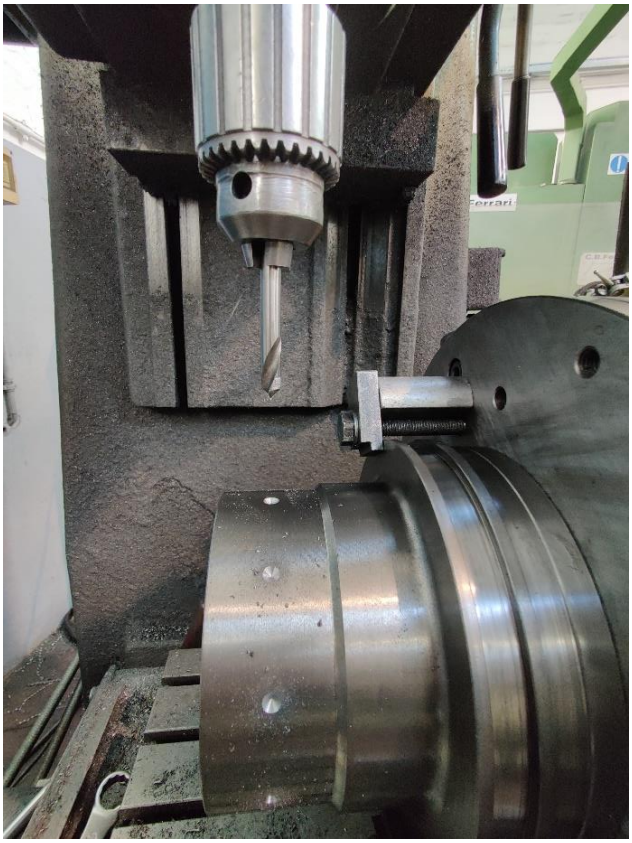


Figura 2.13 – Operazione di centratura per la realizzazione dei fori-guida.

L'operazione è eseguita mediante un utensile a punta elicoidale le cui dimensioni e parametri di taglio sono riportate in *Tabella 2.1.*
L'operatore a bordo macchina dopo avere settato manualmente la velocità di rotazione del mandrino, mediante la rispettiva leva, gestisce manualmente la fase di avanzamento durante il processo di taglio sia in termini di velocità che in corsa di lavoro: l'operatore guida l'utensile al fine di generare un foro cieco dalla profondità di circa 3 mm.

Centratura	
Utensile	*Punta elicoidale*
Misura Ø [mm]	*8*
Velocità mandrino n [rpm]	*1050*
Corsa z [mm]	*2-3*
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]	*manuale*

Tabella 2.1 – Tipologia di utensile adoperato e parametri di taglio relativi all'operazione di centratura.

b. Pre-foro da 5.5 mm

A seguito della centratura, il ciclo di foratura attuale prevede l'avvio di una serie di step di sgrossatura mediante la realizzazioni di pre-fori dal diametro crescente mediante l'utilizzo di utensili a punta elicoidale.

Il primo pre-foro è eseguito mediante punta elicoidale da 5.5 mm, il cui processo è strettamente dipendente dall'operatore che ne gestisce manualmente la velocità di avanzamento.

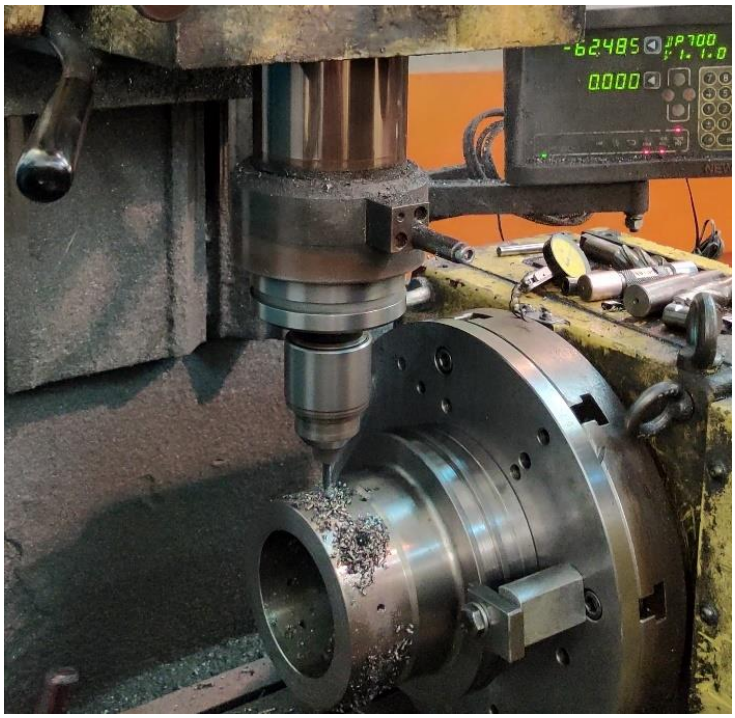


Figura 2.14 – Esecuzione del pre-foro da 5.5 mm mediante punta elicoidale.

Gli altri parametri di taglio sono riportati in *Tabella 2.2* con annesse informazioni ausiliare relative all'utilizzo di lubrificante ed aria compressa per lo sgombero del truciolo.

Nel caso di torrette in ghisa, l'operatore utilizza dell'olio che spennella direttamente sull'utensile; al contrario, per torrette in acciaio si usa dell'acqua.

Pre-foro da 5.5 mm	
Utensile	*Punta elicoidale*
Misura Ø [mm]	*5.5*
Velocità mandrino n [rpm]	*1050*
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]	*manuale*
Lubrificazione	*Si*
Liquido	*Olio – ghisa* *Acqua - acciaio*
Aria compressa	*No*

Tabella 2.2 - Tipologia di utensile adoperato e parametri di taglio relativi alla realizzazione del pre-foro da 5.5 mm.

c. Pre-foro da 12.5 mm
In maniera analoga si procede ad un successivo pre-foro con un diametro maggiore da 12.5 mm.

Figura 2.15 – Esecuzione del pre-foro da 12.5 mm mediante punta elicoidale.

Pre-foro da 12.5 mm	
Utensile	*Punta elicoidale*
Misura Ø [mm]	*12.5*
Velocità mandrino n [rpm]	*533*
Avanzamento per giro f_n [mm/giro]	*manuale*
Lubrificazione	*Si*
Liquido	*Olio – ghisa* *Acqua - acciaio*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.3 - Tipologia di utensile adoperato e parametri di taglio relativi alla realizzazione del pre-foro da 12.5 mm.

d. Pre-foro da 15
In maniera analoga si procede ad un successivo pre-foro con un diametro maggiore da 15 mm mediante un utensile fresa dal diametro corrispondente.
Si riportano di seguito in *Tabella 2.4* i parametri di taglio e le informazioni ausiliarie.

Figura 2.16 – Esecuzione del pre-foro da 15 mm mediante utensile fresa.

Pre-foro da 15 mm	
Utensile	*Fresa*
Misura Ø [mm]	*15*
Velocità mandrino n [rpm]	*372*
Avanzamento per giro f_n [mm/giro]	*manuale*
Lubrificazione	*Si*
Liquido	*Olio – ghisa* *Acqua - acciaio*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.4 - Tipologia di utensile adoperato e parametri di taglio relativi alla realizzazione del pre-foro da 12.5 mm.

03. Foratura - finitura

Al termine della fase di sgrossatura si raggiunge una dimensione del foro tale da garantire qualche decimo di millimetro di sovrametallo tale da poter poi procedere con la successiva fase di finitura.
A seconda del materiale di cui è costituita la torretta da forare, si utilizzano in officina differenti tipologie di utensili di finitura.
Nel caso di torretta in ghisa, la finitura del foro viene eseguite mediante un bareno ovvero un utensile dotato di una barra su cui ha sede l'inserto da taglio. Il processo di finitura viene monitorato intervenendo sull'avanzamento radiale dell'inserto del bareno mediante una scala graduata presente sul corpo utensile.
Si procede con più step di barenatura con una regolazione dell'avanzamento radiale di soli 0.3 mm; al termine dei sotto cicli di barenatura l'operatore monitora la dimensione del foro mediante un micrometro per interni e due tamponi.
Nel caso di torretta in acciaio, invece, il processo di finitura del foro viene eseguita mediante un alesatore; questa fase è comunque preceduta da una serie di cicli di barenatura preliminari in quanto permettono di portare il foro nelle dimensioni ottimali per eseguire l'alesatura.

Barenatura	
Utensile	*Bareno*
Misura Ø [mm]	*14 - 20*
Velocità mandrino n [rpm]	*533*
Avanzamento per giro f_n [mm/giro]	*0,076 – ghisa* *0,040 - acciaio*
Lubrificazione	*Si*
Liquido	*Olio – ghisa* *Acqua - acciaio*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.5 – Parametri di taglio per le operazioni di barenatura per torrette in ghisa e acciaio ed informazioni ausiliarie al processo.

Di seguito si riportano i quattro sotto cicli di finitura per una *torretta in ghisa*, il cui processo è stato eseguito solo mediante bareno.

a. Primo ciclo di barenatura - ghisa
   Avanzamento radiale: 0.3 mm

   Al termine del primo ciclo di esegue un check con il perno da impiantare al termine del processo di foratura da 15.80 mm al fine di verificare che non entri al suo interno.

b. Secondo ciclo di barenatura - ghisa
Avanzamento radiale: 0.3 mm

Figura 2.17 – Monitoraggio delle dimensioni del foro mediante micrometro per interni all'inizio del secondo step di barenatura.

All'inizio del ciclo si esegue un controllo delle dimensioni del foro mediante micrometro come rappresentato in *Figura 2.17*.
Al termine, invece, si esegue il controllo mediante il tampone di diametro pari a 15.80 mm e tale check è da considerarsi positivo se non entra nel foro.

c. Terzo ciclo di barenatura - ghisa
L'*avanzamento radiale* si determina sulla base di un controllo mediante un secondo tampone da 15.84 mm, che non deve impiantarsi completamente al suo interno.
L'operatore sulla base di tale procedura preliminare valuta il delta necessario per il raggiungimento della dimensione finale del foro.
Nel rilevamento il terzo ciclo è stato realizzato con un *avanzamento radiale del tagliente settato a 0.3 mm.*

d. Quarto ciclo di barenatura - ghisa
In maniera analoga al terzo ciclo, si valuta l'avanzamento radiale da settare sul bareno, mediante il tampone da 15.84 mm.
Nel caso in esame, l'avanzamento radiale necessario per raggiungere la dimensione di progetto del foro è pari a 0.3 mm.

Al contrario, nel caso di una torretta in acciaio, il processo di finitura comprende tre cicli di barenatura che precedono il successivo step di alesatura.
A causa della geometria della torretta, la corsa di lavoro dell'utensile deve essere ristretta all'interno di un certo range per evitare che accidentalmente raggiunga il pieno sottostante al foro.
Per tale ragione, l'operatore interviene settando a bordo macchina la massima corsa verticale che può percorrere l'utensile a partire dal punto più basso del contatto tagliente-pieno.

Si riportano di seguito i dettagli degli step di barenatura per acciaio.

a. Primo ciclo di barenatura - acciaio
   Avanzamento radiale: 0.3 mm
   Velocità di avanzamento: 40 mm/min

   Al termine del primo ciclo l'operatore esegue un check manuale con un micrometro al fine di monitorare l'effettiva misura del diametro del foro e regolare l'avanzamento radiale del ciclo di barenatura successivo.

b. Secondo ciclo di barenatura - acciaio
   Avanzamento radiale: 0.3 mm
   Velocità di avanzamento: 40 mm/min

   Al termine del ciclo l'operatore esegue un controllo mediante micrometro e tampone da 15.84 mm.
   Il check è da considerarsi positivo se il tampone non entra completamente nel foro ma deve raggiungere la sola tacca presente sullo stesso.

c. Terzo ciclo di barenatura: pre-alesatura – acciaio
   Un terzo ciclo di barenatura viene eseguita per facilitare l'ingresso dell'alesatore nel foro nello step successivo.
   È importante la pulizia del foro mediante aria compressa per evitare che in alesatura ci sia del truciolo che potrebbe provocare un aumento indesiderato delle dimensioni del foro.

   Avanzamento radiale: 0.3 mm
   Velocità di avanzamento: 76 mm/min

d. Alesatura
   Nel solo caso di torrette in acciaio, come detto sopra, la finitura del foro è eseguita mediante alesatore (in *Figura 2.18)* di dimensioni opportune a seconda dei diametri.
   Dal rilievo in officina si è notato come in tale fase ci sia un eccessiva produzione di truciolo per cui è di fondamentale importanza l'utilizzo dell'aria compressa per evacuare il truciolo ed evitare strisciamenti sul pezzo.
   Al termine del processo di finitura viene eseguito un controllo con un micrometro per interni su più altezze al fine di monitorare eventuali errori di conicità del foro.

Figura 2.18 – Finitura del foro mediante alesatore su torretta in acciaio.

Alesatura	
Utensile	*Alesatore*
Misura Ø [mm]	*15.84*
Velocità mandrino n [rpm]	*66*
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]	*manuale*
Lubrificazione	*Si*
Liquido	*Olio – ghisa* *Acqua - acciaio*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.6 - Tipologia di utensile adoperato e parametri di taglio relativi all'alesatura del foro.

04. Spianatura

A seguito del processo di foratura si procede con un'operazione piuttosto rapida che prevede la spianatura della superficie esterna della torretta su cui sono eseguiti i fori; la formazione dei 'piatti' permette di facilitare la successiva fase di inserimento dei perni folli nei fori.

Figura 2.19 – Processo di spianatura mediante fresa per la realizzazione dei 'piatti'.

Tale processo è ancora eseguito presso la fresatrice Newall mediante un utensile fresa dal diametro di 28 mm.
La velocità di avanzamento del moto di discesa dell'utensile è controllata manualmente dall'operatore mediante la manovella [8] posta frontalmente al montante della macchina, come è visibile in *Figura 2.19.*
Tale manovella rispetto a quella posta lateralmente permette all'operatore di monitorare la corsa verticale dell'utensile con una maggiore risoluzione.
Infatti, a partire dalla quota verticale di contatto fresa-torretta l'operatore blocca la discesa della fresa solo dopo 0.5 mm.

Di seguito si riportano in *Tabella 2.7* le informazioni del processo di spianatura.

Spianatura	
Utensile	*Fresa*
Misura Ø [mm]	*28*
Velocità mandrino n [rpm]	*130*
Corsa di lavoro z [mm]	*0.5 mm*
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]	*manuale*
Lubrificazione	*No*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.7 – Tipologia di utensile e parametri di taglio adoperati per l'esecuzione del processo di spianatura.

05. Svasatura

L'ultima operazione eseguita sulla torretta presso la fresatrice Newall è la svasatura dei fori, con l'obbiettivo di facilitare l'ingresso del perno nella sede.

Tale operazione è gestita dall'operatore che comanda manualmente il moto verticale dell'utensile al fine di creare una svasatura sul foro, con una corsa di lavoro di circa 1-2 mm dalla superficie superiore.

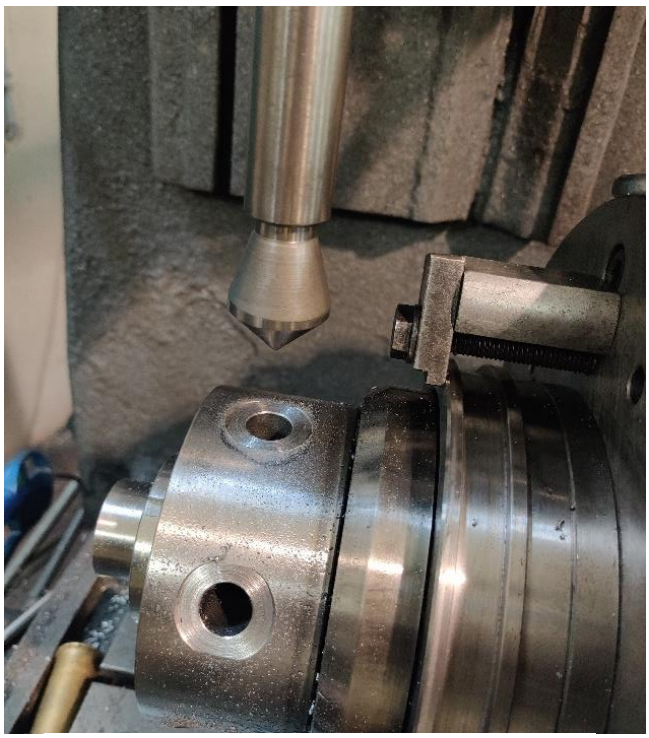


Figura 2.20 – Esecuzione svasatura del foro.

Svasatura	
Utensile	*Svasatore*
Misura Ø [mm]	*31*
Velocità mandrino n [rpm]	*131*
Corsa di lavoro z [mm]	*1-2*
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]	*manuale*
Lubrificazione	*No*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.8 – Tipologia di utensile e parametri di taglio per l'esecuzione del processo di svasatura dei fori.

06. Maschiatura

Successivamente il processo di foratura delle torrette prosegue al di fuori della fresatrice Newall, dove vengono eseguite le operazioni per l'esecuzione di altri fori disposti ortogonalmente ai primi.
Il processo nello specifico porta alla realizzazione di fori filettati e, dunque, è richiesta una prima fase di sola foratura ed una successiva maschiatura per generare il filetto interno.
Questi fori sono funzionali al bloccaggio dei perni folli sulla torretta nel corso del funzionamento dei globoidal indexer mediante una gola a v sul gambo dello stesso perno.
Il primo step di foratura è eseguito mediante un utensile a punta elicoidale i cui parametri di taglio sono riportati in *Tabella 2.9*, al quale segue una maschiatura manuale per la realizzazione dei fori filettati.

Foratura pre-maschiatura	
Utensile	*Punta elicoidale*
Misura Ø [mm]	*4.2*
Velocità mandrino n [rpm]	*1000*
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]	*manuale*
Lubrificazione	*No*
Aria compressa	*Si*

Tabella 2.9 – Utensile e parametri di taglio per il processo di foratura pre-maschiatura.

Al termine del processo sopra descritto, la torretta forata si presenta come in *Figura 2.21*, che successivamente procede lungo la linea produttiva con il successivo montaggio dei perni folli.

Figura 2.21 – Torretta della serie SX 60 al termine del processo di foratura e successivo montaggio dei perni folli.

2.5 Rilievo - Indexer SX 60 -10 fori

Nel paragrafo che segue si riportano nel dettaglio le rilevazioni eseguite in officina presso ITALPLANT S.r.l. relativamente al processo di foratura delle torrette per un globoidal indexer SX 60.
In Tabella sono riportate le specifiche dei fori quali il diametro nominale previsto da progetto, la profondità e la tipologia di foro assieme ai macro-risultati ottenuti nel corso della rilevazione.

Modello	*SX 60*
Materiale	*Ghisa sferoidale – GS 400*
N. fori	*10*
Diametro Ø [mm]	*15,84*
Tipologia foro	*Passante*
Lunghezza [mm]	*21*
L/D	*1,31*
Durata – tempi passivi	***00:27:50***
Durata totale	***02:39:11***

Tabella 2.10 – Specifiche tecniche dei fori da realizzare per la serie SX 60 e principali durate rilevate in officina.

Lista utensili – SX 60	
01.Operazioni preliminari	*2 comparatori*
	Tastatore da ⌀4 mm
02.Foratura - sgrossatura	*Punta elicoidale da 8 mm*
	Punta elicoidale da 5.5 mm
	Punta elicoidale da 12.5 mm
	Fresa da 15 mm
03.Foratura- finitura	*Bareno 14-20 mm*
	Tampone da 15.8 mm
	Tampone da 15.84 mm
04.Spianatura	*Fresa da 28 mm*
05.Svasatura	*Svasatore da 31 mm*
06.Maschiatura	*Punta elicoidale da 4.2 mm*
	Maschio M8

Tabella 2.11 – Lista utensili necessari per la realizzazione del ciclo di foratura di precisione della torretta per SX 60.

SX 60 – 10 Fori						
Operazione	Utensile	Misura **Ø [mm]**	Velocità mandrino **n [rpm]**	Velocità di taglio **Vc [m/min]**	Avanzamento per giro **fn [mm/giro]**	Tempo rilevato **[hh:mm:ss]**
					01 - OPERAZIONI PRELIMINARI	**00:20:30**
02 - FORATURA - SGROSSATURA						
a - centrini	**Punta elicoidale**	**8**	1050	18,14	m	00:02:30
b – pre-foro	**Punta elicoidale**	**5,5**	1050	26,39	m	00:10:30
c – pre-foro	**Punta elicoidale**	**12,5**	533	20,93	m	00:05:30
d – pre-foro	**Fresa**	**15**	372	17,53	m	00:04:30
					Durata sgrossatura	**00:23:00**
					Durata media per foro	**00:02:18**
03 - FORATURA - FINITURA						
a - Barenatura	**Bareno**	**15 + 0,3**	533	25,62	0,076	00:11:20
b - Barenatura	**Bareno**	**15,3 + 0,3**	533	26,12	0,076	00:20:16
c – Barenatura	**Bareno**	**15,6 + 0,3**	533	26,62	0,076	00:15:15
d – Barenatura	**Bareno**	**15,9 + 0,3**	533	27,13	0,076	00:10:47
					Durata finitura	**00:57:38**
					Durata media per foro	**00:05:46**
04 - Spianatura	**Fresa**	**28**	130	11,44	m	**00:08:58**
05 - Svasatura	**Svasatore**	**31**	257	12,76	m	**00:01:15**
					06 - Maschiatura	**00:20:00**
					Durata ciclo di foratura	**02:11:21**
					Durata tempi passivi	**00:27:50**
					DURATA TOTALE CICLO DI FORATURA TORRETTA	**02:39:11**

Tabella 2.12 – Rilevamento durate delle singole fasi del processo di foratura di precisione delle torrette per la serie SX 60 con 10 fori.

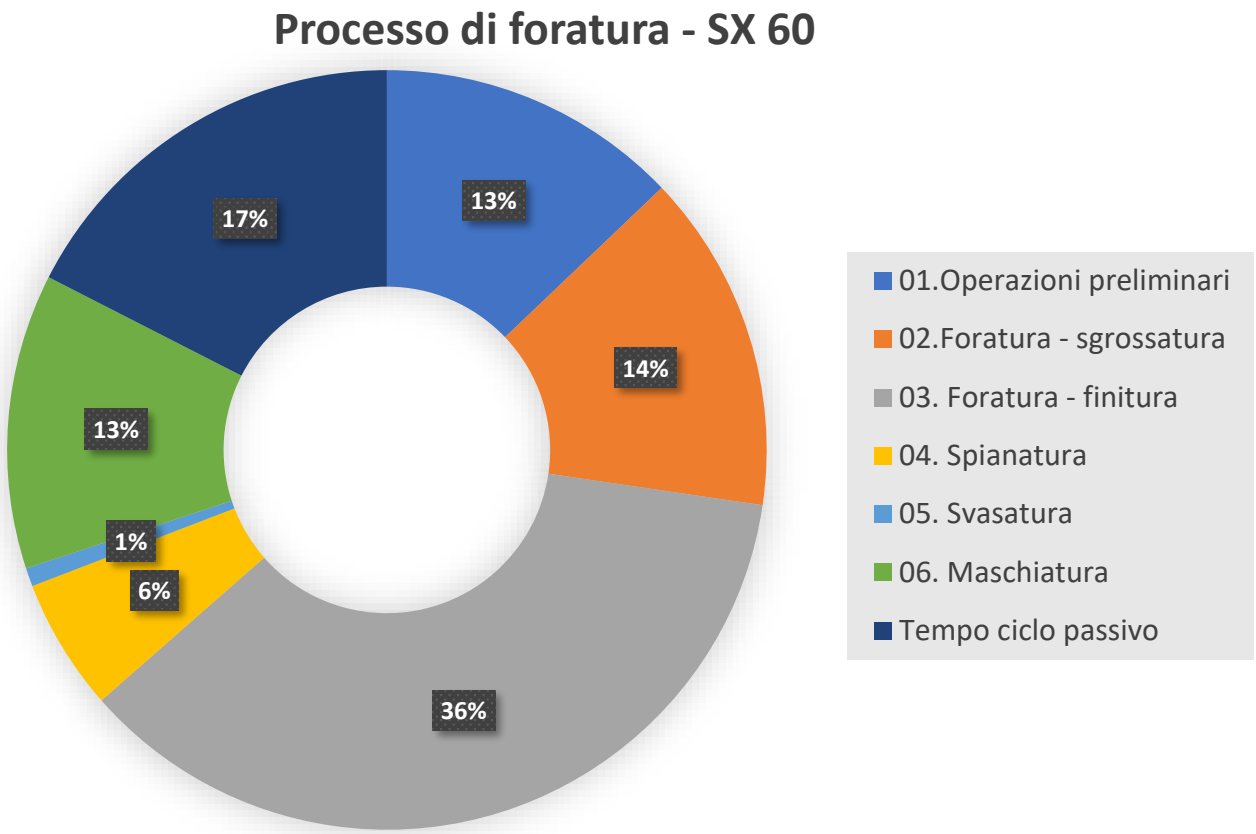


Figura 2.22 – Diagramma ad anello relativo alle durate delle singole sottofasi del processo di foratura della torretta SX 60.

Il rilievo in officina delle tempistiche del processo di foratura della torretta del SX 60 ha dimostrato che il tempo ciclo totale necessario sia pari a circa 2 ore e 40 minuti.
Come visibile anche del diagramma ad anello riassuntivo in *Figura 2.22* le quote più rivelanti sono relative alle fasi di sgrossatura e finitura del foro che, infatti, complessivamente occupano il 50% della durata complessiva e sui quali è necessario un intervento mirato per aumentare l'efficienza e la produttività della lavorazione.
Complessivamente entrambe le fasi di foratura sono pari a circa 1 ora e 20 minuti e tali tempistiche sono il frutto di una serie di dinamiche operative: la sequenza del ciclo è costituita da numerosi step i quali contribuiscono negativamente sulla durata del processo complessivo dal momento che è eseguito a bordo di una macchina tradizionale. L'assenza di una programmazione comporta necessariamente la presenza di un'operatore specializzato a bordo macchina che è costretto a gestire manulamente ogni singolo step a partire dalle operazioni di cambio e pre-setting degli utensili ed al setup dei parametri di taglio presso la fresatrice Newall.
Al contrario, le operazioni di spianatura, svasatura e maschiatura sono piuttosto rapide e ciò è giustificato dal fatto che le tolleranze e specifiche richieste per tali procedure sono nettamente più ampie rispetto a quelle richieste per le fasi di foratura.
La quota di tempo ciclo passivo complessiva rilevata nel processo è pari al 17%. Tale dato è particolarmente critico in quanto dimostra come nel corso del processo per una durata corrispondente a circa 28 minuti la produttività è stata nulla.
La causa principale di tali tempistiche è relativa all'assenza dell'operatore a bordo della macchina fresatrice Newall poiché impegnato in altre operazioni meccaniche o processi di assemblaggio lungo le altre linee produttive in officina. Le dinamiche sopra citate non permettono, infatti, che il ciclo possa procedere in sua assenza.

2.6 Rilievo - Indexer SOTL SX 60 – 6 fori

In maniera analoga, si riportano i risultati del rilevamento della durata del ciclo di foratura della torretta di un globoidal indexers SX 60 da 6 fori in acciaio, nella configurazione in cui è presente anche il limitatore di coppia SOTL.

Modello	*SOTL SX 60*
Materiale	*Acciaio – 38CrNiMo4*
N. fori	*6*
Diametro Ø [mm]	*15,84*
Tipologia foro	*Passante*
Lunghezza [mm]	*21*
L/D	*1,31*
Durata – tempi passivi	***00:45:25***
Durata totale	***02:34:23***

Tabella 2.13 - Specifiche tecniche dei fori da realizzare per la serie SOTL SX 60 e principali durate rilevate in officina

Lista utensili – SOTL SX 60	
01.Operazioni preliminari	*2 comparatori*
	Tastatore da ⌀4 mm
02.Foratura - sgrossatura	*Punta elicoidale da 8 mm*
	Punta elicoidale da 5.5 mm
	Punta elicoidale da 12.5 mm
	Fresa da 15 mm
03.Foratura- finitura	*Bareno 14-20 mm*
	Tampone da 15.8 mm
	Tampone da 15.84 mm
	Alesatore da 15.84 mm
04.Spianatura	*Fresa da 28 mm*
05.Svasatura	*Svasatore da 31 mm*
06.Maschiatura	*Punta elicoidale da 4.2 mm*
	Maschio M8

Tabella 2.14 - Lista utensili necessari per la realizzazione del ciclo di foratura di precisione della torretta per SOTL SX 60.

SOTL SX 60 – 6 Fori						
Operazione	Utensile	Misura **Ø [mm]**	Velocità mandrino **n [rpm]**	Velocità di taglio **Vc [m/min]**	Avanzamento per giro **fn [mm/giro]**	Tempo rilevato **[hh:mm:ss]**
					01 - OPERAZIONI PRELIMINARI	**00:13:23**
02 - FORATURA - SGROSSATURA						
a - centrini	**Punta elicoidale**	**8**	1050	18,14	m	00:01:07
b – pre-foro	**Punta elicoidale**	**5,5**	1050	26,39	m	00:05:25
c – pre-foro	**Punta elicoidale**	**12,5**	533	20,93	m	00:06:00
d – pre-foro	**Fresa**	**15**	372	17,53	m	00:05:20
					Durata sgrossatura	**00:17:52**
					Durata media per foro	**00:02:59**
03 - FORATURA - FINITURA						
a - Barenatura	**Bareno**	**15 + 0,3**	533	25,62	0,040	00:17:00
b – Barenatura	**Bareno**	**15,3 + 0,3**	533	26,12	0,040	00:15:54
c – Pre alesatura	**Bareno**	**15,6 + 0,2**	533	26,46	0,076	00:01:40
d – Alesatura	**Alesatore**	**15,8**	66	3,28	m	00:17:19
					Durata finitura	**00:51:53**
					Durata media per foro	**00:08:55**
04 - Spianatura	**Fresa**	**28**	130	11,44	m	**00:03:35**
05 - Svasatura	**Svasatore**	**31**	257	12,76	m	**00:02:15**
					06 - Maschiatura	**00:20:00**
					Durata ciclo di foratura	**01:48:58**
					Durata tempi passivi	**00:45:25**
					DURATA TOTALE CICLO DI FORATURA TORRETTA	**02:34:23**

Tabella 2.15– Rilevamento durate delle singole fasi del processo di foratura di precisione delle torrette per la serie SOTL SX 60.

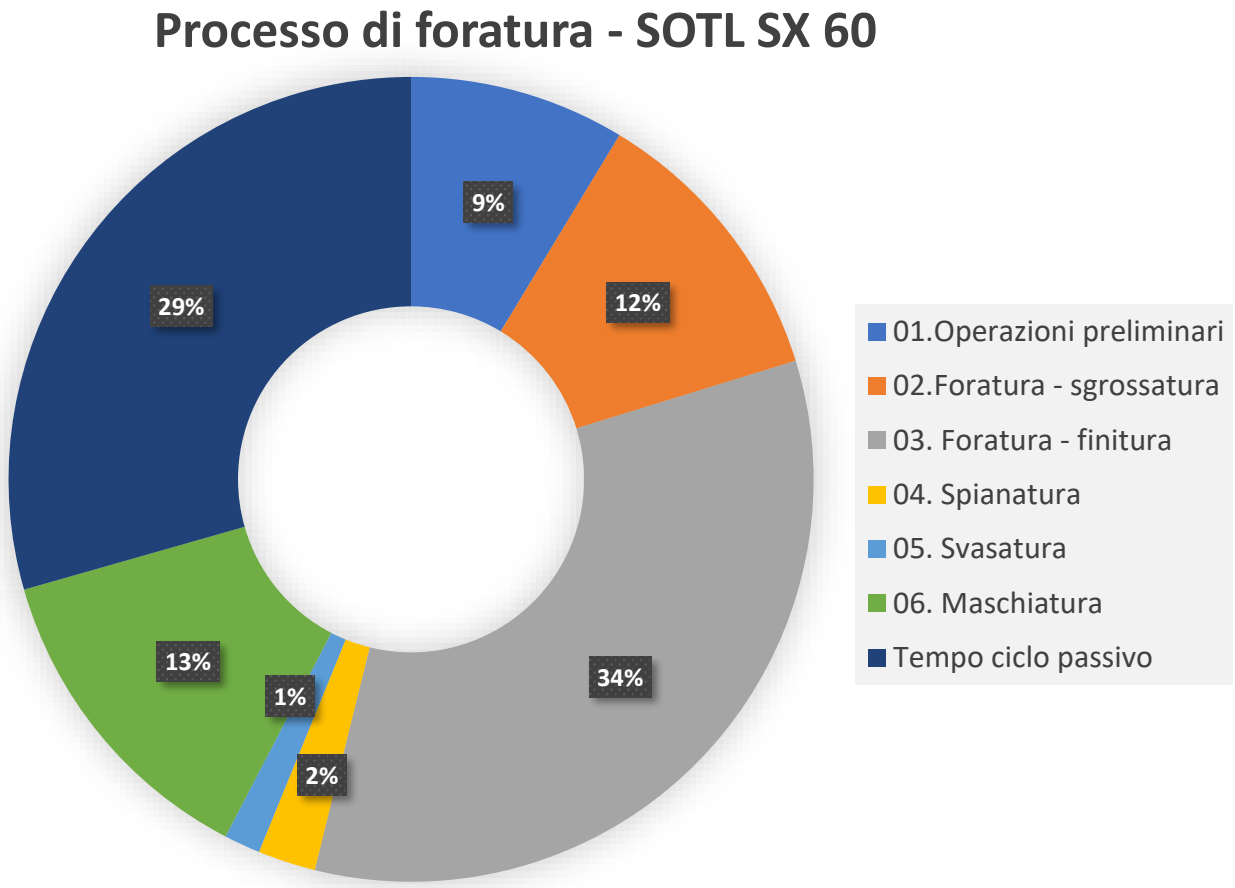


Figura 2.23 - Diagramma ad anello relativo alle durate delle singole sottofasi del processo di foratura della torretta SOTL SX 60.

Il rilievo delle tempistiche del processo di foratura della torretta in acciaio con 6 fori relativa alla serie di indexer SOTL SX 60 ha dimostrato il ciclo sia stato completato in circa 2 ore e 35 minuti.
Analizzando il diagramma ad anello in *Figura 2.23* relativo alla sintesi delle tempistiche delle singole sottofasi si osserva nuovamente come il processo di sgrossatura e finitura occupino il 46% della durata complessiva (pari a circa 1 ora e 10 minuti) a cui segue la quota di tempo ciclo passivo pari a ben 29%.
In maniera analoga a quanto già evidenziato nel rilievo della foratura della torretta SX 60, si osserva come sia necessario un intervento puntuale circa le tecnologie di taglio al fine di poter rendere più efficiente e produttiva la lavorazione meccanica pur garantendo i medesimi livelli di accuratezza.
L'analisi dei tempi ha messo in luce nuovamente una criticità relativa alle tempistiche di tempo ciclo passivo in quanto pari a 45 minuti: rispetto al caso precedente in cui le motivazioni erano solo relative all'assenza dell'operatore a bordo macchina, in questo caso è da segnalare anche una mancata manutenzione predittiva da parte dell'azienda.
Nello specifico ci sono state due pause che hanno interrotto il processo: l'operatore nel corso degli step barenatura ha riscontrato un errore dimensionale nella dimensione del foro a causa dell'usura del tagliente che, per tale ragione, è stato sostituito.
Una seconda quota predominante nel tempo ciclo passivo è relativa alla sospensione del processo a causa dell'assenza dell'alesatore in officina poiché era stato inviato esternamente per essere ripristinato.
Le operazioni preliminari relative al montaggio maschera e al centraggio della torretta sul divisore Nikken occupano una piccola quota temporale e pari a soli 13 minuti ma è da sottolineare come sia una sequenza di operazioni manuali che dipendono dalle specifiche dinamiche: questo dimostra come, invece, nel primo rilevamento sono durate circa 21 minuti.

2.7 Punti critici del processo

A seguito dell'analisi del ciclo di foratura di precisione delle torrette sono stati riscontrati dei punti critici che lo rendono inefficiente a livello di produttività.
Sono state, infatti, annotate due differenti tipologie di problematiche: le prime potrebbero essere risolte nel breve periodo con accorgimenti mirati nel ciclo di foratura attuale presso la fresatrice Newall; vi sono, invece, altri fattori per i quali la risoluzione può essere garantita solo a fronte di un intervento massivo di retrofit o con il trasferimento del processo presso un centro di lavoro CNC.

A causa delle tempistiche per l'esecuzione dell'intero ciclo di foratura, l'officina non ha una schedule programmata differenziata per tipologia di globoidal indexer, bensì il processo è strettamente dipendente dagli ordini uscenti nel breve termine.
Ciò, infatti, non permette all'azienda di pianificare e gestire un magazzino-torrette che le permetterebbe, all'arrivo di un nuovo ordine, di procedere direttamente alla sola fase di assemblaggio con la rispettiva camma globoidale.

Operazioni preliminari

Una considerevole quota di tempo ciclo passivo è rappresentata dalle operazioni preliminari; ogni singola sottofase richiede un livello di accuratezza elevato che altrimenti comprometterebbe l'intero ciclo di foratura.
Ciò che prova il fatto che essa superino anche il 10% del tempo ciclo complessivo è che esse sono totalmente delle operazioni manuali, per le quali, dunque, ci potrebbero essere ampi margini di miglioramento a seguito di un possibile intervento di automatizzazione del processo.
Un primo problema è riscontrabile già nella fase di montaggio della maschera sul divisore: ogni tipologia di torretta, a seconda del diametro, ne richiede una con geometria ad hoc per ospitare le spine di bloccaggio.
Come anticipato, dal momento che l'officina non esegue cicli di foratura di lotti del medesimo indexer, l'operatore è costretto, ad inizio ciclo, ad eseguire smontaggio e montaggio della nuova maschera per la successiva torretta da forare.
Sarebbe più conveniente, quindi, che l'officina operasse cicli di foratura successivi della medesima tipologia di torretta al fine di ripartire tale quota di tempo passivo su più cicli; oppure si potrebbe progettare una maschera 'universale' per le tipologie di indexer maggiormente richiesti, senza che sia necessaria una schedule del processo di foratura.

Nel corso delle operazioni preliminari, inoltre, l'operatore procede al controllo dell'asse orizzontale del componente da forare. Il check viene eseguito mediante l'utilizzo di due comparatori e verificando che l'errore rilevato rientri nel range di tolleranza ammesso.
Il primo comparatore ne controlla la quota z del secondo, che a sua volta, monitora la posizione del pezzo da lavorare su quattro punti.
Tale procedura è eseguita anch'essa manualmente e occupa circa il 60% delle operazioni preliminari.
Una soluzione ottimale per minimizzare queste tempistiche è quella di dotare la macchina utensile di dispositivi elettro-meccanici ausiliari: si potrebbe guidare e monitorare la quota verticale del mandrino mediante un trasduttore di posizione ed integrare tale segnale con un'unità elettronica di controllo PLC che, opportunamente programmata, ne esegue autonomamente un ciclo per il centraggio.
Dunque, analogamente al processo eseguito manualmente dall'operatore, il PLC guida sia la traslazione verticale di un tastatore a bordo macchina, sia la rotazione del divisore/pezzo. Il tastatore viene portato alla quota z di contatto con la torretta a seguito di successive rotazioni del divisore di 90°.

Dopo avere eseguito tale ciclo, l'unità di governo elabora le informazioni ricevute dal tastatore ed un'interfaccia comunica l'esito del check all'operatore con eventualmente le indicazioni da eseguire per il corretto centraggio.
L'unità di controllo potrebbe, inoltre, con un ciclo dedicato, gestire il posizionamento delle guide al fine di allineare l'asse del mandrino con quello del foro nella posizione definita da progetto.

Foratura

Le principali cause di inefficienza sono, però, state riscontrate a seguito dell'analisi delle tecnologie di taglio adoperate nell'attuale ciclo di foratura eseguito in officina e ciò giustifica le alte percentuali di tempo ciclo visibili nei rispetti diagrammi ad anello in *Figura 2.22* e *2.23* relative ai processi di foratura analizzati in officina.
L'effettivo processo di foratura, comprensivo delle successive fasi di sgrossatura e finitura, ricopre, infatti, ben il 50% dell'intero ciclo di lavoro (circa 1 ora).
Nel primo step di foratura, infatti, si procede con una serie di punte elicoidali di diametro crescente per eseguire la sgrossatura; mentre, in finitura si svolgono più cicli di barenatura con differente avanzamento radiale.
Una prima considerazione da farsi è relativa alla tecnologia del processo di taglio adottato in officina: nonostante si riescano a garantire le tolleranze richieste da progetto, il parco utensili utilizzato dall'azienda per questa linea produttiva è rimasto identico nel corso degli anni.
Per tale ragione, tra le principali priorità vi è quella di riammodernare il parco utensili per il ciclo di foratura in modo da poter snellire il processo; sarebbe opportuno svolgere un indagine di mercato sulle nuove tipologie di utensile in relazione alle dinamiche del processo ed ai materiale da lavorare.

Inoltre, dal rilevamento si è osservato come la macchina utensile presenti dei limiti tecnici che compromettono la produttività del processo: richiede cambio utensile manuale, le velocità di rotazione del mandrino e la velocità di avanzamento possono essere settate solo su valori discreti; la macchina utensile non è predisposta né di un sistema di lubrificazione né di aria compressa, operazione che quindi deve essere gestita ancora manualmente dall'operatore.
Tali limiti relativi alla questione del setup della macchina contribuiscono negativamente alla durata del processo complessivo, poiché incrementano il tempo ciclo passivo per cui la macchina non esegue propriamente le operazioni di taglio.
Nonostante il cambio utensile sia gestito manualmente dall'operatore, esso richiede mediamente 30-40 secondi, che, però, è un fattore determinante sull'efficacia del processo in esame per via dei numerosi step richiesti sia in sgrossatura che finitura.
Nella maggioranza delle sottofasi, l'operatore esegue la foratura settando la sola velocità di rotazione del mandrino a bordo macchina, mentre, la fase di avanzamento è guidata dall'operatore; al contrario, nelle operazioni, come la barenatura o alesatura, dove l'operatore imposta la velocità di avanzamento, essa è tale sia durante la corsa di lavoro dell'utensile sia nella discesa in rapido.
Si potrebbe, quindi, definire le aree di lavoro per le differenti tipologie di torrette, in modo che la corsa dell'utensile venga differenziata in un primo tratto in rapido ed un successivo tratto di lavoro con i parametri di taglio coerenti con la lavorazione.

Vi sono, inoltre, una serie di dettagli che ne compromettono la produttività: dal momento che il ciclo di foratura prevede successive rotazioni del pezzo, l'operatore è costretto, al termine di ogni singolo step di foratura, ad azionare manualmente la rotazione del divisore. Tale operazione, seppur elementare, penalizza la durata del ciclo di lavoro complessivo soprattutto su linee produttive con otto o dieci fori per le quali sono necessarie complessivamente quasi un centinaio di rotazioni.

Nell'ottica di un ciclo automatico di foratura, un'unita di controllo dovrebbe provvedere ad azionare la rotazione del divisore successivamente ad ogni singolo step di foratura.

Uno dei problemi riscontrati nel corso della fase di barenatura ed alesatura del foro è relativo alla fase di checking delle effettive dimensioni del foro: tale procedura è piuttosto lenta in quanto avviene manualmente ed è l'operatore deputato al controllo mediante micrometro e tamponi.
Al contrario, dal momento che il monitoraggio è eseguito nel corso dei vari step in finitura, ciò permette di gestire in maniera ottimale eventuali anomalie nel processo intervenendo per tempo sul setup e, inoltre, permette all'operatore di valutare l'effettivo stato di usura degli utensili.

Le successive operazioni relative alla realizzazione della spianatura ed alla successiva svasatura dei fori richiedono tempi molto minori: esse, infatti, complessivamente coprono in media il 5% del tempo ciclo totale, ma possono ancora presentare ampi margini di miglioramento.

Complessivamente, i punti sopra descritti circa le criticità del processo di foratura, richiedono necessariamente che il processo venga eseguito da un operatore specializzato che monitori ogni fase del ciclo a partire dal setting della macchina ed il pre-setting dei bareni fino al controllo qualità finale.

Tempo ciclo passivo

In definitiva, si è evidenziato come tale processo sia strettamente dipendente dall'azione dell'operatore la cui assenza a bordo macchina determina uno stop del processo ed una conseguente produttività nulla del processo.
Per tale ragione, uno degli obbiettivi primari del rilevamento è stato quello di valutare quantitativamente la quota di tempi ciclo passivi ovvero gli intervalli temporali in cui non è stata eseguita nessuna operazione di taglio sul componente, comprese le fasi di cambio utensile, settaggio della macchina ed assenza dell'operatore.
Nel diagramma ad anelli in *Figura 2.22* e *2.23*, infatti, si osserva facilmente come uno dei principali contributi circa le durate del processo di foratura delle torrette sia proprio quello relativo alla quota di tempo ciclo passivo. Le principali cause individuate sono principalmente:

- assenza dell'operatore poiché impegnato in altre operazioni di assemblaggio nell'area officina;
- mancata manutenzione predittiva degli utensili.

Nel 90% dei casi, il processo di taglio è stato interrotto per l'assenza dell'operatore.
Nello specifico, durante il rilevamento della foratura della torretta in acciaio per il globoidal indexer SOTL SX 60, l'operatore nel corso delle procedure di checking in finitura si è prontamente accorto di una rugosità irregolare della superficie interna del foro per cui è stato necessario procedere al cambio tagliente del bareno, che ha quindi richiesto tempistiche maggiori di setup.
Un secondo problema, non per importanza, è stato riscontrato durante la fase di alesatura: nel parco utensili a bordo macchina non era presente l'utensile poiché era stato inviato esternamente per il ripristino. Dunque, è stato costretto ad interrompere il ciclo di foratura finché l'alesatore non è ritornato disponibile in officina; ciò giustifica maggiori tempi passivi nel rilevamento della foratura dell'indexer SOTL SX 60 di circa un'ora.

In conclusione, nonostante il processo sia piuttosto lento e con una serie di criticità sopra descritte, riesce a garantire standard di qualità elevate in linea con le strette tolleranze richieste da progetto.

La gradualità del ciclo di lavoro con successivi step permette di gestire in maniera ottimale gli utensili minimizzando il livello di usura, riducendo i costi di manutenzione ed aumentando i tempi di vita.
Da tale analisi, nascono dunque i presupposti per avviare un nuovo progetto che consenta di definire una nuova sequenza più snella del ciclo di foratura con l'intento di renderla anche automatica al fine di rendere il processo non più subordinato alla presenza di un operatore specializzato.

Capitolo 3: Nuovo ciclo di foratura

L'analisi dell'attuale ciclo di foratura delle torrette eseguito in officina ha fatto emergere una serie di criticità che inficiano la produttività e l'efficienza dell'intera linea produttiva dei globoidal indexer. Per tali ragione, il seguente elaborato ha come obbiettivo quello di ridefinire la sequenza delle operazioni del ciclo di foratura e rintracciare la soluzione ottimale per garantire l'automatizzazione del processo tale da svincolarlo dalla presenza e dall'azione di un operatore specializzato a bordo macchina.
A seguito di consultazioni tecniche con aziende specializzate in lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo ad alta precisione congiuntamente a riunioni interne con i responsabili del processo, sono state delineate le nuove tecnologie di taglio adatte per il ciclo in esame al fine di garantire eccellenti qualità del processo ed un diminuzione del tempo ciclo attivo.
Nei paragrafi che seguono sono, infatti, riportate le possibili alternative distinte per lo step di sgrossatura e finitura.
Le consulenze hanno evidenziato la possibilità di ampi margini di miglioramento mediante un duplice intervento sia sul lato parco utensili che sulla macchina utensile.
Nel *Paragrafo 3.2*, infatti, è stata delineata una nuova sequenza del ciclo di foratura di precisione sfruttando gli innovati utensili da taglio differenziati sulla base delle serie di indexer e delle relative dimensioni dei fori.
Tale soluzione ha permesso di snellire notevolmente il processo che, comunque, segue le medesime linee guide del ciclo attuale mediante un primo step di sgrossatura con utensile a cuspide intercambiabile, eventuale semi-finitura con bareno a doppio tagliente e finitura finale con bareno a singolo tagliente.
La definizione del nuovo ciclo ha permesso di definire con precisione il nuovo parco utensili, i quali sono stati classificati con un corrispondente codice *T-* e per ognuno di essi sono state riportate le informazioni tecniche relative ai parametri di taglio consigliati e le corrispondenti potenze e coppie sviluppate in lavorazione.
Mediante il tool online offerto da Sandvik Coromant CoroPlus ToolGuide sono state simulate le singole fasi del processo al fine di avere maggiori informazioni circa la stima della vita utile degli utensili e inserti; tali valutazioni sui costi di gestione del processo sono state integrate con le voci di costo dei singoli utensili che hanno permesso di delineare l'importo complessivo dell'investimento inziale del nuovo parco utensile.
Inoltre, sono stati ordinati gli utensili per eseguire la sgrossatura delle torrette della serie SX-60 da 15,84 mm, che ha permesso un confronto oggettivo, seppur parziale, con l'attuale ciclo di lavoro in termini di tempo ciclo attivo.
Dunque, delineato il nuovo ciclo di foratura, si è analizzato il problema legato alla mancata automatizzazione del processo: dapprima è stata analizzata la soluzione relativa all'utilizzo di una testa di foratura con cambio utensile integrato dell'azienda OMG.
A seguito della scelta e del setup della torretta a revolver confacente al ciclo di foratura in esame, sono state approfondite le alternative relative alla scelta del centro di lavoro su cui trasferire il processo al fine di poterlo rendere programmabile e, dunque, automatico.
Quest'ultima questione ha dato vita a tre possibili alternative di seguito elencate, che sono state oggetto di analisi nei paragrafi dedicati:

1. Retrofit della macchina fresatrice attualmente impiegata;
2. Progettazione e programmazione di una nuova macchina CNC;
3. Trasferimento del ciclo presso un centro di lavoro CNC a cinque assi.

3.1 Tecnologie di taglio

Il primo passo è stato quello relativo alla ricerca delle nuove tecnologie di taglio; l'obiettivo è stato quello di verificare se gli utensili e i parametri attualmente utilizzati fossero a bassa efficienza e quindi obsoleti.
Le aziende contattate per ricevere una consulenza tecnica circa i nuovi utensili da taglio attualmente sul mercato sono state le seguenti: Sandvik Coromant e Diatool.
In definitiva, l'indagine eseguita ha dimostrato che:

- Gli utensili utilizzati sono poco efficienti e comportano molte operazioni successive che, quindi, dilatano inevitabilmente la durata complessiva del processo;
- La macchina utensile su cui è eseguito il processo è poco produttiva, completamente manuale e dipendente in toto dall'azione / presenza dell'operatore a bordo macchina che è costretto a gestire tutte le operazioni dal setting al controllo qualità.

L'utilizzo di un rinnovato parco utensili permette di comprimere il ciclo di foratura (fasi 02-03) in soli due/tre step a seconda dei diametri dei fori da realizzare:

1. Sgrossatura del foro a partire dal pieno;
2. Eventuali step di semi-finitura;
3. Finitura del foro mediante barenatura o alesatura.

Dunque, il ciclo può essere ampliamente snellito e, inoltre, si può sfruttare le nuove tecnologie di taglio ed il progresso dei nuovi materiali per utensili per accelerare ampiamente il processo e trovare beneficio anche nella loro manutenzione.
Nei paragrafi che seguono si riportano le specifiche degli utensili necessari per il ciclo di foratura delle differenti tipologie di torrette/indexer; i prezzi non corrispondono esattamente ai prezzi di listino ma è stato riportato il costo finale con il relativo sconto applicato dai corrispettivi rivenditori.
In *Tabella 3.1* si riportano le tipologie di utensili e gli specifici modelli che sono stati individuati come probabili alternative agli utensili attualmente adoperati per il ciclo di lavoro. Per ognuno di essi è presente un paragrafo dedicato nel quale sono riportate le specifiche tecniche al fine di valutare la soluzione ottimale confacente al ciclo di foratura in esame.
Per le ragioni sopra citate, un'ottima alternativa al parco utensili attuale sarebbe quella di adoperare utensili che, oltre alle performance operative, permettano di essere flessibili sul piano funzionale e richiedano bassi costi e tempi di manutenzione/ripristino.

Utensili innovativi per il ciclo di foratura	
SGROSSATURA	
Punta a cuspide intercambiabile	*CoroDrill 870 – Sandvik Coromant*
Punta a inserti multi-taglienti	*CoroDrill 880 – Sandvik Coromant*
SEMI FINITURA	
Bareno di sgrossatura a doppio tagliente	*CoreBore BR20 – Sandvik Coromant*
FINITURA	
Bareno di finitura	*CoreTurn 824 XS – Sandvik Coromant*
Bareno di finitura	*CoreBore 825 – Sandvik Coromant*
Alesatore monoblocco espandibile	*Diatool 3451*
Utensile con testina di alesatura	*Diatool 340*

Tabella 3.1 – Nuove tecnologie di utensili per operazioni di sgrossatura, semi finitura e finitura.

Utensili - Sgrossatura

Il primo step di foratura richiede la sgrossatura del foro a partire dal pieno. Le consulenze tecniche con le aziende specializzate nelle operazioni di taglio, in funzione dei materiali di nostro interesse quali acciaio e ghisa, garantiscono le performance degli utensili anche senza l'esecuzione dello step preliminare di centratura per il foro-guida.
Tale considerazione avvantaggia l'efficienza del ciclo di foratura, ma richiede necessariamente in corso d'opera un'accurata fase preliminare di bloccaggio della torretta da forare al fine di evitare errori indesiderati sulla direzione dell'asse del foro da ottenere.
Per tale ragione è preferibile che nel primo tratto di corsa di lavoro dell'utensile i parametri di taglio quali V_c *e* f_n siano cautelativamente ridotti del 30-40% rispetto a quelli consigliati da catalogo.
L'obbiettivo della fase di sgrossatura è quello di raggiungere una dimensione del foro che preveda uno spessore idoneo di sovrametallo al fine di ottimizzare la fase di finitura successiva.

Le tecnologie alternative in sgrossatura proposte da Sandvik Coromant sono le seguenti:

- Punta a cuspide intercambiabile
  L'utensile è composto da un unico corpo su cui è possibile montare una punta a cuspide intercambiabili di diametri differenti. Rappresenta dunque, una soluzione flessibile per il ciclo di lavoro in esame e, inoltre, ha il vantaggio di richiedere la sola sostituzione della cuspide una volta raggiunto lo stato di usura.
- Punta a inserti multi-taglienti
  L'utensile è dotato di un corpo sul quale hanno sede due inserti, uno periferico ed uno centrale. Essi sono i soli componenti di usura dell'utensile e al termine della loro vita utile nel processo è possibile ruotarli prima della loro sostituzione.
- Bareno di sgrossatura a doppio tagliente
  L'utensile di barenatura a doppio tagliente permette di gestire le fasi preliminari della finitura con un opportuno setting dell'avanzamento radiale.

Nei paragrafi che seguono sono riportate le specifiche dettagliate delle tre tecnologie innovative di utensili in sgrossatura sopra citate.

Punta a cuspide intercambiabile – CoroDrill 870

Figura 3.1 – CoroDrill 870: Utensile per sgrossatura con punta a cuspide intercambiabile.
Fonte: www.sandvik.coromant.com/corodrill870

Modello: *CoroDrill 870*

- Gruppo utensile costituito da tre componenti: attacco mandrino, corpo punta e cuspide intercambiabile.
- Soluzione alternativa nel processo di sgrossatura a maggiore efficienza e produttività
- Ottimizzazione dell'economia del processo poiché i costi di manutenzione sono relativi alla sostituzione della sola cuspide (circa 25% del costo utensile)
- Sostituzione facile e sicura con utensile a bordo macchina con conseguente riduzione del tempo ciclo passivo di setup
- Range diametro foro: 10.00 – 30.00 mm
- Tolleranza foro 0/+0.100 (H9-H10)
- Refrigerazione con possibile adduzione interna al corpo utensile
- Tipologia di cuspide idonea: PM 4334 ottimale per lavorazioni di acciaio e ghisa con una efficiente combinazione di resistenza all'usura e tenacità
- Ingente costo di primo investimento poiché è necessario l'acquisto di più corpi punti per il range di diametri di interesse lungo la linea produttiva

Punta a inserti multi-taglienti – CoroDrill 880

Figura 3.2 – CoroDrill 880: utensile per sgrossatura con punta a inserti multi-taglienti.
Fonte: www.sandvik.coromant.com/corodrill880

Modello: *CoroDrill 880*

- L'utensile è costituito da: attacco mandrino, corpo punta, inserto centrale e periferico
- Alternativa alla sgrossatura attuale per fori con diametro maggiore di 30 mm
- Utensile richiesto per la sgrossatura della sola serie SP-1205 con fori da Ø 31.75 mm.
- Tolleranza foro: 0/+0.25 mm (variabile con Ø)
- Tipologia inserto n.1: GM 1004
- Tipologia inserto n.2: GM 434 per ISO P e K
- Refrigerazione con possibile adduzione interna al corpo utensile
- Costi di gestione utensile limitati poiché è prevista la rotazione/sostituzione dei solo inserti
- Ingente costo di primo investimento

Bareno di sgrossatura - CoreBore BR20

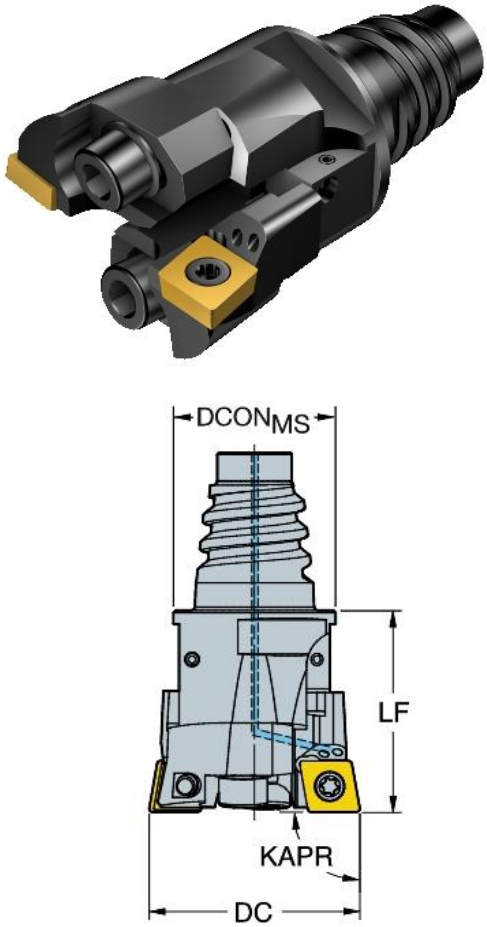


Figura 3.3 – CoreBore BR20: bareno a doppio tagliente per sgrossatura.
Fonte: www.sandvik.coromant.com/coroborebr20

Modello: *CoreBoreBR20*

- Bareno di sgrossatura composto da: attacco mandrino, corpo bareno e due inserti taglienti.
- Tipologia di utensile richiesta per un'eventuale fase di semi-finitura per fori dal diametro superiore a 25 mm.
- Dato il range di diametri di interesse sono necessari due modelli di bareno con opportuno setting: BR20-29 e BR20-36
- Regolazione micrometrica di entrambi i taglienti mediante una scala incisa al laser sul corpo bareno per facilitare le operazioni di setup
- Tipologia inserto: CoreTurn 107 per tornitura
- Tolleranza foro: H9
- Max regolazione radiale a_p: 3 mm
- Range di Ø foro BR20-29: 23 – 29 mm
- Range di Ø foro BR20-36: 28 – 36 mm
- Refrigerazione con adduzione interna al corpo del bareno
- I costi di gestione dell'utensile sono relativi alla sola sostituzione degli inserti (circa 1% del costo totale)
- Ingente costo di primo investimento dell'intero gruppo utensile

Utensili – Finitura

Come già analizzato nel corso del ciclo attuale, il processo di sgrossatura è uno step preparatorio alla fase di finitura del foro al fine di riportarlo nelle dimensioni definite da progetto.
La lavorazione di finitura delle superficie interna del foro richiede uno spessore di sovrametallo idoneo al fine di ottimizzare le performance e la durata utile dell'utensile; tale condizione di lavoro cautelativa è preferibile nell'ottica di una conversione in un ciclo automatico per garantire medesime qualità e precisioni in foratura riducendo al minimo interventi straordinari dell'operatore.
In linea con l'attuale ciclo di foratura, l'indagine ha dimostrato come le tecnologie idonee per la finitura siano barenatura e alesatura: nel prima caso la soluzione permette di garantire una maggiore flessibilità nel processo, mentre in alesatura è necessario predisporre di un utensile su misura per ognuna delle dimensioni del foro da ottenere.
Una soluzione a cavallo tra le due è la possibilità di utilizzo di un alesatore con testine intercambiabile che potrebbe permettere di spalmare il costo di un singolo corpo utensile per più dimensioni dei fori.

Gli utensili innovativi presenti sul mercato per la finitura del ciclo di foratura di precisione in esame sono riportati in dettaglio nei paragrafi che seguono.

Bareno - CoreTurn 824 XS

Figura 3.4 – CoreTurn 824 XS: bareno di finitura.
Fonte: www.sandvik.coromant.com/corobore824

Modello: CoreTurn 824 XS

- Il bareno è costituito da: attacco mandrino, corpo bareno, barra di alesatura e relativo inserto.
- Per diametri di foro inferiori a 20 mm è predisposto sul corpo utensile una barra di alesatura di diametro inferiore al fine di raggiungere la superficie interna del foro
- Necessita di due corpi bareno (Ø 10-14 mm e Ø 14-20 mm) e tre barre di alesatura.
- Micro registrazione dell'avanzamento radiale dell'inserto con risoluzione di 2 micron mediante un nonio graduato sul corpo utensile
- Tipologia inserto: CoroTurn 107 per tornitura
- Ottima rigidezza e buona alternativa in finitura in termini di produttività ed efficienza
- Possibilità di aumentare la vita utile dell'utensile nella lavorazione ruotando l'inserto sul proprio asse
- Costi di manutenzione limitati dalla sola sostituzione del tagliente (circa 1% del costo totale) ed eventualmente della barra di alesatura (circa 25% del costo totale)
- Ingente costo di primo investimento poiché è necessario l'acquisto di più corpi bareno e rispettiva barra per il range di fori richiesto

Bareno - CoreBore 825

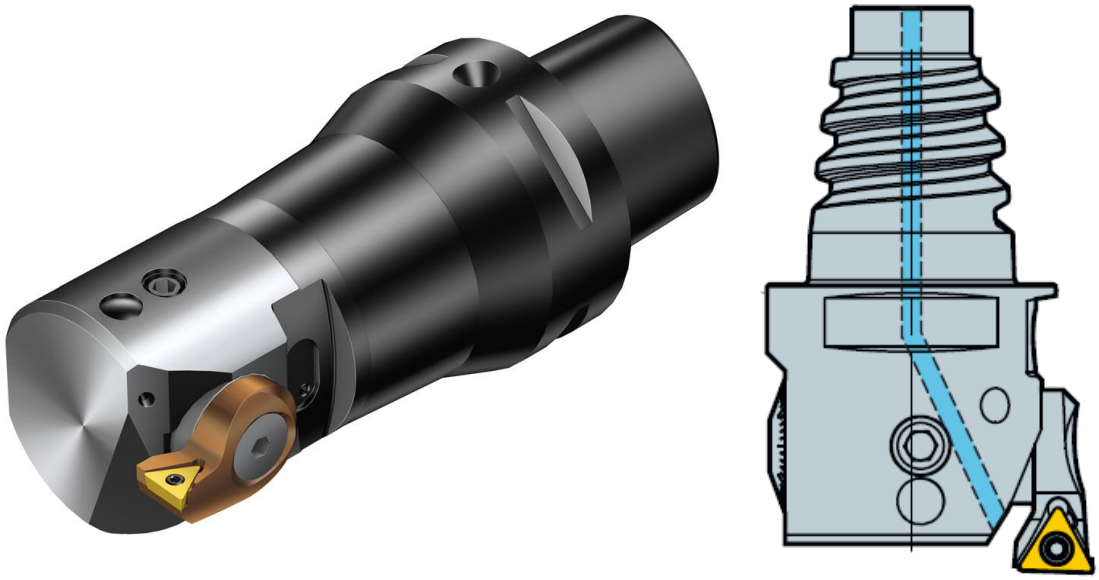


Figura 3.5 – CoreTurn 825: bareno di finitura.
Fonte: www.sandvik.coromant.com/corobore825

Modello: *CoreBore 825*

- Il bareno è costituito da: attacco mandrino, corpo bareno, cartuccia su cui ha sede l'inserto.
- Micro registrazione radiale dell'inserto
- Valida alternative nel processo di finitura per fori con diametri superiori a 20 mm
- Necessita di tre dimensioni del bareno opportunamente pre-settati: 825-23, 825-29, 825-36
- Range di Ø foro 825-23: 19 – 23 mm
- Range di Ø foro 825-29: 23 – 29 mm
- Range di Ø foro 825-36: 28 – 36 mm
- Max regolazione radiale a_p: 2 mm
- Tolleranza: IT6
- Tipologia inserto: CoroTurn 107 per tornitura
- Refrigerazione con adduzione interna al corpo utensile
- Ottima rigidezza e buona alternativa in finitura in termini di produttività ed efficienza
- Possibilità di aumentare la vita utile dell'utensile nella lavorazione ruotando l'inserto sul proprio asse, con conseguenti vantaggi nella gestione dell'economia del processo.
- Medesimo inserto per le due differenti tipologie di bareno
- Costo inserto: 10,47 € (1% del costo totale)
- Costo cartuccia: 91,80 € (10% del costo totale)
- Richiesto l'acquisto di un corpo bareno per ogni diametro del foro da operare

Alesatore monoblocco espandibile – Diatool 3451

Figura 3.6 – Diatool 3451: Alesatore monoblocco espandibile radialmente. Fonte: https://diatool.de/

Modello: *Diatool 3451*

- L'utensile è costituito dai due componenti: attacco mandrino, alesatore.
- Alesatore monoblocco con la possibilità di regolare l'espansione radiale dei taglienti per compensare l'usura con rigenerazione dell'utensile a bordo macchina
- Possibilità successiva di eseguire un ripristino dell'alesatore
- Maggiore efficienza nel processo grazie alle ottime performance garantite in termini di tempo ciclo
- Richiesto un alesatore customizzato a seconda dei diametri dei fori da ottenere (Ø da 5.600 a 60.599 mm)
- Refrigerazione con adduzione interna

In *Tabella 3.2* si riportano i costi relativi alla finitura dei fori dal diametro di 15.84 mm relativi alla sola serie SX 60.

Alesatore monoblocco espandibile - Diatool 3451			
N.	**Componente**	**Globoidal Indexer**	**Costo [€]**
1	Attacco mandrino	SX 60	61,30
2	Alesatore espandibile	SX 60	343,86
Totale			405,16
Ripristino utensile			161,49 (40%)

Tabella 3.2 – Costo dei singoli componenti dell'alesatore monoblocco e costo di ripristino.

Utensile con testina di alesatura – Diatool 340

Figura 3.7 – Diatool 340: Alesatore con testina di alesatura intercambiabile. Fonte: https://diatool.de/

Modello: Diatool 340

- L'utensile è costituito da: attacco mandrino, corpo porta-testina, testina di alesatura.
- Soluzione più flessibile rispetto al caso monoblocco: un unico porta testina può ospitare più teste modulari entro certi range di diametri
- Otto porta-utensile per diametri customizzati da 9.600 a 60.000 mm
- Sostituzione semplice e veloce con riduzione dei tempi ciclo passivo di setting
- Utensile multi-tagliente e più produttivo poiché lavora con avanzamenti maggiori
- Non è espandibile e non può essere recuperato l'effetto dell'usura
- Ripristino o sostituzione della sola testina
- Ingente investimento per l'acquisto dei porta-testina necessari

In *Tabella 3.3* si riportano le informazioni dei costi dell'alesatore con testina 340 della sola serie SX 60 ed i relativi costi di ripristino.

Utensile con testina di alesatura - Diatool 340			
N.	**Componente**	**Globoidal Indexer**	**Costo [€]**
1	Attacco mandrino	SX 60	61,30
2	Porta testina	SX 60	364,54
3	Testina di alesatura	SX 60	206,09 (33%)
Totale			631,93
Ripristino testina			149,24 (24%)

Tabella 3.3 – Costo dei singoli componenti dell'alesatore Diatool 340 e costo di ripristino della testina.

3.2 Nuova sequenza del ciclo

Sulla base delle informazioni tecniche delle tecnologie di taglio a seguito delle consulenze con le aziende specializzate in processi di foratura di precisione è stata delineata una nuova sequenza di operazioni del ciclo con l'intento di soddisfare le seguenti richieste:

- nuovo ciclo automatico ed indipendente dall'azione/presenza dell'operatore a bordo macchina;
- aumentare efficienza e produttività del processo;
- garantire almeno le medesime qualità del ciclo attuale;
- minor numero di utensili per eseguire il ciclo;
- avvantaggiare l'economia del processo con l'acquisto di utensili da poter utilizzare per la foratura di fori con diametri differenti.

La nuova rimodulazione del ciclo di foratura delle torrette preso in esame è riportata di seguito in *Tabella 3.4.*

Globoidal Indexer	Ø foro [mm]	Utensile Sgrossatura	Utensile Semi-finitura	Utensile Finitura
SX-40	11,10	Punta a cuspide intercambiabile CoroDrill 870	//	Bareno di finitura CoroTurn XS
SX-60	15,84	CoroDrill 870	//	CoroTurn XS
SX-95	19,05	CoroDrill 870	//	CoroTurn XS
SX-95+ SP-805	22,23	CoroDrill 870	//	CoreBore 825-23
SP-805+	25,40	CoroDrill 870	1x CoreBore BR 20	CoreBore 825-29
SP-1205	28,58		1x CoreBore BR 20-29 1x CoreBore BR 20-36	CoreBore 825-29
SP-1205+	31,75	CoroDrill 870	1x CoreBore BR 20-29 1x CoreBore BR 20-36 1x CoreBore BR 20-36	CoreBore 825-36

Tabella 3.4 – Nuovo ciclo di foratura di precisione con i corrispettivi utensili per le fasi di sgrossatura, semi-finitura e finitura.

In sintesi, il processo è strutturato in maniera analoga al ciclo di foratura attuale ma è stato snellito nelle sue operazioni. Nella maggior parte dei casi esso prevede sostanzialmente solo due step ovvero una prima fase di sgrossatura ed una successiva finitura finale.
Mentre, per range di diametri maggiori, tra i due step sopra citati sono interposte una o più operazioni di semi-finitura del foro mediante bareno di sgrossatura a doppio tagliente.
I dettagli relativi ai parametri di taglio ed i pre-setting sono riportati nel *Paragrafo 3.2.1*.

Nello specifico, in sgrossatura si è scelto di utilizzare principalmente due differenti tecnologie di utensili a seconda delle dimensioni dei fori:

- punta a cuspide intercambiabile – CoroDrill 870
- bareno di sgrossatura a doppio tagliente – CoreBore BR20

Come riportato nel paragrafo relativo al bareno di sgrossatura, è necessario munire il parco utensili con due differenti misure di CoreBore BR20 (29-36) che, opportunamente pre-settati, garantiscono la gestione del processo di semi-finitura in uno o più step come riportato in *Tabella 3.5*.
Al contrario, è stata scartata l'opzione relativa all'utensile multi-tagliente CoroDrill 880 poiché sarebbe stato necessario per la sgrossatura dei fori della sola serie SP 1205 per la quale, dati i bassi volumi produttivi, si è optato per una soluzione di sgrossatura con più step mediante l'utilizzo di utensili CoroDrill 870 e CoreBore BR20 già presenti nel parco utensili poiché necessari per la foratura delle serie di indexer più comuni.

Nella nuova rimodulazione del ciclo di foratura di precisione è stata scelta come tecnologia di finitura la sola barenatura mediante l'utilizzo di due tipologie di utensili:

- Bareno di finitura – CoreTurn 824 XS
- Bareno di finitura – CoreBorn 825

Il primo bareno, come riferito nel paragrafo dedicato, garantisce la finitura di fori con dimensioni inferiori a 20 mm; mentre, a partire dalla serie SX-805, la finitura è eseguita mediante il bareno CoreBore 825 di cui sono necessarie tre diverse misure (23-29-36) per la lavorazione in finitura delle restanti serie con un opportuno pre-setting.
La scelta di adoperare la tecnologia di barenatura piuttosto che alesatura è frutto delle seguenti considerazioni:

- Il processo di barenatura è più flessibile in quanto vi è la possibilità di registrare l'avanzamento radiale del tagliente a_p e ne avvantaggia l'economia del processo dal momento che, talvolta, è possibile adoperare un medesimo bareno per la finitura di fori di diametro differenti (serie SP-805+ e SP-1205);
- Il processo di alesatura, al contrario, richiede un parco utensile più ampio poiché è necessario un alesatore su misura per ogni diametro richiesto. Inoltre, sul piano economico, è una scelta che si è dimostrata più sconveniente poiché le dimensioni dei fori in esame sono derivanti da misure metriche e non convenzionali;
- Costi di gestione del processo di barenatura minori grazie al basso costo degli inserti ed alla facile sostituzione che non necessita né organi ausiliari di attrezzaggio a bordo macchina né personale specializzato;
- L'utilizzo di alesatore monoblocco espandibile non è conveniente in quanto la regolazione radiale dell'avanzamento del tagliente permette di recuperare la sola usura e si è costretti a procedere con il ripristino prima di poterlo riutilizzare a bordo macchina.
- Tale scelta è in linea con la tecnologia e il know-how sviluppato internamente dall'azienda nel corso degli anni: le consultazioni con il capo-officina hanno portato a preferire la barenatura per via dell'esperienza maturata e la padronanza *dell'utilizzo dei bareni* già nel ciclo attuale. Tali considerazioni costituiscono un fattore importante poiché garantirebbero un plus nel caso in cui si presentassero eventuali anomalie nel processo in quanto l'officina è già a conoscenza delle modalità di correzione.

Nei successivi paragrafi, si riportano nello specifico i parametri di taglio consigliati dalle aziende produttrici necessarie per il processo di foratura e nei singoli step; inoltre, sono state calcolate le potenze e coppie di taglio necessarie al fine di avere un quadro completo circa le informazioni ausiliarie per il dimensionamenti dei componenti ausiliari.

Sulla base della nuova riformulazione del ciclo e del nuovo parco utensili, è stato riportato anche un intero paragrafo dedicato all'ordine di acquisto degli utensili al fine di avere anche un'indicazione economica dell'investimento.
Per valutare l'effettiva efficienza degli utensili proposti dall'azienda Sandvik Coromant, l'azienda ha effettuato l'ordine dell'utensile con punta a cuspide intercambiabile CoroDrill 870, per verificare in officina la qualità dei fori del solo processo di sgrossatura delle torrette degli indexer SX 60 poiché la serie con maggiori volumi produttivi e maggiormente richiesta sul mercato.
Il rilevamento ha permesso, quindi, di confrontare oggettivamente la qualità e la durata rispetto al ciclo eseguito attualmente.

1. Parametri di taglio

Per ogni singola tipologia di utensili della nuova ripianificazione del ciclo di foratura sono forniti dal costruttore i rispettivi parametri di taglio per eseguire il setup della macchina utensile, sia essa manuale o programmabile.
Nel seguente paragrafo si definisce la procedura mediante la quale sono state reperite le informazioni sul setting di ogni singolo step del processo a partire dalle informazioni riportate dall'azienda produttrice.

A titolo d'esempio, sono riportati in *Figura 3.8* i dati di taglio da catalogo dell'utensile di sgrossatura CoroDrill 870 con punta a cuspide intercambiabile.

ISO	Codice MC	No. CMC	Materiale	Durezza Brinell (HB)	Velocità di taglio (V_c) m/min correlata con il diametro della punta											
					10.00-20.99 mm			21.00-33.00 mm			10.00-11.99 mm			12.00-13.99 mm		
					Min.	Consi-gliata	Max.	Min.	Consi-gliata	Max.	Min.	Consi-gliata	Max.	Min.	Consi-gliata	Max.
P			**Acciaio non legato**						**Qualità 4234**							
	P1.1.Z.AN	01.1	C=0.10-0.25%	125	80	120	160	80	120	160	0.12	0.18	0.28	0.14	0.20	0.35
	P1.2.Z.AN	01.2	C=0.25-0.55%	190	80	120	160	80	120	160	0.12	0.18	0.28	0.14	0.20	0.35
	P1.3.Z.AN	01.3	C=0.55-0.80%	190	70	100	130	70	100	130	0.12	0.18	0.28	0.14	0.20	0.35
	P1.5.C.UT	06.1	Fuso - non trattato	150	80	110	140	80	110	140	0.12	0.18	0.28	0.14	0.20	0.35
			Acciaio debolmente legato						**Qualità 4234 e 3234**							
	P2.1.Z.AN	02.1	Ricotto	175	80	110	140	80	110	140	0.12	0.18	0.30	0.14	0.20	0.37
	P2.2.Z.AN	02.1	Ricotto	240	80	110	140	80	110	140	0.12	0.18	0.30	0.14	0.20	0.37
	P2.4.Z.AN	02.1	Ricotto	225	80	110	140	80	110	140	0.12	0.18	0.30	0.14	0.20	0.37
	P2.5.Z.HT	02.2	Bonificato	330	70	100	130	50	75	100	0.12	0.18	0.30	0.14	0.20	0.37
	P2.6.C.UT	06.2	Fuso - non trattato	200	70	100	130	70	100	130	0.12	0.18	0.30	0.14	0.20	0.37
			Acciaio fortemente legato													
	P3.0.Z.AN	03.11	Ricotto	200	60	80	100	60	80	100	0.10	0.16	0.24	0.12	0.19	0.33
	P3.0.Z.HT	03.21	Bonificato	380	40	60	80	40	60	80	0.10	0.16	0.24	0.12	0.19	0.33
M			**Acciaio inossidabile ferritico/martensitico**						**Qualità 4234 e 2234**							
	P5.0.Z.AN	05.11	Ricotto	200	30	40	50	30	40	50	0.12	0.14	0.19	0.14	0.16	0.22
	P5.0.Z.HT	05.13	Bonificato	330	70	90	110	60	75	90	0.10	0.12	0.16	0.10	0.12	0.16
			Acciaio inossidabile austenitico						**Qualità 2234 e 4234**							
	M1.0.Z.AQ	05.21	Ricotto/bonificato	200	40	50	60	40	50	60	0.10	0.12	0.14	0.10	0.12	0.14
	M1.0.C.UT	15.21	Fuso+non trattato	200	50	60	70	50	60	70	0.10	0.12	0.14	0.10	0.12	0.14
	M1.1.Z.AQ	05.21	A lavorabilità migliorata	200	60	75	90	60	75	90	0.10	0.12	0.16	0.10	0.12	0.16
			Acciaio inox superaustenitico (Ni≥20%)													
	M2.0.Z.AQ	05.23	Ricotto/bonificato	200	20	40	60	20	40	60	0.10	0.12	0.14	0.10	0.12	0.16
	M2.0.C.AQ	15.23	Fuso+ricotto/bonificato	200	20	40	60	20	40	60	0.10	0.12	0.14	0.10	0.12	0.16
			Acciaio inox Duplex (austenitico/ferritico)													
	M3.1.Z.AQ	05.51	>60% ferrite (N<0.10%)	230	40	55	70	40	55	70	0.10	0.12	0.16	0.10	0.12	0.16
	M3.2.Z.AQ	05.52	>60% ferrite (N<0.10%)	260	20	40	60	20	40	60	0.10	0.12	0.14	0.10	0.12	0.14
K			**Ghisa malleabile**						**Qualità 3234 e 4234**							
	K1.1.C.NS	07.1	Ferritica (truciolo corto)	130	100	145	190	100	145	190	0.16	0.25	0.36	0.18	0.30	0.42
	K1.1.C.NS	07.2	Perlitica (truciolo lungo)	200	90	125	160	90	125	160	0.16	0.25	0.36	0.18	0.30	0.42
			Ghisa grigia													
	K2.1.C.UT	08.1	Bassa resistenza	180	100	150	200	100	150	200	0.16	0.25	0.36	0.18	0.30	0.42
	K2.2.C.UT	08.2	Alta resistenza	245	90	130	170	90	130	170	0.16	0.25	0.36	0.18	0.30	0.42
			Ghisa nodulare													
	K3.1.C.UT	09.1	Ferritica	155	100	145	190	100	145	190	0.16	0.25	0.36	0.18	0.30	0.42
	K3.3.C.UT	09.2	Perlitica	265	90	125	160	90	125	160	0.16	0.25	0.36	0.18	0.30	0.42

Figura 3.8 – Esempio dei dati di taglio riportati da catalogo per l'utensile CoroDrill 870.

Il primo dato di input per avviare la lettura dei dati è relativo al materiale interessato alla lavorazione meccanica.

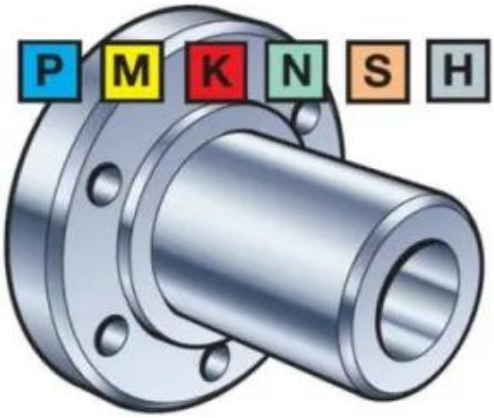


Figura 3.9 – Classificazione dei materiali secondo ISO.

Nello specifico la classificazione ISO suddivide i materiali in sei categorie:

1. ISO P identifica la classe degli acciai e spazia da materiali non legati a materiali fortemente legati. Sono caratterizzati da una buona lavorabilità ma può variare di molto in base alla durezza del materiale ed alla percentuale di carbonio;
2. ISO M identifica la classe degli acciai inossidabili con almeno una percentuale di 12% di cromo; tra le altre leghe possono figurare anche nichel e molibdeno. Il tagliente è quindi esposto ad una grande quantità di calore e fenomeni di usura ad intaglio e tagliente di riporto;
3. ISO K identifica le differenti tipologie di ghisa che, a differenza dell'acciaio, è un materiale a truciolo corto e più facilmente lavorabile. La presenza del silicio ha un'azione molto abrasiva sul tagliente;
4. ISO N identifica i metalli non ferrosi come alluminio, rame e ottone;
5. ISO S racchiudono le superleghe resistenti al calore ed un gran numero di materiali fortemente legati a base di ferro, nichel, cobalto e titanio. Hanno la tendenza all'incollamento che creano tagliente di riporto, si induriscono durante la lavorazione (incrudimento) e generano calore;
6. ISO H identifica materiali difficili da lavorare, sviluppano elevato calore ed esercitano un'azione fortemente abrasiva sul tagliente. Rientrano acciai con durezza tra 46 e 65 HRc e ghise tra 400-600 HB.

Relativamente alle torrette in esame per il ciclo di foratura, le classi di interesse sono quelle relative alle seguenti classi:

- Classe ISO P2.2.Z.AN per torrette in acciaio 38CrNiMo4;
- Classe ISO K3.1.C.UT per torrette in ghisa sferoidale GS 400.

Una volta definita la riga di interesse relativa alla classe ISO del materiale da lavorare, il costruttore fornisce i due principali parametri di taglio in funzione dei range di diametri della punta dell'utensile:

- Velocità di taglio V_c [m/min];
- Avanzamento per giro f_n [mm/giro].

La selezione dei parametri di taglio è strettamente correlata all'economia del processo ed alla sua qualità. Infatti, l'utilizzo di un setting della macchina non idoneo provocherebbe una serie di problemi che potrebbero ridurre la durata di vita utile o in altri casi non permettere all'utensile di generare le forze e coppie di taglio necessarie per l'asportazione di truciolo nei limiti delle tolleranze richieste.

La qualità del processo è una conseguenza, infatti, della formazione ed evacuazione del truciolo prodotto nel corso della foratura: tale dinamica è molto complessa ed entrano in gioco una serie di fattori quali ad esempio il materiale del pezzo, la geometria della punta dell'utensile/inserto, pressione e volume di refrigerante e, non meno importanti, gli stessi dati di taglio.
Di seguito si riporta un grafico che riassume gli effetti dei parametri di velocità di avanzamento (in ascissa) e della velocità di taglio (in ordinata) sulla dinamica del processo di formazione di truciolo.
A parità di velocità di taglio, si dimostra come il truciolo generato dal contatto utensile-pezzo è via via più spesso e rigido.

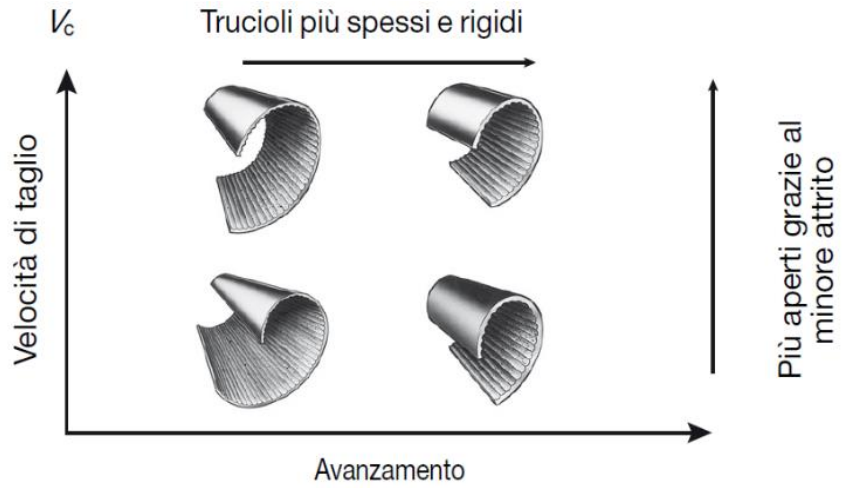


Figura 3.10 – Dinamica di sviluppo del truciolo al variare dei parametri di taglio: velocità di taglio e avanzamento.

Dunque, all'aumentare della velocità di avanzamento nonostante si ottimizzi la produttività si ha difficoltà nel controllare il truciolo: ciò pregiudica la qualità del foro ed aumenta il rischio di portare a rottura la punta.
Al contrario, scegliendo di operare con velocità di avanzamento inferiori, si riesce a garantire una maggiore qualità del processo, ma i tempi ciclo sono più lenti e l'usura dell'utensile è favorita da tempi maggiori di contatto con il truciolo.
Mentre, fissata una velocità di avanzamento, si dimostra come il truciolo abbia una struttura più aperta.
La scelta di velocità di taglio elevate determina, analogamente al caso con alta f_n, una scarsa qualità e tolleranza del foro assieme ad una rapida usura del fianco; mentre una ridotta V_c non garantisce un'adeguata evacuazione del truciolo e genera il fenomeno del tagliente di riporto.
Tale fenomeno è assolutamente da evitare poiché comporta una continua variazione della forma e dimensione del tagliente dell'utensile a seguito della saldatura di un frammento di materiale sull'utensile; esso è spesso favorita nei casi in cui ci sia affinità chimica tra i due materiali a contatto.

Per le ragioni sopracitate, il costruttore dell'utensile fornisce ai clienti il range ottimale dei parametri di taglio V_c e f_n da utilizzare definendo nello specifico un valore minimo, massimo ed uno consigliato. All'interno di tale range, il cliente può scegliere se avvantaggiare l'economia del processo e la durata di vita dell'utensile scegliendo i parametri minimi da catalogo oppure può scegliere di avvantaggiare

la produttività del processo settando la macchina utensile con i rispettivi valori massimi al fine di operare con rapidi tempi ciclo e riducendo la lunghezza di foratura disponibile.
Noti tali parametri consigliati in funzione del materiale e delle dimensioni della punta, è possibile determinare come definito nel *Paragrafo 2.1*, il giusto setup della macchina utensile in termini di velocità di rotazione del mandrino n [rpm] e velocità di avanzamento dell'utensile V_a [mm/min].
Dal momento che il processo di foratura è caratterizzato da una dinamica complessa, per le successive analisi di potenza, coppia e forza necessarie per eseguire i singoli step delle lavorazioni di taglio si è fatto uso del *tool CoroPlus ToolGuide* online di Sandvik Coromant.

Di seguito sono riassunti gli step necessari per avviare la simulazione del processo di taglio mediante il tool.

I. Tipo di applicazione

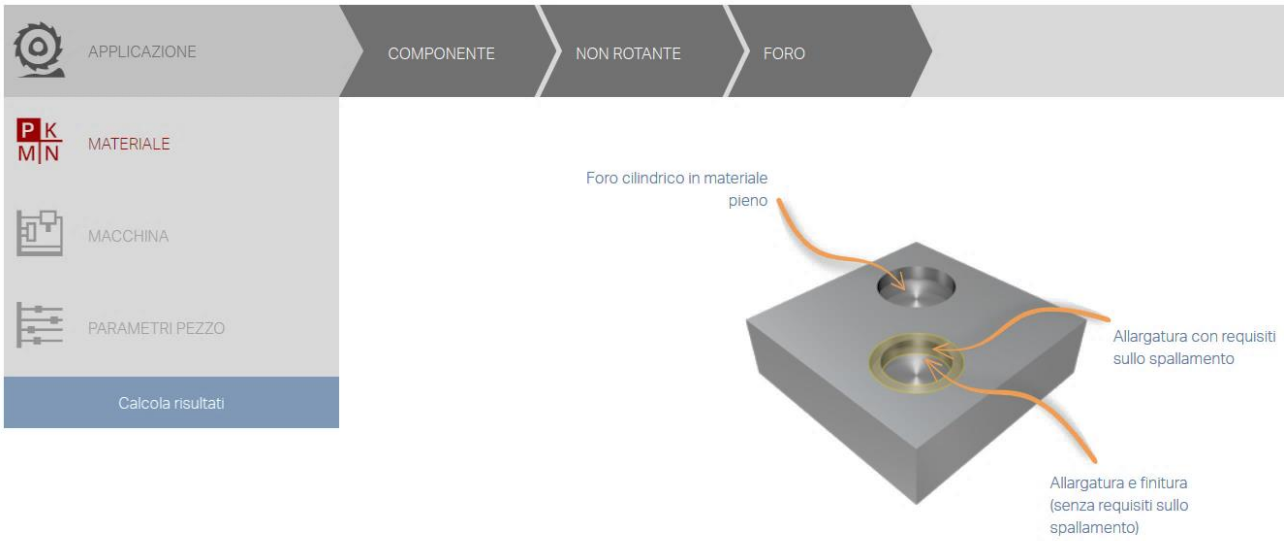


Figura 3.11 – Scelta tipologia di applicazione mediante CoroPlus ToolGuide.

Nel caso in esame si sceglie l'opzione di pezzo in lavorazione non rotante ed esecuzione di foro cilindrico in materiale pieno per sgrossatura oppure allargatura e finitura del foro.

II. Selezione della classe ISO del materiale da lavorare
ISO P2.2.Z.AN per lavorazioni su *acciaio*
ISO K3.1.C.UT per lavorazione su *ghisa*

III. Selezione tipologia di macchina utensile con limiti superiori di potenza e velocità disponibile al mandrino.

In questo step è possibile definire la tipologia di attacco mandrino richiesto al fine di filtrare i risultati finali ed avere una panoramica dei solo risultati compatibili con la macchina utensile.

IV. Specifiche della geometria del foro

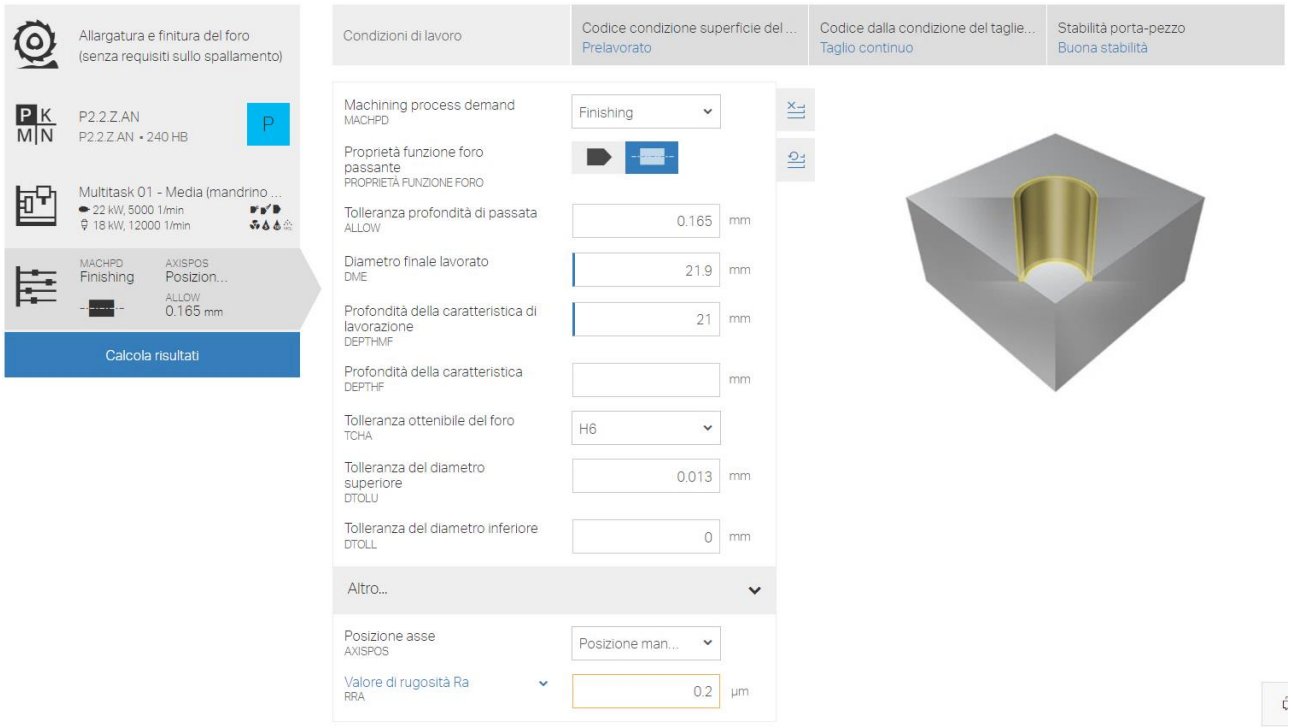


Figura 3.12– Definizione delle specifiche geometriche. Finitura del foro da 22.23 mm con tolleranza H6 e rugosità 0.2 µm.

Il tool permette di specificare se il foro da ottenere è passante o cieco e la rispettiva profondità della caratteristica della lavorazione.

In *Figura 3.12* è mostrata l'interfaccia del Tool relativa alla simulazione di un processo di allargatura/finitura del foro dal diametro di 22.23 mm a seguito di una prima fase di sgrossatura con punta a cuspide dal diametro di 21.9 mm.

Dunque, si inserisce l'avanzamento radiale a_p richiesto in finitura pari a 0.165 mm e la profondità del foro pari a 21 mm.

Inoltre, in questa fase si può definire la tolleranza richiesta sulla feature da ottenere (H6) e la rugosità desiderata sulla superficie interna del foro (0.2 µm).

In questo step è possibile definire informazioni ausiliarie quali la stabilità del sistema porta pezzo (scarsa, buona o eccellente) e l'orientamento dell'asse del mandrino, orizzontale o verticale, nel corso del processo di foratura.

Al termine della definizione delle specifiche nei quattro step sopra descritti, si procede al calcolo dei risultati: il tool fornisce di default la migliore alternativa riportando nel dettaglio la tipologia di utensile idonea con il corrispondente attacco-mandrino ed inserto/cuspide ottimale.

Nella scheda presentazione come riportato in *Figura 3.13* si riportano dettagliatamente le informazioni di ogni singolo componente del gruppo utensile di cui sono riportati i rispettivi codici e prezzi.

Nella scheda sono riportate in sintesi le informazioni principali del processo quali:

- Velocità di taglio
- Avanzamento per giro
- Eventuale profondità di taglio radiale
- Numero di fori eseguibili
- Tempo di lavorazione

I parametri di taglio V_c e f_n forniti dal tool sono esportati direttamente dal database dell'azienda e corrispondono ai valori ottimali.

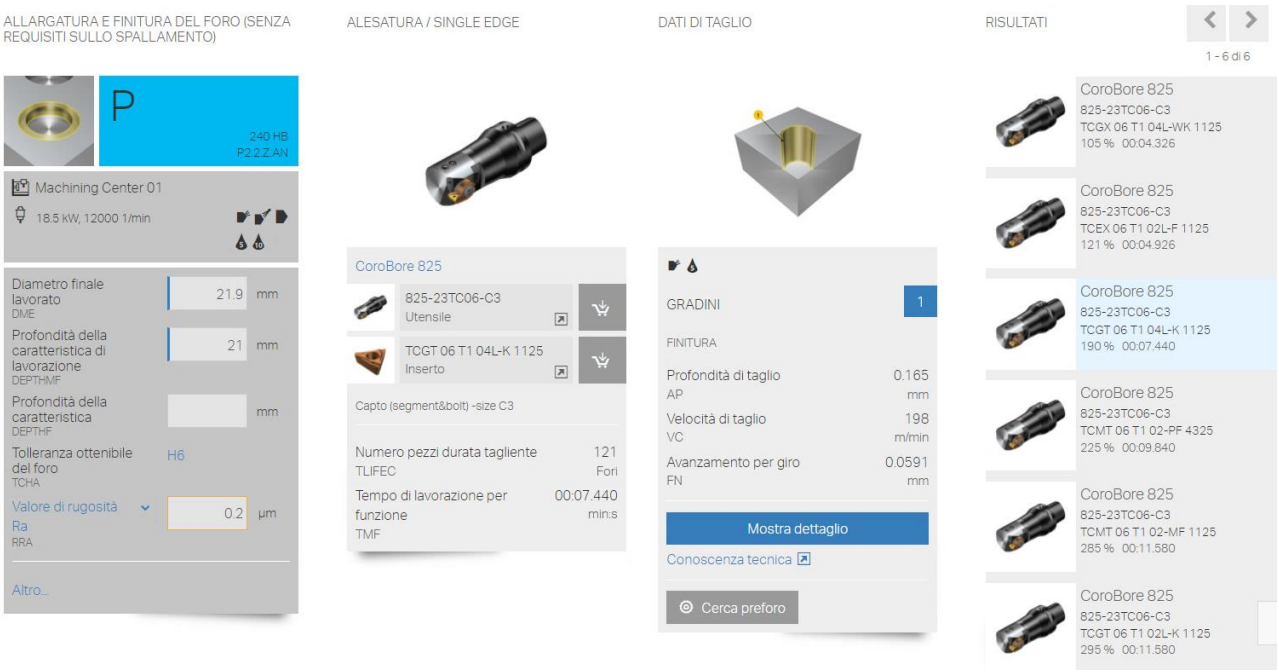


Figura 3.13 – Scheda presentazione del ToolGuide della finitura del foro da 22.23 mm con annesse informazioni tecniche e alternative.

Nella scheda alternative sono presenti le altre possibili soluzioni confacenti al processo definito in precedenze con alternative differenti in termini di attacchi, tipologia di utensile ed inserti.

Nella scheda soluzione in *Figura 3.14*, invece, è possibile avere ulteriori dettagli dei parametri caratteristici della lavorazione quali:

- Velocità di rotazione del mandrino
- Velocità di avanzamento
- Potenza e coppia al netto della sola richiesta dall'utensile per eseguire la lavorazione
- Lunghezza e durata del tagliente
- Informazioni sulla tolleranza ottenibile

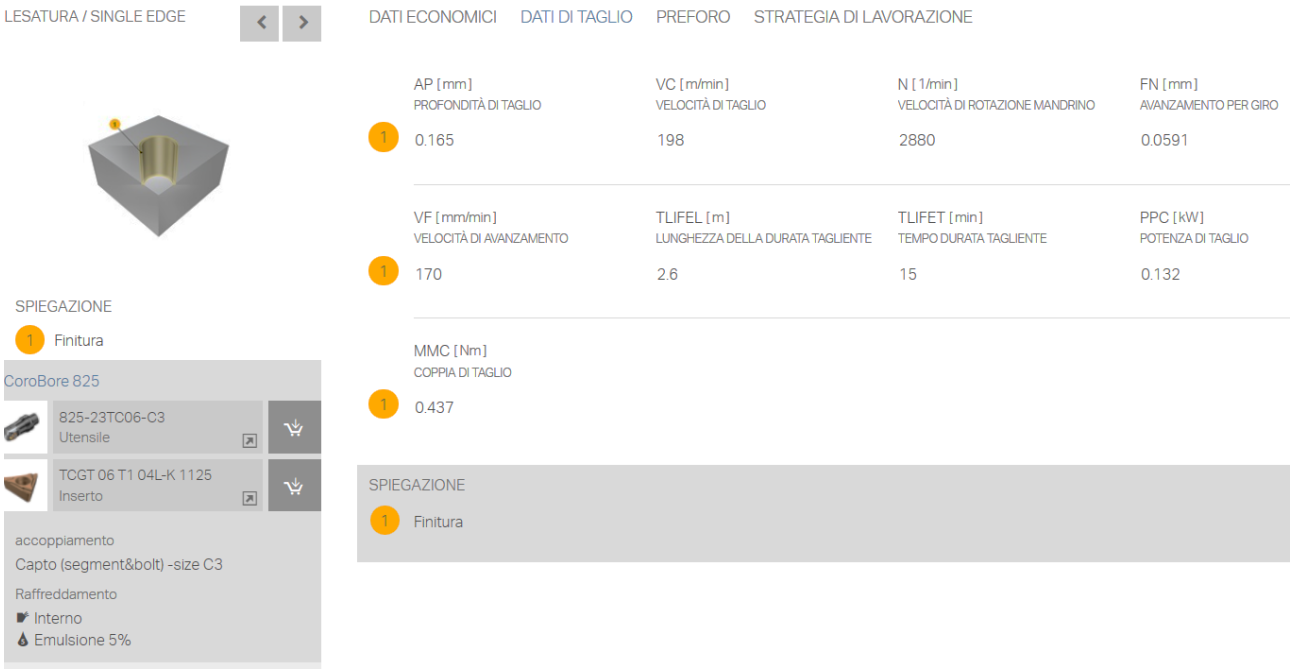


Figura 3.14 – Scheda soluzione del ToolGuide relativa al processo di finitura del foro da 22.23 mm.

Si riporta anche la strategia di lavorazione consigliata fornendo le informazioni necessarie per eventuali micro-registrazioni in barenatura.
Nei casi in cui si voglia valutare la sola operazione di finitura, nella *scheda presentazione* di lavorazione è possibile selezionare la voce 'cerca pre-foro' (vedi *Figura 3.13*) che fornisce le medesime indicazioni circa la soluzione ottimale in termini di gruppo utensile e parametri di taglio idonei per la fase preliminare alla finitura richiesta.

La simulazione del processo di foratura per ogni dimensione dei fori da realizzare è riportata in dettaglio in *Tabella 3.11.*
Sulla base della rimodulazione del ciclo di foratura riportato nel paragrafo precedente, sono state riportati i relativi setup consigliati per le singole tipologie di utensili e la potenza e coppia richieste al netto della sola operazione di taglio.
Il tool si è rivelato un ottimo strumento poiché ha permesso di avere informazioni aggiuntive circa la stima della vita utile dell'utensile o dell'inserto in esame al fine di valutare il numero di fori eseguibili al fine di un'efficace gestione di una manutenzione predittiva del nuovo parco utensili.
Tali informazioni relative alla durata dell'utensile richiedono necessariamente analisi ulteriori in opera poiché le valutazioni eseguite dal tool non tengono in conto di una serie di fattori pratici che ne possono compromettere la durata.

Per eseguire tale stima è stato scelto una torretta campione con i seguenti parametri:

- Materiale: P2.2.Z.AN
- Tipologia di foro: Passante
- Profondità foro: 21 mm
- Numero di fori torretta: 8

In *Tabella 3.5* si riportano per ogni tipologia utensile un corrispondente codice T-, dimensioni geometriche, parametri di taglio ed informazioni sul pre-setting.

Nella lista utensile sono stati inseriti anche gli utensili relativi alle fasi di spianatura e svasatura che, data la semplicità del processo, sono i medesimi utilizzati nel ciclo di foratura attuale rispettivamente un utensile fresa T13 e svasatore T14.
Inoltre, nella lista riportata di seguito, è stato riportato con il codice T00 un eventuale tastatore che, opportunamente programmato potrebbe eseguire un check a campione sui fori eseguiti al termine del ciclo di foratura per monitorare le dimensione del diametro del foro e, quindi, lo stato di usura degli utensili da taglio.
Il tastatore, inoltre, potrebbe essere utile anche nel corso delle operazioni preliminari per monitorare la direzione dell'asse della torretta in sostituzione al processo attuale eseguito manualmente dall'operatore.

Codice	Tipologia	Ø [mm]	ap [mm]	Vc [m/min]	fn [mm/giro]	Va [mm/min]	n [rpm]
T01*	*CoroDrill 870*	10,8		**110**	**0,180**	584	3240
T02*	*CoroDrill 870*	15,5		**100**	**0,200**	411	2050
T03*	*CoroDrill 870*	18,7		**80**	**0,200**	272	1360
T04*	*CoroDrill 870*	21,9		**80**	**0,200**	233	1160
T05	*CoreBore 824 XS*	10,8	0,150	**120**	**0,070**	244	3488
T06	*CoreBore 824 XS*	15,5	0,170	**90**	**0,070**	243	3472
T07	*CoreBore 824 XS*	18,7	0,175	**200**	**0,070**	236	3373
T08	*CoreBore 825-23*	21,9	0,165	**198**	**0,059**	170	2880
T09	*CoreBore BR 20-29*	21,9	1,650	**186**	**0,500**	1180	2360
T10-Set1	*CoreBore 825-29*	25,2	0,100	**214**	**0,042**	114	2710
T10-Set2		28,3	0,140	**176**	**0,042**	83	1980
T11-Set1	*CoreBore BR 20-36*	25,2	1,550	**200**	**0,500**	1130	2250
T11-Set2		28,3	1,600	**200**	**0,500**	1010	2020
T12	*CoreBore 825 -36*	31,5	0,125	**171**	**0,042**	96,2	1730
T13	*Utensile fresa*	28		**11,44**	**0,070**	9,1	130
T14	*Svasatore*	31		**12,76**	**0,070**	9,1	130
T00	*Tastatore*						

**primo tratto della corsa di lavoro in foratura con parametri di taglio pari al 30-40% rispetto ai consigliati*

Tabella 3.5 – Lista utensili con rispettivo codice, dimensione, parametri di taglio e pre-setting richiesto.

Tali informazioni riportati in *Tabella 3.5* sono particolarmente utili poiché permettono una facile lettura della sequenza del nuovo ciclo nella *Tabella 3.6* seguente.
Inoltre, tali indicazioni relative al setup della macchina ed al pre-setting dei bareni devono essere trasferite mediante un opportuno codice di programmazione sull'unità di governo, PLC o interfaccia del CNC, per l'automatizzazione del processo. Queste informazioni integrate con la sequenza del nuovo ciclo sono necessarie per predisporre una sequenza di lavoro differenziata per i differenti diametri.

Nuova sequenza del ciclo di foratura di precisione delle torrette						
Ø 11,10 mm – Serie SX 40						
N.	Tool	Potenza [kW]	Coppia [Nm]	F [N]	**N. Fori**	**N. Torrette**
1	**T01**	3,0	8,82	1290	**3510**	**439**
2	**T05**	0,1	0,12			
Ø 15,84 mm – Serie SX 60						
1	**T02**	4,17	19,4	1970	**3900**	**487**
2	**T06**	0,08	0,10			
Ø 19,05 mm – Serie SX 95						
1	**T03**	4,02	28,2	2380	**4020**	**502**
2	**T07**	0,08	0,24			
Ø 22,23 mm – Serie SX 95+ e SP 805						
1	**T04**	4,71	38,7	2780	**3550**	**443**
2	**T08**	0,13	0,44		**121**	**15**
Ø 25,40 mm – Serie SP 805+						
1	**T04**	4,71	38,7	2780	**3550**	**443**
2	**T09**	4,77	19,4		**2050**	**256**
3	**T10-Set1**	0,0696	0,245		**81**	**10**
Ø 28,58 mm – Serie SP 1205						
1	**T04**	4,71	38,7	2780	**3550**	**443**
2	**T09**	4,77	19,4		**2050**	**256**
3	**T11-Set1**	4,84	20,5		**1510**	**188**
4	**T10-Set2**	0,0758	0,366		**59**	**7**
Ø 31,75 mm – Serie SP 1205+						
1	**T04**	4,71	38,7	2780	**3550**	**443**
1	**T09**	4,77	19,4		**2050**	**256**
3-1	**T11-Set1**	4,84	20,5		**1510**	**188**
3-2	**T11-Set2**	4,99	23,5		**1360**	**170**
4	**T12**	0,065	0,36		**51**	**6**

Tabella 3.6 – Nuova sequenza del ciclo di foratura di precisione con indicazione dei Tool richiesti e stima della durata utensile.

Dunque, a fronte del nuovo ciclo, e dei rispettivi utensili richiesti per la sola operazione di foratura si può dedurre come il processo richieda meno operazioni per raggiungere il diametro da progetto garantendo maggiore efficienza e qualità sulla linea produttiva.

Talvolta si osserva come siano richiesti i medesimi corpi utensili come nel caso dei fori da 31,75 mm che richiedono, infatti, il medesimo bareno di sgrossatura CoreBore BR20 ma con due settaggi differenti: dunque, è da valutare, in funzione anche dei volumi produttivi dell'azienda circa la vendita dei globoidal indexer SP-1205, se è sufficiente acquistare un solo bareno.
Se ciò fosse sufficiente, l'azienda potrebbe decidere di procedere al setting manuale dell'utensile T11 al fine di riportarlo nel setting n.2.
Mentre, al contrario, l'investimento iniziale di due CoreBore BR20 sarebbe conveniente poiché ridurrebbe la componente di tempo ciclo passivo e le consentirebbe di garantirsi un backup nel caso in cui il primo bareno presentasse eventuali anomalie.

2. Ordine d'acquisto degli utensili

Dato il ciclo di lavoro, sfruttando le nuove tecnologie di taglio per la foratura delle torrette, è possibile stilare l'ordine di primo acquisto degli utensili, comprensivi dei rispettivi attacchi, necessari per la linea produttiva dei globoidal indexer.
L'azienda ha richiesto un preventivo presso il rivenditore AMAT e di seguito si riporta nel dettaglio l'ordine dei singoli prodotti con annessa descrizione, codici e quantità richieste; per minimizzare i costi si è tenuto conto del numero minimo di gruppi utensili necessari per eseguire il ciclo di foratura delle differenti tipologie di torrette.
Per il processo di foratura della serie SP-1205 con fori da Ø 31,75 mm, dati i bassi volumi produttivi, è stato scelto di acquistare un solo utensile *T11 (CoreBore BR20-36),* ciò ne pregiudica l'efficienza del ciclo di foratura in quanto è necessario l'intervento dell'operatore per riportare il bareno di sgrossatura nel setting n.2.
La tipologia di attacco per ogni singolo gruppo utensile è la *ISO 40 DIN 69871.*
L'ordine dettagliato è riportato di seguito in *Tabella 3.7* e al suo interno sono stati già inclusi componenti di riserva quali inserti, punte a cuspide e cartucce dei bareni per un costo complessivo di 741,22 €.
L'ordine del nuovo parco utensili richiede un costo di primo investimento pari a *12580,65 €.*

Sulla base delle informazioni di carattere economico relative ad ogni tipologia di utensile è stata stilata in *Tabella 3.8* un'analisi relativa al costo di primo acquisto ed i costi di gestione necessari per la manutenzione.

Ordine di acquisto dei nuovi utensili – Rivenditore AMAT							
Tool	***Descrizione***	***Codice***	***Q. tà***	***Prezzo***	***Sconto [%]***	***Totale***	***Note***
T01	attacco ISO 40 DIN 69871 x 870	A1B27-40 16 080	1	93,9	10	84,51	+1 cuspide di riserva
	punta a cuspide 870	870-1050-7L16-3	1	220	5	209	
	cuspide 870	870-1080-7-PM 4334	2	78,1	10	140,58	
T02	attacco ISO 40 DIN 69871	A1B27-40 20 080	1	93,9	10	84,51	+1 cuspide di riserva
	punta a cuspide 870	870-1500-15L20-3	1	259	5	246,05	
	cuspide 870	870-1550-15-PM 4334	2	92,6	10	166,68	
T03	attacco ISO 40 DIN 69871	A1B27-40 20 080	1	93,9	10	84,51	+1 cuspide di riserva
	punta a cuspide 870	870-1500-15L20-3	1	300	5	285	
	cuspide 870	870-1870-18-PM 4334	2	107	10	192,6	
T04	attacco ISO 40 DIN 69871	A1B27-40 25 085	1	93,9	10	84,51	+1 cuspide di riserva
	punta a cuspide 870	870-2100-21L25-3	1	399	5	379,05	
	cuspide 870	870-2190-21-PM 4334	2	118	10	212,4	
T05	attacco ISO 40 DIN 69871	392.140EH-40 25 051	1	420	15	357	+9 inserti di riserva
	bareno finitura	EH25-R824XS08-013	1	705	10	634,5	
	barra di alesatura	CXS-08-10 040TC06	1	348	10	313,2	
	inserto	TCGT 06 T1 04L-K 1125	10	14,95	30	104,65	
T06	attacco ISO 40 DIN 69871	392.140EH-40 25 051	1	420	15	357	+9 inserti di riserva
	bareno finitura	EH25-R824XS10-013	1	739	10	665,1	
	barra di alesatura	CXS-10-14 050TC09	1	348	10	313,2	
	inserti per bareno finit.	TCGT 09 02 04L-K 1125	10	14,95	30	104,65	

T07	attacco ISO 40 DIN 69871	392.140EH-40 25 051	1	420	15	357	+9 inserti di riserva
	bareno finitura	EH25-R824XS10-013	1	739	10	665,1	
	barra di alesatura	CXS-10-17 050TC09	1	348	10	313,2	
	inserti per bareno finit.	TCGT 09 02 04L-K 1125	10	14,95	30	104,65	
T08	attacco ISO 40 DIN 69871	C3-390B.140-40 030	1	270	10	243	
	bareno finitura 825-23	825-23TC06-C3	1	833	10	749,7	
	inserti per bareno finit.	TCGT 06 T1 04L-K 1125	10	14,95	30	104,65	
T09	attacco ISO 40 DIN 69871	392.140EH-40 20 046	1	385	15	327,25	Inserti uguali a T11
	Bareno Br 20- 29	BR20-29CC06F-EH20	1	1118	10	1006,2	
	inserto per bareno	CCMT 06 02 08-UM 4425	10	9,05	30	63,35	
T10	attacco ISO 40 DIN 69871	C3-390B.140-40 030	1	270	10	243	inserti uguali a T12
	bareno finitura 825-29	825-29TC06-C3	1	833	10	749,7	
	inserti per bareno finit.	TCGT 06 T1 02L-K 1125	10	14,95	30	104,65	
T11	attacco ISO 40 DIN 69871	392.140EH-40 25 051	1	420	15	357	Inserti uguali a T09
	bareno sgrossatura	BR20-36CC06F-EH25	1	1118	10	1006,2	
T12	attacco ISO 40 DIN 69871	C3-390B.140-40 030	1	270	10	243	Inserti uguali a T10
	bareno finitura	825-36TC06-C3	1	925	10	832,5	+1 cartuccia di riserva per CoreBore 825
	cartuccia di ricambio	R825A-AF11STUC06T1A	1	102	10	91,8	
Totale ordine d'acquisto utensili						**12580,65 €**	

Tabella 3.7 – Ordine d'acquisto del nuovo parco utensili.

Tool	Tipologia	Costo utensile	Costi di manutenzione	%
T01	*CoroDrill 870*	293,51	70,29	23,95
T02	*CoroDrill 870*	330,56	83,34	25,21
T03	*CoroDrill 870*	369,51	96,30	26,06
T04	*CoroDrill 870*	463,56	106,20	22,91
T05	*CoreBore 824 XS*	1304,70	10,47	0,78
T06	*CoreBore 824 XS*	1335,30	10,47	0,78
T07	*CoreBore 824 XS*	1335,30	10,47	0,78
T08	*CoreBore 825-23*	992,70	10,47 +91,80(cartuccia) = 102,27	1,05 - 10,30
T09	*CoreBore BR 20-29*	1333,45	12,67 (2x inserto)	0,95
T10	*CoreBore 825-29*	992,70	10,47 +91,80(cartuccia) = 102,27	1,05 - 10,30
T11	*CoreBore BR 20-36*	1363,20	12,67 (2x inserto)	0,93
T12	*CoreBore 825 -36*	1075,50	10,47 +91,80(cartuccia) = 102,27	0,97 - 9,51

Tabella 3.8 – Analisi costi di acquisto utensili e relativi costi di gestione.

L'analisi in *Tabella 3.8* dimostra come i costi di gestione siano mediamente più alti per la sostituzione delle punte a cuspidi nonostante abbiano il vantaggio di avere una durata maggiore in quanto permettono di completare il processo di foratura per una media di 450 torrette; al contrario, i bassi costi di sostituzione degli inserti dei bareni sia in sgrossatura che finitura trovano il contro di completare mediamente la foratura di 200 torrette o, addirittura, per meno di una decina per gli inserti dei bareni di finitura CoreBore 825.

3. Test sgrossatura con punta a cuspide

Per validare le nuove tecnologie di taglio proposte nella rimodulazione della sequenza del ciclo di foratura riportata nel *Capitolo 3.2*,l'azienda ha eseguito prontamente dei test al fine di monitorare le performance e le produttività al fine di operare un confronto con i dati forniti dall'azienda costruttrice.
Pet tale ragione, è stato acquistato l'utensile Sandvik Coromant con punta a cuspide intercambiabile CoroDrill 870 che è stato sopra designato come valida alternativa al processo di sgrossatura in sostituzione agli utensili a punta elicoidale di diametro via via crescente utilizzati nel processo attuale.
Il test è stato eseguito su un semi-lavorato in acciaio 38CrNiMo4 poiché il medesimo materiale delle torrette da forare, mentre, la prova di sgrossatura è stata eseguita a bordo del centro di lavoro CNC CB Ferrari in officina.
Nello specifico è stato acquistato l'utensile per testare la sgrossatura del foro della serie di indexer SX 60 con diametro della cuspide pari a 15.50 mm, per cui è necessario un secondo ed ultimo step di barenatura di precisione per raggiungere la dimensione finale del foro pari a 15.86 mm.
L'ordine dell'utensile include anche l'attacco mandrino che corrisponde ad un ISO 40.
Il centro di lavoro CNC su cui è stato designato il test di foratura presenta alcuni aspetti che ne differenziano le dinamiche operative rispetto alle condizioni ottimali di lavoro quali:

- Il centro di lavoro CNC non predispone un circuito che garantisce l'adduzione di lubrificante direttamente sul corpo punta dell'utensile, ma permette una lubrificazione solo dall'esterno;

- L'attacco ISO 40 accoppiato al corpo utensile richiede un connettore dedicato per essere agganciato al mandrino del centro di lavoro su cui eseguire il test.

Al fine di evitare eventuali danneggiamenti del corpo utensile, le dinamiche di prova sono state riferite prontamente ad un consulente dell'azienda Sandvik Coromant che ha dettato delle indicazioni cautelative circa i parametri di lavoro da utilizzare al fine di bilanciare anche l'effetto di una lubrificazione non ottimale.
Nel caso di acciaio (ISO P), le indicazioni fornite da catalogo dal costruttore definiscono i seguenti range dei parametri di taglio:

Avanzamento per giro f_n [mm/giro]:	0.16 – 0.45
Velocità di taglio V_c [m/min]:	80 – 140
Velocità di rotazione mandrino n[rpm]:	2875 – 1643
Velocità di avanzamento V_a [mm/min]:	296 – 832

Figura 3.15 – Test di sgrossatura con utensile con cuspide intercambiabile CoroDrill 870 su semilavorato in acciaio.

Nel corso dei test si è optato, sotto consiglio del consulente Sandvik, di eseguire il processo di taglio con parametri di taglio cautelativi e differenziati lungo la corsa di lavoro per cui V_{a1} [mm/min] corrisponde alla velocità di avanzamento nei primi 6 mm e V_{a2} [mm/min] nel tratto di lavoro restante.
Di seguito, in *Tabella 3.9* sono riportati nello specifico i parametri settati presso il CNC per eseguire i test con utensile CoroDrill 870.

	Primo test	Secondo test
n [rpm]	1850	1850
V_c [m/min]	90	90
V_{a1} [mm/min]	250	320
fn_1 [mm/giro]	0.14	0.17
V_{a2} [mm/min]	370	460
fn_2 [mm/giro]	0.2	0.25
Diametro foro [mm]	15.62	15.62
Durata sgrossatura	7 secondi	7 secondi

Tabella 3.9 – Setting del centro di lavoro CNC per il test di sgrossatura con il nuovo utensile CoroDrill 870 da 15.50 mm.

In entrambe le prove è stato settata la medesima velocità di rotazione e pari a 1850 rpm; il primo test è stato eseguito con i parametri minimi precauzionali e dall'analisi della dinamica del processo si è osservato come il truciolo prodotto nel corso della lavorazione fosse inizialmente troppo lungo ma non è stata notato alcun tipo di strisciamento.
Per tale ragione, sono state incrementate le due velocità di avanzamento nei due tratti di lavoro del 25% nel corso del secondo test eseguito: dall'analisi si è osservato un miglioramento della dinamica dello sviluppo del truciolo in quanto è risultato più corto.
L'unica nota negativa emersa nei test è relativa alla dimensione finale dei fori ottenuti dalla sgrossatura: entrambi i fori prodotti a seguito di una misurazione con un micrometro per interni ha evidenziato delle incongruenze dimensionali rispetto alla dimensione nominale della cuspide pari a 15.50 mm e, come dichiarato in *Tabella 3.9*, un differenza di più di un decimo di millimetro.
La dimensione ottenuta può derivare da una catena di errori che influenzano il run-out dell'utensile: tra questi vi è sicuramente la presenza a bordo macchina di un connettore ad hoc per il collegamento del gruppo utensile con il mandrino e la mancata refrigerazione con adduzione interna che non permette di evacuare idoneamente il truciolo prodotto nel corso del processo.
Complessivamente, tale soluzione, seppur con i dovuti accorgimenti per garantire le condizioni ottimali di lavoro permette all'azienda di rivoluzionare il processo di foratura delle torrette in termini di tempo ciclo attivo dal momento che il tempo di sgrossatura nel ciclo attuale di un singolo foro richiede mediamente 2 minuti e 40 secondi rispetto ai circa 7 secondi richiesti con un utensile con cuspide intercambiabile.
Al fine di poter validare l'intera sequenza del ciclo ed i rispettivi utensili da taglio designati, l'azienda ha eseguito l'ordine del bareno relativo alla medesima linea produttiva di indexer SX 60 per testare la successiva fase di finitura.

3.3 Teste di foratura e maschiatura

Nell'ottica di una trasformazione del ciclo attuale in un processo automatico in cui le operazioni possano essere eseguite a bordo di un medesimo centro di lavoro, sono state condotte delle consulenze per valutare delle alternative circa il secondo processo di foratura-maschiatura funzionale al bloccaggio dei perni-folli sulla torretta.
L'azienda consultata è EUROMAGroup la quale ha offerto tre opzioni che potrebbero garantire una maggiore produttività rispetto al ciclo in esame.
Nello specifico, sono state proposte tre alternative:

A. Unità singola di foratura – DXP 18
B. Unità singola di maschiatura – TX 20
C. Unità combinata foratura-maschiatura – DXE 16

1. Unità singola di foratura – DXP 18

Modello: EUROMAGroup DXP 18

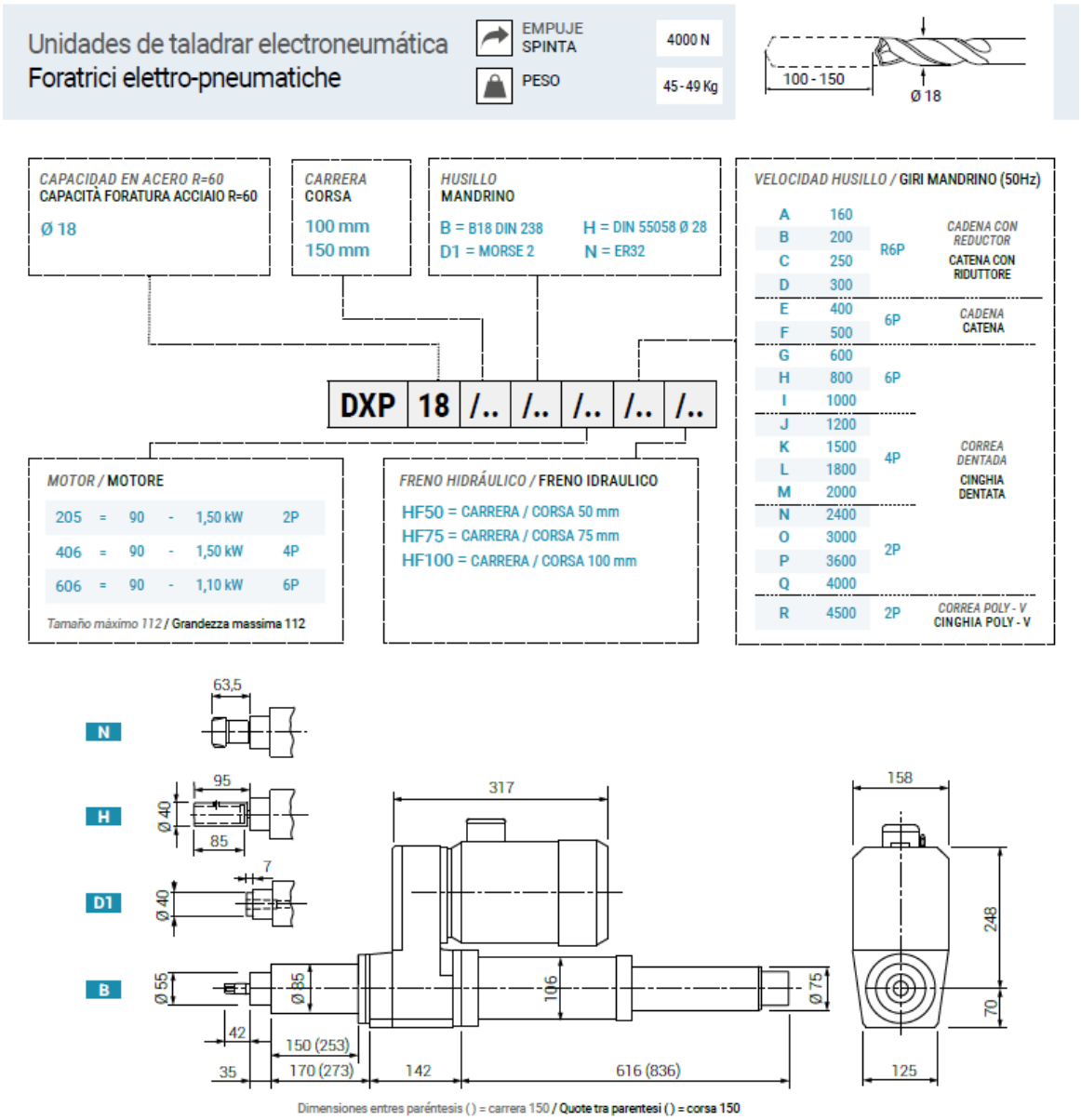


Figura 3.16 – Specifiche tecniche dell'unità di foratura DXP 18.
Fonte: https://www.euromagroup.iUnit/prodotto/dxp18-100/#

Specifiche:

- Foratrice elettro-pneumatica
- Necessita solo di essere fissata rigidamente sul banco
- Possibilità di montare diverse tipologie di attacco mandrino
- Il deceleratore idraulico permette la regolazione delle velocità di avanzamento di lavoro
- Max Ø foratura: 18 mm
- Corsa: 100/150 mm
- Accessori: Utilizzo di teste multiple
  Freno scarica truciolo
- Costo: 5000 €

2. Unità singola di maschiatura – TX 20

Modello: EUROMAGroup TX 20

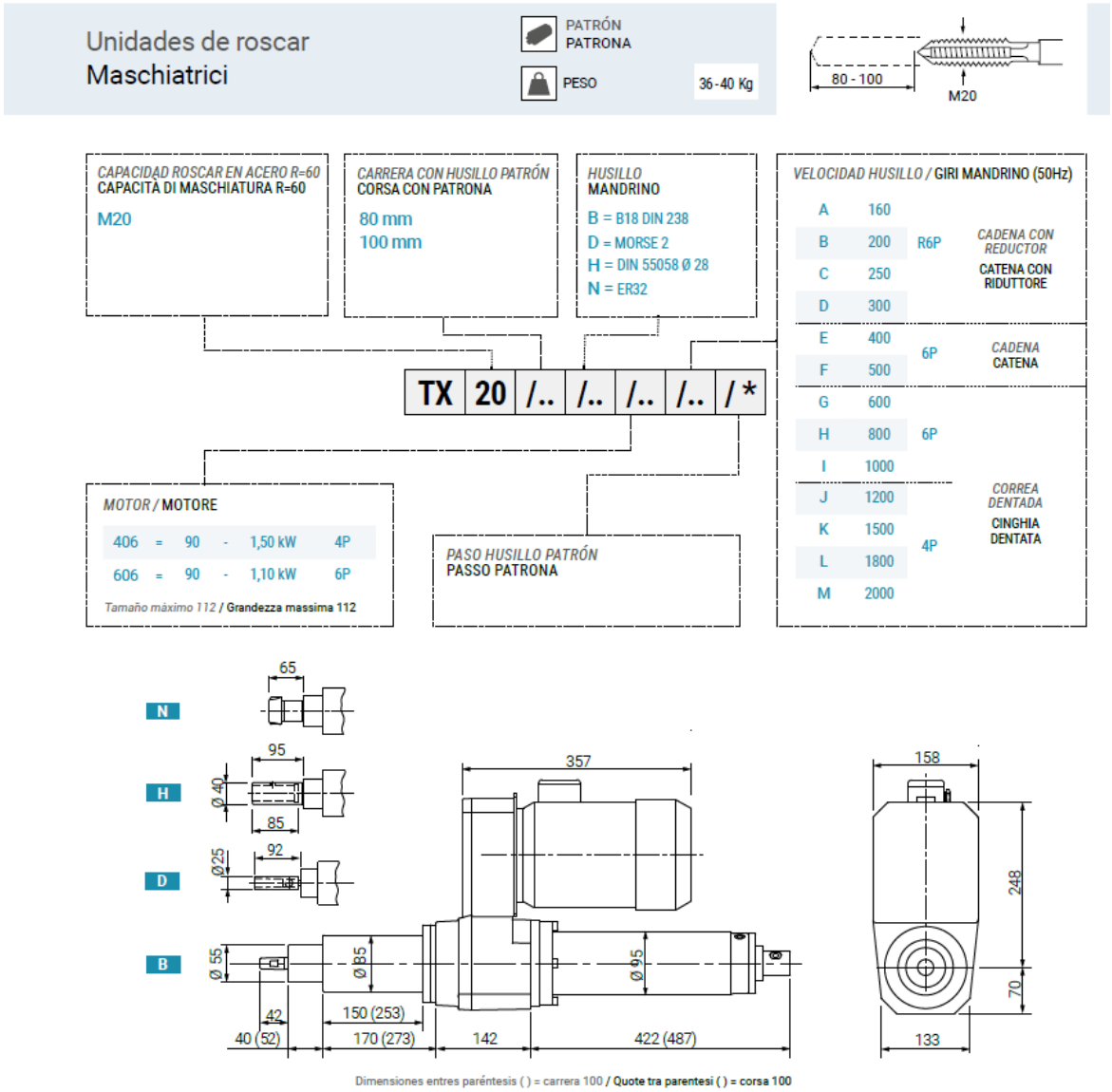


Figura 3.17- Specifiche tecniche dell'unità singola di maschiatura TX 20. Fonte: https://www.euromagroup.it/prodotto/tx20-80/#

Specifiche:

- Unità di sola maschiatura
- Necessita solo di essere fissata rigidamente sul banco
- Avanzamento tramite patrona a bagno d'olio
- Possibilità di montare diverse tipologie di attacco mandrino
- Capacità di maschiatura: M20
- Corsa: 80/100 mm
- Accessori: Teste multiple
  Motore auto frenante
- Costo: 3800-4000 €

3. Unità combinata foratura-maschiatura – DXE 16

Modello: EUROMAGroup DXE 16

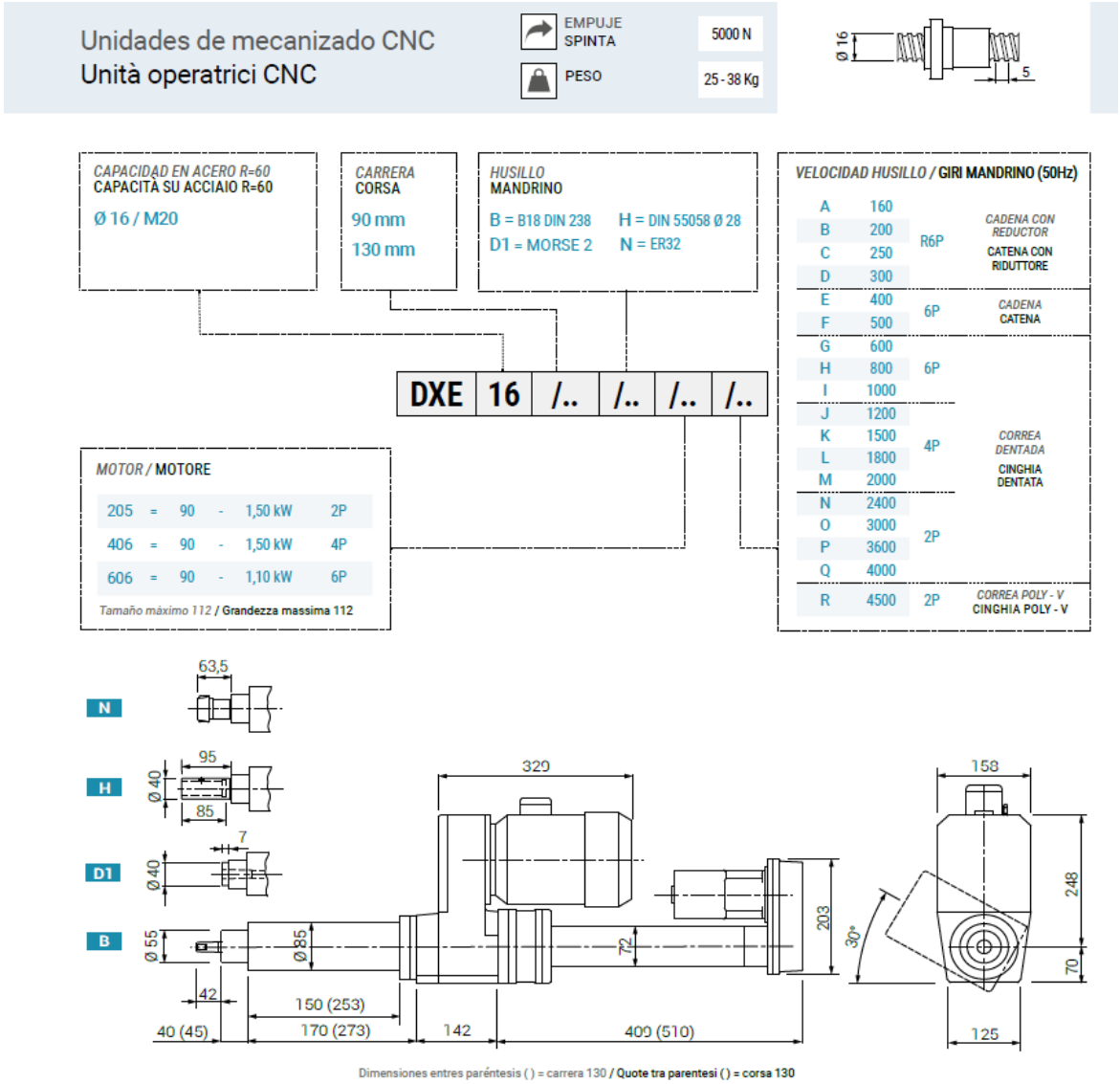


Figura 3.18– Specifiche tecniche unità combinata di foratura e maschiatura.
Fonte: https://www.euromagroup.it/prodotto/dxe16-130/#

Specifiche:

- Unità a controllo numerico per foratura e maschiatura (maggiore qualità di TX 20)
- Programmabile a seconda della lavorazione richiesta
- Dotata di sensori di fine corsa
- Possibilità di montare diverse tipologie di attacco mandrino
- Cambio utensile manuale
- Necessita di essere solo fissata rigidamente sul banco
- Max Ø foratura: 16 mm
- Capacità di maschiatura: M20
- Corsa: 90 /130 mm
- Accessori: Teste multiple
  Predisposizione per motore rotazione mandrino
- Costo: 8000 €

3.4 Torretta a revolver

Dal momento che le inefficienze riscontrate nel corso del processo di foratura sono la conseguenza dell'utilizzo di una macchina utensile tradizionale senza alcuna possibilità di controllo e programmazione, è stata condotta un'analisi di mercato con aziende specializzate nell'automazione industriale al fine di ricercare teste di foratura innovative con cambio utensile automatico integrato.
Successivamente alla riprogrammazione del ciclo di foratura di precisione è stato necessario ricercare una soluzione alternativa che permettesse di superare il problema legato alla stretta subordinazione del processo attuale con la presenza dell'operatore a bordo macchina.
Per tale ragione, come dimostrano anche i rilevamenti eseguiti in officina, la quota di tempo ciclo passivo è uno dei principali colli di bottiglia del processo dal momento che l'operatore è spesso impegnato in altre operazioni in officina ed inevitabilmente non permette l'avanzamento del processo.
La soluzione ottimale confacente al ciclo in esame è il montaggio a bordo macchina di una testa di foratura con torretta a revolver e nello specifico il modello HT dell'azienda OMG.
Per tale ragione, sono state necessarie delle consulenze tecniche con l'azienda al fine di valutare le specifiche tecniche dei loro prodotti ed i rispettivi prezzi.

Figura 3.19 – Torretta a revolver OMG - HT
Fonte: https://www.omgnet.it/sistemi-foratura/torrette-a-revolver

La torretta a revolver HT visibile in *Figura 3.19* permette di automatizzare facilmente il processo poiché su di essa è possibile ospitare, a seconda dei modelli, da 6 a 12 gruppi mandrini con un sistema customizzato di refrigerazione che può essere richiesto internamente al corpo utensile oppure all'esterno.
Inoltre, la torretta trova collocazione direttamente sul mandrino della macchina utensile oppure, può essere munita di un proprio sistema di motorizzazione su slitta, a seconda delle applicazioni.

La rotazione dell'intera torretta e dei singoli gruppi mandrino-utensile è gestita da una singola motorizzazione; a seconda del ciclo da attuarsi, la torretta opera in maniera smart al fine di procedere seguendo il percorso angolare più breve per riportare l'utensile coassiale al foro da lavorare.
Tutto ciò è garantito da un'interconnessione con il CNC del centro di lavoro mediante il quale possono essere facilmente settati i parametri di taglio per ogni singolo mandrino/utensile.
Sul piano meccanico la rotazione ed il conseguente bloccaggio delle varie configurazioni di lavoro è gestita da un'eccellente dentatura Hirt che garantisce elevate precisioni e ripetibilità pari a ± 3'' che la rendono idonea per lavorazioni meccaniche ad elevata accuratezza quali barenatura e alesatura.
Le taglie proposte dall'azienda sono le seguenti: *HT 160, HT 200, HT 250, HT 360* ed i parametri tecnici di ogni singolo modello sono riportati di seguito in *Tabella 3.10.*

MODELLO TORRETTA		**HT 160**	**HT 200**	**HT 250**	**HT 360**
n. di posizioni max		*6*	*6*	*6-8*	*6-8-12*
Coppia trasmissibile al mandrino	***Nm***	*80*	*200*	*300*	*800*
n. giri max mandrino	***rpm***	*12000*	*10000*	*10000*	*8000*
Precisione di posizione mandrini		*± 3''*	*± 3''*	*± 3''*	*± 3''*
Potenza motore	***kW***	*4*	*5*	*6.5*	*16*
Tempo di rotazione (1/6 di giro)	***s***	*0.9*	*1*	*1.1*	*1.5*
Diametro corona Hirt	***mm***	*160*	*200*	*250*	*360*
Tipi di mandrini disponibili		*HSK, ABS, ER, DIN 55058*			
Peso	***kg***	*35*	*60*	*140*	*300*
Prezzo		-	14200 €*	-	-

*costo della torretta HT200, al quale è da sommare il costo di ogni singolo mandrino (1600 €)

Tabella 3.10 – Modelli torrette a revolver HT e corrispondenti specifiche tecniche

3.5 Soluzioni per ciclo automatico

Lo step successivo alla definizione del nuovo ciclo di foratura delle torrette (*Capitolo 3.2*) è quello relativo all'analisi delle soluzioni che permettono di rendere il processo automatico ed indipendente dall'operatore a bordo macchina.
Infatti, i rilevamenti e l'analisi del ciclo attuale hanno dimostrato come il principale collo di bottiglia lungo la linea produttiva degli indexer è l'utilizzo di una macchina utensile tradizionale che non consente alcun tipo di programmazione.
Per raggiungere questo target è necessario un duplice intervento:

A. Scelta della torretta a revolver e definizione degli utensili nelle singole posizioni di lavoro in base alla serie di indexer;
B. Scelta del centro di lavoro programmabile sul quale eseguire il ciclo con tre possibili alternative:
    1. Retrofit e programmazione della fresatrice Newall
    2. Progettazione di un nuovo centro di lavoro ad hoc per il ciclo in esame
    3. Foratura presso il centro di lavoro CNC a 5 assi CB Ferrari

In merito alla questione relativa alla scelta della torretta a revolver, il modello è stato scelto sulla base dei parametri di taglio del nuovo ciclo (*Capitolo 3.2.1*). Tale soluzione è indipendente dal centro di lavoro su cui è eseguito il taglio: nel paragrafo che segue si riportano i setting e gli utensili da predisporre per ognuna delle posizioni di lavoro della torretta.
Nel corso delle riunioni con l'area di ingegnerizzazione e il capo-officina sono emerse più alternative circa il trasferimento del ciclo presso un nuovo centro di lavoro CNC in modo da essere opportunamente programmato.
La prima alternativa è stata quella di eseguire un retrofit della fresatrice Newall con l'intento di eseguire un ingente intervento di riammodernamento: ciò presuppone una nuova riprogrammazione della macchina a partire dagli organi motrici e dotandola di dispositivi ausiliari di trasduzione.
L'automatizzazione del ciclo è garantita da un nuovo PLC integrato ovvero un'unità di governo elettronica che riesca a gestire gli anelli di controllo mediante la sensoristica a bordo macchina e, in contemporanea, occuparsi del setup dei parametri di taglio a seconda della torretta da forare.
Una seconda soluzione da valutare è, invece, quella relativa alla completa progettazione e programmazione di un centro di lavoro su misura per il ciclo in esame, seguendo la stessa strategia che ha portato l'azienda a brevettare la macchina CNC per il taglio delle camme ad alta velocità.
Tale strategia sarebbe garantita dall'esperienza e know-how acquisito dall'azienda nel corso degli anni.
Ultima alternativa, ma non meno importante, è quella di eseguire tale ciclo presso un centro di lavoro CNC a 5 assi già presente in officina.
Nello specifico è un centro di lavoro CB Ferrari S66 dotato di elevata rigidità che garantirebbe alti livelli di precisione grazie a righe ottiche già installate su tutti gli assi.
Per tale ragione, si è reso necessario l'avvio di una serie di consulenze con aziende specializzate in processi di retrofit e dispositivi per l'automazione industriale per analizzare nel dettaglio la profittabilità dei singoli investimenti.

Setup torretta HT200

L'automatizzazione delle operazioni di setup degli utensili per i singoli step di foratura è garantita dall'utilizzo di una testa di foratura a revolver della serie HT dell'azienda OMG.
Questo dispositivo permette di risolvere contemporaneamente più criticità del processo garantendo, dunque, i seguenti vantaggi:

- Cambio utensile automatico e smart per ridurre il tempo ciclo passivo;
- Flessibilità del ciclo di lavoro a seconda della serie di torrette da forare;
- Facile interconnessione con CNC e scelta del programma di lavoro mediante interfaccia;
- Sistema customizzato di adduzione di refrigerante per ogni singolo mandrino.

La scelta del modello della torretta a revolver HT idoneo ai fini del nuovo ciclo di foratura deve tener conto dei parametri di taglio e dalle seguenti considerazioni:

- numero di posizioni di lavoro richieste per la sequenza del ciclo;
- precisione e ripetibilità nel posizionamento angolare;
- massima velocità di rotazione mandrino;
- massima potenza e coppia di taglio;
- tipologia di attacco mandrino.

Un confronto incrociato tra le informazioni di massima potenza e coppia di taglio e massima velocità di rotazione del mandrino (vedi *Tabella 3.6*) con le specifiche tecniche dei singoli modelli della torretta HT ha ristretto la scelta al modello *HT 200*.
Tale modello, come visibile in *Figura 3.20*, presenta un massimo di stazioni di lavoro pari a 6 e garantisce fino a 5 kW di potenza ed una coppia massima pari a 200 Nm trasferibile al mandrino.
Il peso complessivo è pari a 60 kg e la meccanica interna mediante la corona Hirt dal diametro di 200 mm garantisce una precisione nel posizionamento angolare dei singoli mandrini pari a ± 3''.
Il costo complessivo della torretta HT 200 comprensivo delle sei stazioni di lavoro è pari a 23800 €.

Le sei stazioni di lavoro sono in numero sufficiente per gestire il processo di foratura in quanto la configurazione più critica dal punto di vista della sequenza del ciclo è quella relativa alla foratura delle torrette della serie di indexer SP-1205.
Come riportato in *Tabella 3.11*, infatti, sono richieste quattro posizioni utensili per il processo di sgrossatura e finitura del foro alle quali si aggiungono i due step relativi alla spianatura e svasatura eseguiti con i medesimi utensili del ciclo attuale. Al termine della realizzazione dei fori per i perni perni-folli, è richiesto, se possibile, una foratura nella direzione ortogonale alla prima mediante punta elicoidale preliminare alla maschiatura del foro che viene eseguita manualmente lungo la linea di assemblaggio degli indexer.
Nell'ottica di un processo automatico sarebbe necessario anche dotare la torretta di un tastatore T00 che fosse presente in ogni step del processo al fine di eseguire un controllo a campione sulle dimensioni dei fori nel corso del ciclo: opportunamente programmato può risultare utile per segnalare eventuali anomalie nel processo legate, ad esempio, all'usura dell'utensile.
Con l'aggiunta di un eventuale tastatore in una delle posizioni della torretta sarebbe necessaria, per la sola serie SP-1205, l'azione dell'operatore che, mediante un'opportuna indicazione sull'interfaccia della macchina CNC, deve procedere alla sostituzione di uno o più utensili per far procedere il processo con gli ultimi step di spianatura, svasatura e foratura pre-maschiatura.
In *Tabella 3.10* sono riportate nel dettaglio, per ogni dimensione dei fori da realizzare, il corrispondente setup della torretta con gli utensili adatti nelle singole posizioni di lavoro per completare il processo in maniera automatica; per le ragioni sopra citate circa la foratura delle

torrette della serie SP-1205 sono state indicate anche le sostituzioni necessarie per completare il processo.
La foratura dei fori dal diametro da 31,75 mm richiede la presenza dell'operatore a bordo macchina anche per la modifica del pre-setting del bareno di sgrossatura T11.
Nonostante la gamma delle torrette a revolver HT permetta di avere anche un numero di stazioni di lavoro maggiore, la scelta del *modello HT200 con* sei mandrini è giustificata dalle seguenti considerazioni:

- La presenza dell'operatore per le operazioni sopra citate è richiesta per la sola serie SP-1205 i cui volumi produttivi e richieste dal mercato sono limitati a pochi ordini durante l'anno;
- La programmazione e la relativa interfaccia permettono di definire in maniera chiara e rapida le azioni richieste sul setting ed il posizionamento dei tool sulla torretta, dunque, ciò non presuppone che l'operatore sia altamente specializzato come invece accade attualmente;
- La scelta di modelli superiori a HT200 è caratterizzata da ingombri e masse eccessive che possono compromettere la rigidezza e l'accuratezza del processo;
- Le restanti dimensioni dei fori, ad esclusione della serie SP-1205, non necessitano di sostituzioni e cambi di pre-setting dei tool da parte dell'operatore come visibile in *Tabella 3.11*. Ciò permette di far procedere il ciclo in maniera automatica dalla fase di sgrossatura alla foratura pre-maschiatura.

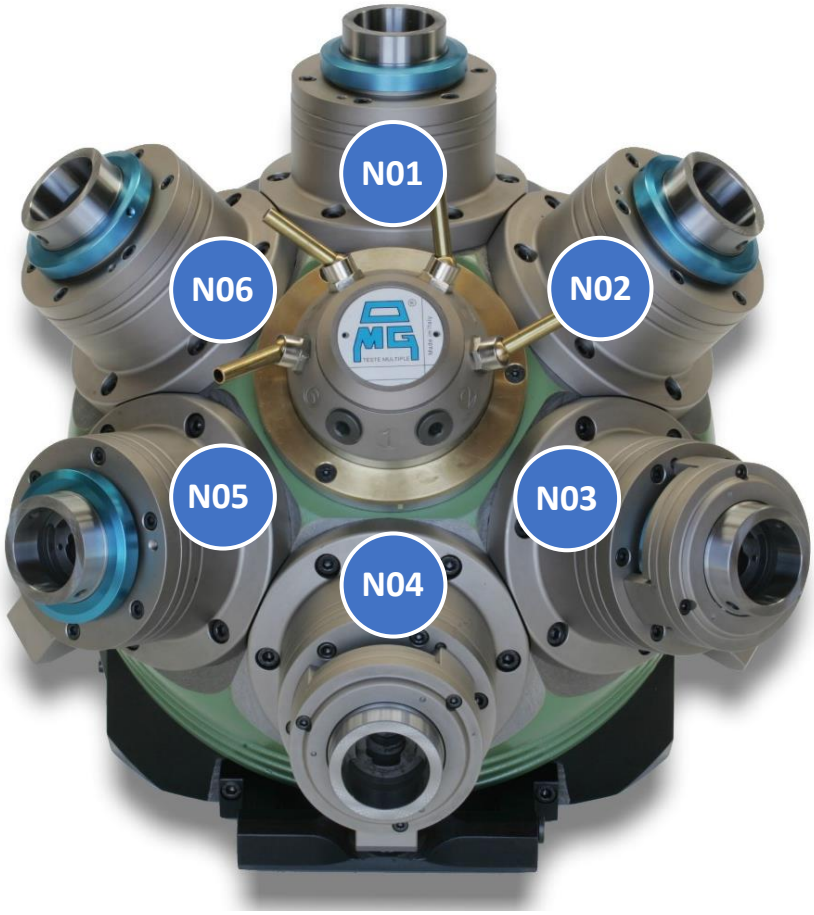


Figura 3.20– Torretta a revolver HT 200. Fonte: https://www.omgnet.it/sistemi-foratura/torrette-a-revolver

Le informazioni relative al setting della torretta a revolver HT200 congiuntamente ai parametri di taglio consigliati per ogni tipologia di utensile necessitano di essere esportati, mediante un opportuno codice, presso il CNC della macchina utensile e per lo studio di un'interfaccia dedicata che permetta all'operatore non specializzato di avviare il processo attraverso la selezione da una lista delle serie di indexer.

Setup torretta a revolver HT 200 – Ciclo di foratura torrette			
Ø 11,10 mm – Serie SX 40			
Posizione	**Tool**	**Tipologia Utensile**	**Operazione**
N01	T01	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02	T05	CoreBore 824 XS	Bareno di finitura
N03	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N04	T14	Svasatore	Svasatura foro
N05	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori
Ø 15,84 mm – Serie SX 60			
N01	T02	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02	T06	CoreBore 824 XS	Bareno di finitura
N03	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N04	T14	Svasatore	Svasatura foro
N05	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori
Ø 19,05 mm – Serie SX 95			
N01	T03	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02	T07	CoreBore 824 XS	Bareno di finitura
N03	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N04	T14	Svasatore	Svasatura foro
N05	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori
Ø 22,23 mm – Serie SX 95+ e SP 805			
N01	T04	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02	T08	CoreBore 825-23	Bareno di finitura
N03	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N04	T14	Svasatore	Svasatura foro
N05	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori

Ø 25,40 mm – Serie SP 805+			
N01-1	T04	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02	T09	CoreBore BR-29	Bareno di sgrossatura
N03	T10-Set1	CoreBore 825-29	Bareno di finitura
N04	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N05	T14	Svasatore	Svasatura foro
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori
N01-2	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
Ø 28,58 mm – Serie SP 1205			
N01-1	T04	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02-1	T09	CoreBore BR-29	Bareno di sgrossatura
N03	T11-Set1	CoreBore BR20-36	Bareno di sgrossatura
N04	T10-Set2	CoreBore 825-29	Bareno di finitura
N05	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori
N01-2	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
N02-2	T14	Svasatore	Svasatura foro
Ø 31,75 mm – Serie SP 1205+			
N01-1	T04	CoroDrill 870	Sgrossatura
N02-1	T09	CoreBore BR-29	Bareno di sgrossatura
N03	T11-Set1 T11-Set2	CoreBore BR20-36	Bareno di sgrossatura
N04	T12	CoreBore 825-36	Bareno di finitura
N05	T13	Fresa	Spianatura per 'piatti'
N06	T00	Tastatore	Centraggio e controllo a campione della dimensione dei fori
N01-2	T15	Punta elicoidale	Foratura pre-maschiatura
N02-2	T14	Svasatore	Svasatura foro

Tabella 3.11 – Setting e predisposizione della torretta revolver con i rispettivi tool a seconda delle serie di indexer.

Retrofit fresatrice Newall

Nel seguente paragrafo si analizza una delle tre alternative proposte per rinnovare il processo di foratura nell'ottica 4.0 mediante un aggiornamento mirato della fresatrice Newall 1520 attualmente adoperata.
Tale tecnica, ben nota come retrofit, mira a modernizzare una macchina utensile tradizionale con una serie di interventi ed implementazioni che permettono di migliorare le performance produttive e l'efficienza economica.
Tale tecnica trova spesso applicazioni in sistemi industriali per i quali non è conveniente investire ingenti somme per un nuovo macchinario o centro di lavoro, ma si predilige un riaggiornamento di quelli attuali.
L'operazione di retrofit non è solo giustificata da considerazioni economiche oggettive, ma risulta la soluzione ottimale nel caso in cui è richiesto un intervento mirato per 'specializzare' un macchinario proprio dove peccava di inefficienza.
In linea generale, tali operazioni di ripristino interessano non solo le componenti meccaniche come telaio, motori, sistema di ingranaggi e/o pulegge, ma interviene massivamente anche sull'elettronica ed i cablaggi del sistema con l'intento di dotare la macchina di una propria unità di governa in grado di gestire autonomamente il processo richiesto.
I sistemi non dotati di un proprio CNC, sono muniti di un PLC ovvero un controllore elettro-meccanico in grado di far da tramite ai segnali I/O relativi alla sensoristica di bordo quali encoder, righe ottiche e traduttori.
Il PLC, mediante un'interfaccia dedicata presente a bordo macchina, permette all'operatore dare in input un opportuno programma in grado di definire i moti relativi di utensile e pezzo con i relativi parametri di taglio della lavorazione meccanica da eseguire.
Per tale ragione che il retrofit della macchina fresatrice tradizionale è una valida soluzione poiché le permetterebbe di risolvere il 'collo di bottiglia' di un processo sostanzialmente manuale e lento e, quindi, renderlo automatico.

Nel caso della fresatrice in esame il processo di retrofit richiede dapprima una revisione delle sue componenti meccaniche quali:

- Sostituzione dei cuscinetti per garantire una maggiore rigidità al sistema;
- Sostituzione vite a ricircolo di sfera dei meccanismi che regolano il moto della tavola porta pezzo;
- Revisione del sistema meccanico di ingranaggi e pulegge che gestisce l'avanzamento dell'utensile nella direzione z.

Per ovviare al problema dell'assenza automazione del processo è prioritaria la predisposizione di un PLC.
Dunque, sono necessarie i seguenti interventi relativi ai sistemi di I/O dell'unità di governo:

- Sostituzione del motore con un brushless per consentire maggiori velocità ed accelerazioni dei servomeccanismi;
- Montaggio encoder e riga ottica ad alta risoluzione per gestire rispettivamente la rotazione del mandrino ed il posizionamento della tavola porta pezzo;
- Implementazione di una nuova interfaccia tale da poter avviare e monitorare la lavorazione di foratura anche da un operatore non specializzato;
- Nuovo impianto ad hoc per l'adduzione di refrigerante interna/esterna all'utensile;
- Rigenerazione dell'impianto ad aria compressa per l'evacuazione del truciolo.

Sulla base di tali richieste tecniche sono state avviate delle consulenze tecniche con aziende specializzate in processi di retrofit su macchine utensili tradizionali e nello specifico il costo complessivo richiesto per tale operazione è stato pari a 100000 € comprensivo di costi di programmazione e montaggio dei singoli componenti richiesti.
Nel complesso tale soluzione sarebbe favorevole se comparata con il costo d'investimento relativo all'acquisto di una nuova macchina CNC, ma d'altra parte è necessario valutare i contro relativi all'assenza di una seconda macchina alternativa nel caso essa stessa si guastasse.
Inoltre, l'operazione di foratura e maschiatura non è comunque garantita a bordo della fresatrice poiché non è munita di una testa angolare. Per provvedere ad integrare tale processo sarebbe necessario predisporre un'unità combinata di foratura e maschiatura sul bancale.

Nuovo centro di lavoro CNC

La seconda alternativa emersa nelle riunioni interne è relativa alla progettazione e programmazione di un nuovo centro di lavoro dedicato all'intero ciclo di foratura delle torrette lungo la linea di produzione degli indexer.
Tale soluzione è in linea con la strategia già adoperata in precedenza da Italplant che, sfruttando l'esperienza ed il consolidato know-how nei suoi processi interni, le ha permesso di progettare e brevettare una macchina utensile CNC ad alte prestazioni per le operazioni di taglio delle camme.
L'idea di base è relativa alla progettazione di un unico centro di lavoro in cui integrare il processo di foratura per i perni-folli e la lavorazione di maschiatura che, invece, attualmente sono eseguite su due macchine utensili differenti.
Sarebbe, dunque, necessario l'acquisto di un nuovo divisore Nikken ad alta precisione angolare per il bloccaggio e per il controllo della rotazione angolare della torretta da forare.
Rispetto al ciclo di lavoro attuale, sarebbe più conveniente modificare il posizionamento del divisore al fine di eseguire il bloccaggio con l'asse della torretta disposto verticalmente; il processo di foratura è eseguito da una singola testa di foratura con asse orizzontale su cui ha sede la torretta a revolver idonea per il ciclo in esame.
La testa di foratura deve essere dotata, dunque, di una slitta lineare ed una sistema di motorizzazione che garantisca l'avanzamento dell'utensile lungo la sola direzione assiale del foro.
Al contrario, la foratura e successiva maschiatura deve essere eseguita nella direzione ortogonale alla prima lavorazione e quindi sarebbe conveniente dotare il centro di lavoro di un'unità combinata di foratura e maschiatura che richiederebbe la sola installazione e conseguente programmazione in termini di parametri di taglio da adoperare nel processo.
L'intero sistema sopra descritto richiede necessariamente di essere montato su un bancale ad alta rigidità per evitare che si innescano fenomeni vibratori nel corso del processo che potrebbero compromettere la riuscita del ciclo di precisione.
In ottemperanza anche alle normative di sicurezza è necessario predisporre una cabina al fine di evitare che l'operatore non venga raggiunto dal truciolo prodotto nella lavorazione.
Per ultimo, ma non meno importante, è necessario che i singolo dispositivi siano interconnessi tra loro mediante un'unità di governo dell'intero centro di lavoro al fine di poter programmare e monitorare ogni singolo step.
Per tale ragione è necessario prevedere un CNC e relativa interfaccia per poter integrare le informazioni in entrata e uscita dei sistemi I/O quali encoder, righe ottiche installate sui singoli componenti meccanici .
Questa soluzione garantirebbe all'azienda sulla base delle specifiche di progetto richieste nelle due operazioni di foratura di provvedere all'utilizzo di sistemi ad alta precisione ed accuratezza per il

ciclo di foratura e, invece, sistemi standard per la successiva maschiatura. Ciò le permetterebbe di poter ponderare in maniera efficiente i costi di investimento del centro di lavoro evitando l'acquisto di un'ingente macchina CNC proposta da catalogo.
Nonostante ciò, tale soluzione prevede una svariata serie di voci di costo che comprendono non solo i singoli dispostivi meccanici sopra citati con i relativi sistemi di trasduzione, ma è necessario considerare anche i costi di montaggio, programmazione ed eventuale debugging.
Di seguito si riporta una sintesi delle voci di costi analizzate:

- Divisore Nikken dal costo di 20000 €;
- Torretta a revolver HT200 dal costo complessivo di 23800 €;
- Slitta EX38 per testa di foratura dal costo di 7500 €;
- Unità combinata di foratura e maschiatura DXE 16 dal costo di 8000 €;
- Organi di trasduzione I/O ausiliari pari a 6000 €;
- Telaio e montaggio pari a 15000 €;
- Programmazione del CNC e relativa interfaccia pari a 12000 €.

Il costo complessivo della nuova macchina CNC dedicata all'intero processo di foratura è, quindi, pari a 92300 €.
Tale soluzione permetterebbe, quindi, di brevettare un centro di lavoro CNC che garantirebbe una maggiore efficienza e produttività lungo la linea produttiva degli indexer con anche il vantaggio di poter predisporre la fresatrice Newall 1520 per un eventuale backup nel caso si presentassero dei guasti senza interrompere il processo e causare ritardi nelle consegne dei prodotti.

Foratura presso centro di lavoro CNC a 5 assi

Nel seguente paragrafo si analizza la terza possibile alternativa delineata per garantire l'automatizzazione della nuova sequenza del ciclo di foratura in esame.
Nello specifico, a seguito delle riunioni interne con il capo-officina e l'area di ingegnerizzazione si è valutata la possibilità di trasferire il processo di foratura delle torrette presso il centro di lavoro CNC CB Ferrari S66 a cinque assi in *Figura 3.21.*

Figura 3.21 – Centro di lavoro CNC CB Ferrari S66 a 5 assi.

Al contrario delle altre alternative analizzate nei paragrafi precedenti, tale soluzione ha il vantaggio di richiedere solo delle revisioni meccaniche in quanto il centro di lavoro è già in possesso dall'azienda che utilizza anche per altre operazioni lungo le altre linee produttive.
Nello specifico il centro di lavoro CB Ferrari ha una serie di caratteristiche che lo rendono idoneo per il trasferimento del processo di foratura e garantirne elevate performance: in primis è dotato il proprio CNC che opportunamente programmato permetterebbe facilmente l'automatizzazione del processo.
L'unità di governo permette il controllo su cinque assi mediante linee di trasduzione che integrano le informazioni provenienti dalle righe ottiche sui cinque assi di lavoro e, inoltre, la struttura in ghisa ne conferisce elevati livelli di rigidezza che costituisce una principale prerogativa per il ciclo di precisione da attuare.
Il centro di lavoro è dotato di un motore da 16 kW tale da garantire efficacemente il processo di foratura e, inoltre, la possibilità di variare la direzione dell'asse del mandrino può risultare un plus per l'esecuzione del successivo step di maschiatura a bordo della medesima macchina con i rispettivi vantaggi in termini di efficienza.
L'attuazione della sequenza del ciclo richiede, come anticipato, il montaggio della torretta a revolver HT200 sul mandrino e, inoltre, è necessario l'acquisto di un nuovo divisore ad alta precisione da posizionare sulla tavola porta-pezzo per gestire la fase di bloccaggio e rotazione angolare della torretta nei successivi step operativi.
Il centro di lavoro, inoltre, predispone al suo interno anche un sistema di pompaggio da 0,55 kW per la lubrificazione al quale sarebbe necessario un intervento per garantire l'adduzione all'ingresso della torretta di foratura.
Nel complesso prima dell'effettiva messa in opera sarebbe opportuna una revisione complessiva del sistema relativamente ai componenti meccanici per il trasferimento del moto e dei dispositivi I/O per il monitoraggio della qualità del processo data le precisioni e accuratezze richieste.

Conclusioni

Il processo di foratura di precisione delle torrette lungo la linea produttiva dei globoidal indexer costituisce per l'azienda Italplant S.r.l. uno step cruciale al fine di garantire le specifiche di ripetibilità e accuratezza della legge del moto della tavola rotante.
L'analisi eseguita sul ciclo di foratura attuale è stata condotta su due tipologie di torrette differenti in termini di materiale e numeri di fori da eseguire. La sequenza delle singole fasi del processo e le relative valutazioni, riportate dettagliatamente nel *Capitolo 2,*hanno evidenziato una serie di inefficienze legate principalmente alla tipologia di macchina utensile adoperata ed il parco utensili impiegato.
Il processo attuale è, infatti, eseguito a bordo di una fresatrice verticale di tipo tradizionale: la foratura della torretta è resa possibile solo dalla presenza a bordo macchina di un operatore specializzato il quale deve necessariamente monitorare ogni singolo step della lavorazione:

- centraggio della torretta sul divisore;
- cambio e pre-setting degli utensili;
- gestione manuale del setup dei parametri di taglio a bordo macchina;
- rotazione del divisore al termine di ogni singolo step di foratura;
- controllo dimensionale del foro.

Una seconda causa di inefficienza riscontrata a seguito dell'analisi del processo è relativa agli utensili adoperati in officina per l'esecuzione della foratura di precisione: nonostante garantiscano stringenti tolleranze richieste da progetto, risultano ormai obsoleti e poco produttivi.
Un'ulteriore analisi, ma non meno importante, è relativa alla pianificazione del ciclo attuale che è costituito da otto step complessivi per l'esecuzione della sgrossatura e finitura dei fori e ciò ne aggrava ulteriormente i tempi di attrezzaggio e setup manuale a bordo macchina.
Le durate rilevate per la foratura delle torrette relative alla serie di indexer SX 60 e SOTL SX 60 sono in media pari a 2 ore e 35 minuti e sono la prova oggettiva di come tale lavorazione costituisca un collo di bottiglia lungo l'intera linea produttiva.
Un secondo dato da sottolineare è relativo alle tempistiche di tempo ciclo passivo rilevate nel corso del processo ovvero gli intervalli in corrispondenza dei quali non è stata eseguita alcuna operazione di taglio sul componente: rappresentano, infatti, una quota gravosa sulla durata totale pari rispettivamente al 17% e 29% .
Il ciclo è interrotto dall'assenza dell'operatore specializzato a bordo macchina in quanto impegnato in altre operazioni in officina per attività di assemblaggio sulle altre linee produttive, mentre, seppur in casi singolari, è stata riscontrata una mancata manutenzione predittiva degli utensili.
Questi tempi si traducono per l'azienda in produttività nulla e sono una conseguenza inevitabile date le dinamiche operative attuali sopra evidenziate.

Tali valutazioni emerse nella revisione del ciclo di foratura attuale sono state oggetto di un'analisi, eseguita nel *Capitolo 3,* alla ricerca di soluzioni attuabili sia nel breve che nel lungo periodo il cui target preposto è l'automatizzazione del processo a seguito di una nuova rimodulazione della sequenza del ciclo.
Le informazioni tecniche fornite a seguito delle consultazioni tecniche con aziende specializzate in asportazione di truciolo sono state valutate congiuntamente all'esperienza ed il know-how consolidato dall'azienda in termini di qualità del processo.
Nel *Capitolo 3.2* è stato rimodulata la nuova sequenza del ciclo di foratura che è stato notevolmente snellito in termini di numero di operazioni in quanto esso prevede, nella maggioranza dei casi, solo

due step ovvero una prima fase di sgrossatura ed una successiva finitura finale per il raggiungimento delle dimensioni di progetto del foro.
A partire dalla serie delle torrette degli indexer SP 805, invece, sono necessarie una o più step intermedi di semi-finitura al fine di riportare il diametro del foro con un opportuno sovrametallo per l'esecuzione della finitura.
In sgrossatura è stata scelta un'innovativa tecnologia di utensile con punta a cuspide intercambiabile: tale soluzione garantisce una maggiore flessibilità in quanto su un medesimo corpo punta possono aver sede differenti tipologie di cuspidi dal diametro differente.
Tale soluzione è vantaggiosa principalmente in termini di produttività ed efficienza dal momento che, al termine della vita utile della cuspide, può essere facilmente sostituita anche con l'utensile a bordo macchina senza che siano richiesti particolari accorgimenti o manodopera specializzata.
Nel ciclo attuale la sgrossatura è eseguita in più step con utensili a punta elicoidale di diametro via via crescente ed il tempo medio impiegato per un singolo foro è pari a 3 minuti.
Al fine di validare tale tecnologia di taglio, l'azienda ha eseguito dei test di sgrossatura per la sola serie di indexer SX 60: il test ha dimostrato l'ampio margine di produttività ed efficienza garantito dal nuovo ciclo e dal nuovo parco utensili dal momento che la sgrossatura del foro è stata eseguita in soli 7 secondi.
Al contrario, il test ha evidenziato delle imperfezioni sul piano dimensionale a causa di una catena di errori derivanti da una tipologia di attacco mandrino non idoneo ed un sistema di lubrificazione con adduzione non ottimale.
Inoltre, l'utensile con cuspide intercambiabile ne avvantaggia l'economia del processo in quanto i costi di gestione dell'utensile sono relativi alla sola sostituzione della cuspide che ne costituisce il solo elemento oggetto ad usura.
La medesima strategia ha portato alla scelta degli utensili di semi-finitura e finitura mediante rispettivamente bareno a doppio e singolo tagliente. Tale soluzione è stata preferita all'alesatura poiché garantisce maggiore flessibilità nel processo grazie al pre-setting dell'avanzamento radiale dell'utensile ed una maggiore economicità data la necessità di sostituire il solo inserto.
Sulla base delle informazioni fornite da catalogo dall'azienda costruttrice sono stati definiti i parametri di taglio consigliati per eseguire ogni singolo step del processo in termini di velocità di taglio, avanzamento per giro ed avanzamento radiale per il pre-setting dei bareni.
Data la nuova sequenza del ciclo di foratura è stato stilato l'ordine d'acquisto del nuovo parco utensili, che conta complessivamente 12 utensili, assieme ad i componenti necessari per gestirne la manutenzione pari a 12580€; inoltre, mediante il tool online CoroPlus ToolGuide di Sandvik Coromant è stato possibile stimare la durata di vita utile degli utensili e quindi il relativo numero di fori eseguibile prima della loro sostituzione.

In ultima analisi, sono state valutate le alternative che permetterebbero al nuovo ciclo di foratura di essere eseguito in maniera automatica in modo da essere svincolato dalla presenza dell'operatore a bordo macchina.
L'alternativa individuata è un'innovativa tipologia di testa di foratura sulla quale hanno sede fino a sei gruppi mandrini e dotata di una propria motorizzazione che gestisce autonomamente il cambio utensili con avanzamento angolare caratterizzato da elevati livelli di accuratezza e ripetibilità idonei per il processo di precisione in esame.
Sulla base delle informazioni tecniche in termini di coppia, potenza e velocità di taglio richieste nel nuovo ciclo è stato scelto il modello idoneo ed è stato stilato il setup dettagliato della torretta a revolver per le differenti tipologie di fori da realizzare, il cui costo complessivo è pari a 23800€.
La torretta, infatti, può facilmente essere interconnessa con un unità di governo o CNC al fine di poterla programmare per la realizzazione della sequenza di taglio richiesta.

Il setup ha evidenziato come tale soluzione garantisce l'automatizzazione del processo per gran parte delle serie di indexer con la possibilità di poter far uso anche di un tastatore in una delle sei posizione della torretta in ausilio alle operazioni preliminari di centraggio della torretta sul divisore o per eseguire il controllo dimensionale dei fori al temine del processo di foratura mediante un'idonea programmazione del suo ciclo di lavoro.
Nel caso di forature con diametri maggiori, per i quali i volumi di produzione sono minimi, è, invece, necessario l'intervento dell'operatore per sostituire gli utensili o per modificare il pre-setting dei bareni; al contrario del ciclo attuale ciò non presuppone la presenza di un operatore specializzato grazie ad un'opportuna interfaccia che ne guida la procedura di scambio.
La conversione del ciclo attuale in uno completamente automatico non può trovare sede presso la macchina utensile tradizionale impiegata attualmente in officina e per tale ragione è stato valutato l'investimento relativo ad un intervento di retrofit. L'analisi svolta ha evidenziato l'ingente costo di investimento pari a 100000€ necessario per eseguire una completa revisione dei componenti meccanici ed il montaggio di nuovi dispositivi di trasduzione da poter integrare con una nuova unità di governo in grado di poter coordinare ogni singola operazione.
Una seconda alternativa ha definito i costi di investimento necessari per la progettazione ed il montaggio di un nuovo centro di lavoro CNC sul quale poter integrare il processo di foratura completo. Il costo complessivo dell'investimento è stato calcolato e pari a più di 90000€.
Mentre, la soluzione più plausibile è relativa al trasferimento del ciclo di foratura di precisione delle torrette presso il centro di lavoro CNC CB Ferrari a 5 assi presente in officina, il quale possiede già le specifiche tecniche in termini di potenza, coppia e velocità richieste dal nuovo ciclo.
Sul piano dei costi è anche la soluzione più conveniente in quanto richiede l'acquisto di un nuovo divisore ad alta precisione angolare ed una revisione dei componenti meccanici e del circuito di lubrificazione.
Su di esso è necessario il montaggio della torretta a revolver e la relativa programmazione tramite interfaccia.

Le analisi e le valutazioni eseguite in relazione al ciclo di foratura di precisione possono garantire maggiori livelli di produttività ed efficienza lungo la linea produttiva degli indexer già nel breve termine dapprima dell'effettiva conversione in un ciclo completamente automatico.
Il test di sgrossatura con l'utensile a cuspide intercambiabile, infatti, ha dimostrato oggettivamente come il parco utensile attuale sia obsoleto e poco efficiente, ma garantirebbe maggiori performance anche se fosse fin da subito adoperato a bordo della fresatrice tradizionale.
Nel lungo periodo, invece, l'azienda potrebbe trarre vantaggio anche nell'economia del processo in quanto la maggior efficienza e la drastica riduzione del tempo ciclo le permetterebbe di poter ridurre i costi di produzione e, quindi, i prezzi di vendita sul mercato dei globoidal indexer riuscendo così a vincere la concorrenza dei competitor.
L'automatizzazione del processo, inoltre, dovrebbe essere accompagnata da una logistica interna in grado di programmare una schedule di foratura che permetta all'azienda di dotarsi internamente di un magazzino-torrette, attualmente assente, differenziato in termini di materiale e numero di fori al fine di ridurre i tempi di consegna dei prodotti al cliente.

Bibliografia e sitografia

- https://www.italplant.com/it/
- https://www.nikken-world.it/
- https://www.sandvik.coromant.com/
- https://diatool.de/en/
- https://www.uvat.it/
- https://www.omgnet.eu/omg-home
- https://www.euromagroup.it/