



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

---

**Implementazione di un sistema di  
preventivazione rapida nel settore della  
meccanica di precisione**

***Implementing a rapid costing system in the  
industry of precision machining***

Relatore:

*Prof. Michele Germani*

Tesi di laurea di:

Valerio Monti

Correlatore:

*Prof. Marco Mandolini*

Tutor Aziendale:

*Ing. Stefano Zannini*

---

**Anno Accademico 2021-2022**

# I. Sommario

<b>I. Sommario</b>	<b>i</b>
<b>II. Elenco delle figure</b>	<b>iii</b>
<b>III. Elenco delle tabelle</b>	<b>v</b>
<b>IV. Abstract</b>	<b>1</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2 Stato dell'arte</b>	<b>7</b>
<b>2.1 L'azienda e la Vision</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Industria 4.0</b>	<b>10</b>
<b>2.3 La prototipazione a servizio della progettazione</b>	<b>13</b>
2.3.1 Le tecniche di prototipazione rapida	16
<b>2.4 Il reparto</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Il portale web e i competitors</b>	<b>23</b>
2.5.1 La Model-based-definition	25
2.5.2 La preventivazione	28
2.5.3 La preventivazione rapida	34
2.5.4 Computer-aided-manufacturing	36
<b>3 Metodo</b>	<b>38</b>
<b>3.1 LeanCOST per la tornitura</b>	<b>39</b>
3.1.1 Analisi Automatica	44
3.1.2 Analisi Manuale	51
3.1.3 Modifica di database e logiche	53
<b>3.2 Esprit CAM per la tornitura</b>	<b>62</b>
3.2.1 Programmazione CAM di torni a fantina mobile	63
3.2.2 Creazione di macro per ESPRIT 2000	77
3.2.3 Modifica Post-processor per M32	90
<b>4 Casi di studio</b>	<b>96</b>
<b>4.1 Casi di studio LeanCOST</b>	<b>96</b>
4.1.1 Pezzo campione 01	96
4.1.2 Pezzo campione 02	98
4.1.3 Pezzo campione 03	100
4.1.4 Pezzo campione 04	102

4.1.5 Pezzo campione 05	104
4.2 Caso di studio Esprit CAM	105
<b>5 Risultati e discussione</b>	<b>107</b>
5.1 Confronto con i competitors	110
<b>6 Conclusioni</b>	<b>113</b>

## II. Elenco delle figure

Figura 2.1 - Zannini s.p.a sede centrale, Castelfidardo .....	8
Figura 2.2 - Tornio a fantina mobile Cincom L20.....	20
Figura 2.3 - Fresatrice verticale Haas VF2SS.....	22
Figura 3.1 - Tavola Pezzo Campione 01 .....	40
Figura 3.2 - LeanCOST, finestra Proprietà. ....	42
Figura 3.3 - LeanCOST, finestra tolleranze e rugosità generali.....	42
Figura 3.4 - LeanCOST, finestra tolleranze specifiche. ....	43
Figura 3.5 - LeanCOST, finestra rugosità specifiche. ....	44
Figura 3.6 - LeanCOST, finestra materia prima, gestione sovrametalli. ....	45
Figura 3.7 - LeanCOST, finestra materia prima.....	46
Figura 3.8 - LeanCOST, finestra lavorazioni, fase 1.....	47
Figura 3.9 - LeanCOST, finestra parametri operazione di gola cilindrica esterna.....	48
Figura 3.10 - LeanCOST, finestra parametri operazione di foratura assiale profonda. ....	49
Figura 3.11 - LeanCOST, finestra lavorazioni, fase 2. ....	50
Figura 3.12 - LeanCOST, tempo ciclo pezzo di esempio. ....	51
Figura 3.13 - LeanCOST, modifica materia prima. ....	52
Figura 3.14 - LeanCOST, tab Amministratore. ....	53
Figura 3.15 - LeanCOST, gestore materie prime. ....	54
Figura 3.16 - LeanCOST, finestra aggiunta materia prima. ....	55
Figura 3.17 - LeanCOST, gestore macchine.....	56
Figura 3.18 - LeanCOST, modifica parametri macchina. ....	57
Figura 3.19 - LeanCOST, modifica parametri macchina, tab Parameters. ....	58
Figura 3.20 - LeanCOST, Database Manager, parametri di taglio. ....	60
Figura 3.21 - LeanCOST, Database Manager, parametri di taglio modificati. ....	60
Figura 3.22 - Tavola caso di studio Esprit. ....	64
Figura 3.23 - Cinematica Cincom M32 VIII.....	65
Figura 3.24 - Cincom M32, torretta.....	65
Figura 3.25 - Esprit, finestra Setup Macchina, tab Assemblaggio.....	67
Figura 3.26 - Esprit, finestra Setup Macchina, tab Generale. ....	68

Figura 3.27 - Esprit, finestra Solidi di Simulazione.....	69
Figura 3.28 - Esprit, tab aggiunta di un nuovo utensile.....	71
Figura 3.29 - Esprit, aggiunta operazione di tornitura esterna, tab "Generale".....	73
Figura 3.30 - Esprit, aggiunta operazione di tornitura esterna, tab "Strategia".....	74
Figura 3.31 - Esprit, aggiunta operazione di tornitura esterna, tab "Sgrossatura".....	75
Figura 3.32 - Esprit Macro, Setup Iniziale.....	78
Figura 3.33 - Esprit, livelli.....	80
Figura 3.34 - Esprit Macro, generatore utensili, EcoCut.....	81
Figura 3.35 - Codifica ISO inserti per tornitura esterna.....	83
Figura 3.36 - Codifica ISO utensili da tornitura esterna.....	84
Figura 3.37 - Esprit Macro, generatore utensili ISO.....	85
Figura 3.38 - Esprit Macro, opzioni post-processing.....	89
Figura 3.39 - Post-processor, disattivazione controllo collisioni.....	93
Figura 3.40 - Post-processor, personalizzazione codici per refrigerante.....	94
Figura 3.41 - Post-processor, cancellazione schemi di lavoro.....	95
Figura 4.1 - Tavola pezzo campione 1.....	96
Figura 4.2 - Tavola pezzo campione 2.....	98
Figura 4.3 - Tavola pezzo campione 3.....	100
Figura 4.4 - Tavola pezzo campione 4.....	102
Figura 4.5 - Tavola pezzo campione 5.....	104
Figura 4.6 - Tavola pezzo campione Esprit.....	105

### III. Elenco delle tabelle

Tabella 4.2.1 - Confronto risultati prima e dopo modifica database. ....	107
Tabella 4.2.2 - Confronto risultati dopo modifica database, seconda fase disattivata. ....	108
Tabella 5.1.1 - Confronto con i competitors. ....	111
Tabella 5.1.2 - Confronto con i competitors. ....	111
Tabella 9.3.1 Tabella di prova. ....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

## IV. Abstract

In questo lavoro di tesi si sviluppano di strumenti essenziali per la costruzione di un nuovo reparto all'interno dell'azienda, Zannini s.p.a., rivolto alla produzione e alla prototipazione rapide. Gli strumenti introdotti hanno lo scopo di supportare e ottimizzare due fasi molto importanti del processo di produzione, ovvero la preventivazione del costo del prodotto e la programmazione delle macchine utensili su cui esso sarà realizzato. Si indagano inizialmente le performance del software di preventivazione automatica, LeanCOST, per individuarne punti di forza e criticità. Per questo si analizzano dei pezzi campione provenienti dal pool produttivo aziendale e si confrontano i risultati ottenuti dal preventivatore automatico con i consuntivi. Dai primi test emergono discrepanza sostanziali tra i due, che vengono dunque in parte colmate grazie alla modifica del database di lavorazioni, utensili e materiali a cui attinge il software. Questo porta in ultimo ad un netto miglioramento delle prestazioni dello strumento seppure necessiti ancora di modifiche a livello di logiche di attribuzione delle lavorazioni, non concesse dal tipo di licenza disponibile per questo studio. La fase successiva dello studio consiste nell'implementare delle modifiche al software per la programmazione delle macchine a controllo numerico, Esprit CAM. Queste vengono applicate con l'obiettivo di automatizzare, standardizzare e facilitare molte dei passi necessari alla programmazione. In ultimo, si procede a modificare alcune sezioni del post-processor della macchina presa in esame col fine di ottenere programmi macchina altamente prestanti, privi di errori, e personalizzati sulle esigenze aziendali.

In this thesis work, essential tools are developed for the construction of a new department within the company, Zannini s.p.a., aimed at rapid production and prototyping. The tools here introduced have the purpose of supporting and optimizing two very important phases of the production process, namely the estimation of the cost of a product and the programming of the machine tools on which it will be made. The performance of the automatic estimation software, LeanCOST, is initially investigated to identify its strengths and criticalities. For this reason, sample pieces from the company production pool are analyzed and the results obtained by the automatic estimator are compared with the final balances. From the first tests, substantial discrepancies emerge between the two, which are therefore partially filled thanks to the modification of the database of processes, tools and materials from which the software draws. This ultimately leads to a clear improvement in the performance of the instrument, even if it still requires modifications in terms of the operation attribution logic, not granted by the type of license available for this study. The next phase of the study consists in implementing changes to the software for programming numerical control machines, Esprit CAM. These are applied with the aim of automating, standardizing and facilitating many of the steps required for programming. Lastly, some sections of the post-processor of the machine under examination are modified in order to obtain highly performing machine programs, free of errors, and customized on the company's needs.



# 1 Introduzione

In questo lavoro di tesi, svolto in collaborazione con Zannini S.p.a. nella sede di Castelfidardo, ci si è occupati dell'introduzione e sviluppo di strumenti a supporto della produzione all'interno di un nuovo reparto nell'azienda dedicato alla produzione e prototipazione rapide. Questo reparto nasce in risposta all'evoluzione delle necessità dei clienti che, nel mercato attuale, si stanno spostando verso richieste di lotti sempre più ridotti, talvolta unitari come accade ad esempio nel mondo della prototipazione, e con lead-time sempre più stretti. Per poter soddisfare una domanda di questo tipo è necessario innanzitutto possedere macchine automatiche e flessibili; parallelamente a ciò è indispensabile disporre di strumenti che supportino e in parte automatizzino la preventivazione di prodotto e la pianificazione di processo. Lo scopo di questo studio è proprio quello di introdurre tali strumenti, plasmarli alle tecniche e metodologie aziendali al fine di ottenere una procedura snella, standardizzata ed efficace.

Gli strumenti presi in esame sono: il software LeanCOST per la preventivazione automatica o semi-automatica dei costi di prodotto; il software Esprit di computer-aided-manufacturing (CAM) a supporto della pianificazione di processo. Di questi si vuole valutare le performance, identificare le fonti di errori e/o inefficienze, adottare misure correttive volte ad eliminare tali inefficienze e migliorare affidabilità e ripetibilità del risultato. L'obiettivo a lungo termine è, invece, quello di realizzare una piattaforma online, che si avvalga di detti strumenti, per offrire al cliente preventivi istantanei e consegna dei prodotti finiti con lead-time ridotti al minimo.

Nel reparto è previsto l'impiego di un tornio a controllo numerico, una fresatrice verticale a controllo numerico e un centro di lavoro. Tuttavia, al tempo del presente studio si ha disponibilità solo del primo e su questo sarà condotta l'intera analisi. In prima fase è necessario l'affiancamento agli attrezzisti e ingegneri aziendali per fondare le conoscenze di base riguardo il mondo della tornitura e della meccanica di precisione, coprendo tematiche quali: procedure di attrezzaggio delle macchine; lettura ed interpretazione di disegni meccanici; materiali, utensili e scelta dei parametri di taglio; strategie e tecniche di lavorazione in funzione delle caratteristiche geometriche della parte e nel rispetto delle prescrizioni di tolleranza e rugosità; programmazione di torni a controllo numerico; tecniche e strumenti di misura; costificazione di prodotto.

Poste le basi meccaniche sul processo, ci si addentra nello studio del software di preventivazione LeanCOST, grazie alla formazione a cura del Prof. Mandolini Marco. Appresi il corretto utilizzo del software e le funzioni che esso offre, si procede alla fase di valutazione vera e propria delle performance del motore di preventivazione automatica. Per condurre questa valutazione si costruisce un campione di pezzi provenienti dal pool produttivo dell'azienda, per i quali siano ben noti processo, parametri e costi al consuntivo: proprio quest'ultimo sarà quindi usato come termine di paragone per la valutazione.

Perché dal test emergano tutte le criticità del software, si analizzano innanzitutto manualmente i costi e tempi per i pezzi campione utilizzando il software come supporto all'analisi: a parità di parametri di processo, uno scostamento positivo tra il preventivo manuale e il consuntivo potrebbe indicare una sovrastima di alcune componenti di prezzo, oppure, come si è potuto constatare, un limite nel livello di personalizzazione di determinati componenti del programma; al contrario, uno scostamento negativo indica una sottostima di alcune voci di costo, o la mancanza di lavorazioni specifiche.

Lo step successivo dell'analisi prevede, invece, di utilizzare LeanCOST nella modalità di preventivazione automatica, in cui sarà il software a definire il grezzo, gli utensili, i parametri di taglio, le lavorazioni e il loro sequenziamento a partire dalla geometria del pezzo e indicazioni su materiale, tolleranze e rugosità. In questo caso le variabili che potrebbero essere fonte di errore nel costo finale sono molte e vanno dunque indagate singolarmente entrando nel dettaglio del singolo preventivo. Da questo test è emerso che il software sovrastima consistentemente il costo del prodotto e le cause di questo sono numerose: sovrastima dei sovrametalli; scelta di lavorazioni non opportune o superflue; riconoscimento errato di alcune feature di lavorazione; parametri di taglio non allineati agli usi aziendali; organizzazione in fasi delle operazioni spesso non ottimale.

I risultati ottenuti forniscono una lista di punti di intervento per migliorare il risultato fornito dal software. Occorre agire su ciascuno, attraverso gli strumenti di personalizzazione forniti dal software, quali: gestore delle materie prime; gestore degli utensili; gestore delle macchine; database manager. Si vedrà nel seguito come utilizzare questi strumenti e quale effetto abbiano le modifiche pianificate. Con la tipologia di licenza disponibile per questo studio è possibile modificare solo una parte degli elementi previsti, ciò nonostante si sono ottenuti considerevoli miglioramenti dell'accuratezza del risultato.

La fase finale dello studio su LeanCOST consiste nel confrontare i risultati della preventivazione automatica, prima e dopo la personalizzazione, con i motori di preventivazione offerti online dai competitors, quali Xometry, Weerg, Protolabs e Hubs. Questo fornisce una prospettiva diversa sul risultato, dove, piuttosto che paragonare il software al lavoro di un umano, lo si confronta con i suoi simili. In questo contesto le performance di LeanCOST sono piuttosto promettenti, soprattutto in seguito alla sua personalizzazione.

La seconda parte dello studio è incentrata sul software Esprit CAM che supporta la programmazione delle macchine a controllo numerico. In particolare, dopo la dovuta formazione sul software a cura dell'azienda, si scompone il processo di programmazione andando ad identificare le cause di inefficienza e, tra queste, dei candidati all'automazione. Per garantire efficienza, automazione e standardizzazione si realizzano delle macro ad-hoc, sfruttando il componente VBA (Visual Basic for Applications): queste puntano a ridurre il numero di passaggi da eseguire ad esempio per definire il grezzo di partenza, o le caratteristiche degli utensili, nonché personalizzare il codice di uscita; di queste, tutte le procedure ripetitive verranno svolte in automatico per ridurre il carico sull'utente, nonché l'insorgenza di errore umano. Con le modifiche apportate si vogliono abbattere drasticamente i tempi di programmazione della parte e standardizzare molti degli step del processo, con l'obiettivo ultimo di ridurre il lavoro richiesto all'utente quanto più possibile.

L'ultima parte dello studio su Esprit si incentra sul post-processor utilizzato da Esprit per le macchine di interesse. Questo si occupa di tradurre le richieste dell'utente in "linguaggio macchina" ed è dunque specifico per la singola macchina. Si esegue un reverse-engineering di questo componente per comprendere come esso è costruito, per poter poi apportare modifiche efficaci ed in modo non distruttivo. Ciò si rende necessario per aggiungere funzioni mancanti e correggere eventuali errori emersi in fase di test a bordo macchina. L'implementazione di queste modifiche vuole produrre un post-processing affidabile e ripetibile, nonché completo delle funzioni comunemente utilizzate dagli attrezzisti aziendali.

## 2 Stato dell'arte

### 2.1 L'azienda e la Vision

Il Gruppo Zannini è un insieme di realtà produttive specializzato nella realizzazione di parti tornite e componenti meccanici di precisione, con elevato livello di automazione. Il parco macchine aziendale è infatti composto di torni automatici a controllo numerico dotati dai quattro ai dieci assi controllati, mono e pluri-mandrino, che possono lavorare diametri da 1mm fino a 65mm, tutti equipaggiati con caricatori di barra automatici. Oltre a questo, Zannini offre anche processi secondari, alcuni dei quali rettifica, brocciatura, punzonatura, taglio, piegatura, nonché trattamenti termici (tempra, cementazione, carbo-nitrurazione, ecc.) e superficiali (cromatura, nichelatura, zincatura, ramatura, ecc.).



*Figura 2.1 - Zannini s.p.a sede centrale, Castelfidardo*

Zannini vanta una clientela proveniente da diverse parti del mondo tra cui Francia, Stati Uniti, Germania, Polonia, Svezia, Sud America e Slovacchia. In virtù della vasta offerta, l'azienda realizza componenti per svariati settori industriali, quali: automotive, valvole, idraulica, oleodinamica, pneumatica, meccatronica, elettronica ed elettrodomestici.

La mission dell'azienda è quella di espandere ulteriormente la sua clientela, coprendo più parti del mondo, e diventare per questa il fornitore centrale. Per far ciò occorre andare incontro alle esigenze in continua evoluzione del cliente, l'azienda deve quindi ampliare la propria offerta introducendo nuove tecnologie e ammodernando quelle esistenti. È chiaro allora come si renda indispensabile l'adozione di tecniche dell'industria 4.0 che sono in grado non solo di rendere più efficienti le tecnologie presenti, in ambito produttivo e non, ma soprattutto di aprire nuovi orizzonti e opportunità di mercato.

Da anni l'azienda collabora con l'Università Politecnica delle Marche offrendo continuamente opportunità di studio agli studenti, che possono essere coinvolti attivamente in progetti di studio di processi specifici, nel miglioramento di tecnologie esistenti o nell'introduzione di nuove, negli ambiti della produzione o del controllo qualità, e sono solo alcuni dei progetti possibili.

Nel progetto di tesi corrente si è operato proprio nell'introduzione di strumenti appartenenti ad un ambito in particolare dell'industria 4.0 che è quello della produzione e prototipazione rapida. Questa rappresenta la risposta più concreta all'attuale evoluzione delle necessità di mercato che si stanno man mano spostando sulla richiesta di lotti sempre più piccoli, talvolta unitari, di una varietà importante di componenti, per cui si renderà indispensabile abbattere i tempi di tutte le attività che intercorrono tra la ricezione dell'ordine del cliente e la messa in produzione dell'oggetto. Tale cambiamento sarà evidente in particolare nel mercato dell'automotive, fetta importante della clientela aziendale, a causa dell'incombente affermazione del motore elettrico a discapito di quello termico. Si prevede infatti che in Italia il motore elettrico soppianderà completamente quello termico entro la fine del 2035. In parallelo cresce sempre di più l'interesse dei clienti nel poter usufruire di servizi che gli permettano di sviluppare i propri prodotti nel minor tempo possibile, fattore essenziale in un mercato così competitivo. Una fase importante dello sviluppo di un prodotto è, infatti, la prototipazione, grazie alla quale si può verificare in fase preliminare la rispondenza del prodotto alle specifiche preventivate, così da poter intervenire su eventuali non conformità o migliorare ulteriormente i risultati già ottenuti. Questa è una fase necessaria ma al contempo onerosa in termini di costi e tempi. Qui intervengono le moderne tecniche di prototipazione rapida grazie alle quali si può offrire al cliente un prototipo, con caratteristiche molto prossime a quelle del prodotto finale, in tempi molto ridotti, soprattutto se paragonati alle tecniche produttive tradizionali.

In questa ottica nasce l'idea dell'azienda di realizzare un nuovo reparto produttivo che si occupi proprio della produzione e prototipazione rapida. Nel seguito se ne approfondiranno le caratteristiche e gli step necessari alla sua realizzazione.

## 2.2 Industria 4.0

Una evoluzione verso l'ambito della prototipazione rapida porterà per l'azienda un forte ammodernamento della produzione, introducendo nuove macchine, nuove tecniche produttive e sistemi di scambio dati all'interno e con l'esterno. Per raggiungere tali obiettivi si dovranno sposare molte delle strategie e tecnologie provenienti dal mondo dell'Industria 4.0, ma vediamo prima cosa si intende con questo termine e quali sono le sue caratteristiche fondamentali. Si parla di quarta rivoluzione industriale poiché si avrà una profonda evoluzione del sistema produttivo mondiale. L'industria 4.0 introduce nel sistema manifatturiero macchine intelligenti, interconnesse tra loro e a internet offrendo dunque una produzione digitalizzata, processi fluidi e sistemi di produzione moderni. Queste sono le cosiddette tecnologie abilitanti (KET, key enabling technology), che mettono in connessione tutti gli asset aziendali permettendo all'azienda di beneficiare di maggiore produttività e minori sprechi. Alcuni dei molti esempi di tecnologie abilitanti adottabili nelle aziende sono le seguenti:

- Robotica avanzata: macchinari interconnessi, controllabili da remoto e dotati di intelligenza artificiale che li rende autonomi e in grado affiancare la forza lavoro umana come un'unità di lavoro integrata. Compito di queste macchine intelligenti è anche quello di svolgere i lavori più semplici e ripetitivi.
- Manifattura additiva: stampa 3D e fabbricazione digitale aprono le porte alla possibilità di creare prodotti personalizzati e dalle forme complesse, con un notevole risparmio sull'utilizzo di materia prima e sui tempi di realizzazione di prototipi o varianti.
- Realtà aumentata: l'evoluzione della realtà virtuale che integra la realtà con diversi tipi di informazioni in tempo reale. L'obiettivo è semplificare l'attività dell'utente rendendo il lavoro anche più flessibile.



- Integrazione orizzontale/verticale: tutti gli step della catena del valore comunicano tra di loro grazie alle tecnologie interconnesse, permettendo di risparmiare tempi e costi lungo tutto il processo produttivo.
- Simulazione: possibilità di simulare nuovi processi relativi all'attività produttiva prima di metterli in pratica nella realtà, riducendo così i tempi di set up e aumentando la qualità del prodotto finale perché è possibile correggere il processo produttivo prima di avviarlo.
- Industrial IoT: oggetti intelligenti collegati a Internet che permettono un dialogo in tempo reale tra clienti, fornitori e produttori.
- Cloud: gestione di elevate quantità di dati direttamente in rete.
- Cybersecurity: operazioni in rete e sui sistemi in cloud rese sicure da protocolli standardizzati che garantiscono la riservatezza delle informazioni rilevanti per l'azienda.
- Big Data e Analytics: analisi di un'ampia gamma di dati per produrre in tempo reale informazioni utili per ottimizzare prodotti e processi produttivi.

Senza dubbio un uso corretto di tali tecniche può portare ad un incremento sostanziale della produttività aziendale. Questo grazie all'uso più efficiente delle risorse ottenuto tramite il monitoraggio in tempo reale della produzione, così da abbattere tempi di attrezzaggio, errori e fermi macchina. Inoltre un controllo così puntuale sulla produzione consente anche di migliorarne la flessibilità facilitando lo studio degli effetti di eventuali interventi e semplificandone l'introduzione. Perché ciò sia possibile è indispensabile che la gestione della conoscenza all'interno dell'azienda sia orientata sulla condivisione, non solo tra macchine ma anche tra persone, le informazioni devono essere accessibili in tempo reale da qualsiasi dispositivo all'interno dell'azienda. Il lavoro diventa così più collaborativo: linee di produzione, processi aziendali e reparti possono comunicare diffondendo le conoscenze anche in modo automatico, da macchina a macchina e da sistema a sistema. Questo si estende poi anche al cliente, che può ottenere un'esperienza migliore ricevendo informazioni molto più dettagliate e soprattutto affidabili sulle quantità e i prodotti disponibili, ma soprattutto sarà possibile acquisire un numero maggiore di ordini grazie ad un controllo molto efficace sulla capacità produttiva disponibile.

Le tecnologie dell'Industria 4.0 crescono in fretta e aiutano le aziende a essere più smart ed efficienti. Tuttavia, iniziare a utilizzare nuovi strumenti digitali non è sempre semplice e si possono incontrare delle difficoltà, le cosiddette barriere all'ingresso. Tra queste il primo ostacolo all'innovazione risiede nella difficoltà nel trovare e formare il personale in vari ambiti come interfaccia utente, data science e sviluppo software. La difficoltà nell'accesso alla tecnologia può derivare anche da persone non disposte a utilizzare nuovi strumenti e applicazioni digitali.

Non sono da trascurare inoltre le ben giustificate preoccupazioni sulla cyber security: l'integrazione online tra processi, sistemi e persone può portare a violazioni della sicurezza e fughe di dati. Il rischio non è legato solo ad attacchi informatici, ma anche a configurazioni errate e malfunzionamenti dei software o dei dispositivi che possono far interrompere le operazioni e la produzione.

Infine è chiaro che per poter ottenere risultati all'altezza delle aspettative, la transizione digitale deve riguardare l'azienda nella sua interezza, ci deve essere coerenza e consistenza. Ciò comporta quindi la necessità di introdurre un gran numero di strumenti, apparecchiature e personale formato, richiedendo un investimento decisamente consistente e spesso scoraggiante, soprattutto per le piccole aziende che intendono ammodernare il proprio sistema produttivo.

Molte delle tecniche sopra descritte verranno implementate nella realizzazione del reparto di produzione rapida, quali ad esempio: utilizzo di macchine intelligenti e connesse ad internet, simulazione e software a servizio della produzione, automazione; manifattura additiva e molto altro ancora.

## **2.3 La prototipazione a servizio della progettazione**

Dopo questa rapida introduzione al tema dell'industria 4.0 è chiaro che molte delle tecniche illustrate sopra dovranno essere adottate per poter offrire al cliente un servizio efficace di prototipazione rapida. Per comprendere a pieno l'importanza di tale servizio, è necessario innanzitutto avere una visione d'insieme sul processo di sviluppo di un prodotto, cioè quell'insieme di attività che si susseguono dal concepimento di un'idea alla commercializzazione del prodotto. L'efficienza ed efficacia di tali attività sono determinanti per il risultato aziendale. In particolare, ognuna di queste influenza il time to market, che rappresenta il fattore determinante per il successo di un prodotto. Un incremento di tale tempo rispetto a quanto previsto significa non solo che un competitor può raggiungere il cliente in anticipo, ma questo ritardo influisce anche sul volume di mercato che è possibile raggiungere.

Questo è particolarmente vero per prodotti unici nel loro genere, per i quali non si può rischiare di essere anticipati dai competitors. Inoltre, un lancio in ritardo di un prodotto, in un qualsiasi settore, può impattare negativamente sui ricavi poiché va a ridurre le finestre di opportunità sul mercato e c'è il rischio che il prodotto diventi obsoleto prima ancora di essere riusciti ad aggiudicarsi una fetta consistente del mercato target. Un altro esempio in cui il time to market deve essere ridotto al minimo è rappresentato da tutti i quei prodotti soggetti alla stagionalità, ai trend, alle novità. Questi sono solo alcuni degli esempi possibili, in realtà ciò si può estendere a quasi l'intera gamma del mercato moderno in cui regna un livello di competitività schiacciante. Perché il prodotto abbia successo è dunque indispensabile adottare strategie che abbattano i tempi di sviluppo. Per capire dove si può intervenire in tale senso si guardi dapprima il modello sequenziale di sviluppo del prodotto: si parla di modello stage-gate dove ogni attività è svolta soltanto dopo che quella immediatamente precedente è stata analizzata e convalidata. Si susseguono allora: l'idea, che dà origine all'intero progetto; l'analisi di fattibilità e pianificazione, in cui si verifica che l'idea di partenza sia effettivamente realizzabile e si delinea il percorso da intraprendere; conceptual design e pre-design, durante le quali si delineano le caratteristiche essenziali del prodotto, il cosiddetto concept; progettazione di dettaglio e sviluppo, in cui si passa dal concept ai disegni tecnici e piani di produzione; avvio della produzione e test. La natura sequenziale di queste attività fa sì che ognuna di esse sia una black box che comunica solo con l'attività successiva. Un modello di questo tipo è ormai obsoleto poiché molto chiuso e quindi più prone a fallire, o perché il prodotto finale non rispecchia le aspettative o si riscontrano problematiche di produzione in fase troppo avanzata o perché semplicemente anche una sola delle attività della sequenza ha subito un ritardo importante, ricadendo nuovamente nelle conseguenze negative relative all'incremento del time to market. Manca per l'appunto l'integrazione e la concorrenza tra le varie fasi: se la singola attività non rispetta i tempi, ne risulteranno ritardate tutte le successive, perché svolte in maniera sequenziale.

In un approccio più moderno ed efficiente, che è quello della concurrent engineering, progettazione di prodotto e di processo sono condotte in parallelo con mutuo scambio di informazioni. Più in particolare, l'approccio concorrente trova i suoi punti di forza nel: coinvolgere la design e supply chain nel processo di sviluppo, per garantire processi agili e flessibili; anticipare la fase di pianificazione del processo di produzione durante la progettazione, per la quale si rendono molto utili i prototipi; integrare le competenze intra ed inter aziendali; promuovere l'innovazione; applicare strategie di design for manufacturing, design for production, testing, assembly, etc..., in modo da prevedere in fase di progettazione tutte le possibili problematiche relative al ciclo di vita del prodotto.

Abbiamo visto che una delle principali caratteristiche della moderna concezione dello sviluppo di prodotto coinvolge l'implementazione di prototipi. In questo studio ci limiteremo a parlare di prototipi fisici, sebbene quelli virtuali coprano un ruolo importante nella progettazione moderna. Grazie ai prototipi fisici è possibile valutare svariati aspetti del proprio prodotto a seconda della fase in cui vengono impiegati: possono dare espressione alla forma preliminare dell'oggetto, il cosiddetto early-prototype, per apprezzarne aspetto estetico, ingombri e magari il peso; possono essere realizzati dei functional-prototypes per valutare il funzionamento dei cinematismi, o le caratteristiche meccaniche dell'oggetto se realizzati in materiale prossimo a quello finale; si possono realizzare riproduzioni isolate dei singoli componenti o dell'intero oggetto; possono aiutare a valutare ergonomia e comfort di utilizzo; possono essere presentati al cliente per ricevere feedback, in un approccio di participatory design; possono evidenziare le problematiche relative alla produzione in modo da anticiparle, ottimizzando le tecnologie e i processi con l'obiettivo ultimo di minimizzare tempi e costi di produzione; si possono realizzare dei late-prototypes, in fase quasi terminale dello studio, per apprezzare tutte le caratteristiche del prodotto finale.

### ***2.3.1 Le tecniche di prototipazione rapida***

Sebbene i prototipi siano uno strumento molto potente al servizio della progettazione, perché il loro impiego non intralci il progredire dello sviluppo è necessario poterli realizzare in tempi molto brevi e con costi contenuti. È proprio qui che entra in gioco la prototipazione rapida, anche detta rapid-prototyping. Con questo termine si indicano proprio tutte le tecniche industriali messe in gioco dal produttore per poter realizzare un prototipo fisico nel minor tempo possibile. La tecnologia più impiegata in questo campo è la stampa additiva che sfrutta l'aggiunta di materiale, contrariamente alle tecniche tradizionali che prevedono invece la sottrazione di materiale da un grezzo di partenza. È una tecnica di moderna concezione in grado di realizzare oggetti di forma qualsiasi senza soffrire delle limitazioni sulle geometrie realizzabili di cui soffrono quasi la totalità delle tecniche tradizionali: ad esempio la presenza di sottosquadri nella fonderia; la difficoltà e spesso impossibilità di ottenere pezzi prismatici con processi di tornitura o la scarsa convenienza nel realizzare parti assialsimmetriche su fresatrici, a prescindere che siano a controllo numerico o meno. Esistono diversi tipi di processi di stampa additiva, quelli più comunemente usati per la prototipazione rapida sono la modellazione a deposizione fusa (FDM), la stereolitografia (SLA), la sinterizzazione laser selettiva (SLS) e la sinterizzazione diretta a laser di polveri di metallo (DMLS).

La stampa 3D FDM crea parti fondendo ed estrudendo un filamento termoplastico, che viene poi depositato sull'area di stampa dall'ugello della stampante, strato per strato. Offre una risoluzione e una precisione inferiori rispetto ad altri processi di stampa in plastica e non è l'opzione più adatta per design complessi o parti con dettagli elaborati. Si possono ottenere delle finiture di alta qualità tramite processi di lucidatura meccanica e chimica. Alcune stampanti professionali usano supporti solubili per mitigare alcune di queste problematiche. Può essere impiegata una varietà di termoplastiche standard, come ABS, PLA e le loro miscele, ma le stampanti più avanzate offrono anche una vasta gamma di termoplastiche ingegneristiche e composti. Sebbene questa tecnica offra la possibilità di realizzare pezzi semplici a basso costo, essa si rende più adatta per la fabbricazione di modelli proof-of-concept in fasi preliminari della progettazione, questo per la scarsa risoluzione che offre e l'inadeguatezza a realizzare oggetti in materie metalliche.

Le stampanti SLA utilizzano un laser per polimerizzare resina liquida termoindurente, trasformandola in plastica indurita: questo processo viene chiamato fotopolimerizzazione. La stereolitografia è uno dei processi più apprezzati dai professionisti grazie all'alta risoluzione, alla precisione e al livello di finitura superficiale non ottenibile con le altre tecniche additive. Ciò fa sì che l'SLA sia la scelta preferenziale per la produzione di prototipi estetici ad alta fedeltà e i prototipi funzionali che richiedono tolleranze strette. Il suo impiego allora si sposta in fasi più avanzate dello sviluppo del prodotto, tuttavia con questa tecnica non si possono ottenere pezzi in materiale metallico.

La sinterizzazione laser selettiva (SLS) è la tecnologia di produzione additiva più comune per le applicazioni industriali, e ingegneri e produttori di diversi settori vi si affidano perché permette di realizzare prototipi robusti, funzionali e con caratteristiche meccaniche molto prossime a quelle del prodotto finale. Utilizzano un laser ad alta potenza per fondere piccole particelle di polvere di polimeri, ciò rende la sinterizzazione laser selettiva ideale per geometrie complesse che includono dettagli interni, sottosquadri, pareti sottili e dettagli in negativo. Nella prototipazione rapida, la stampa SLS viene usata principalmente per prototipi funzionali e ingegneristici, per condurre rigorosi test funzionali sul prodotto (ad esempio, condotti e staffe) e ottenere feedback concreto dai clienti. Il limite di questa tecnica risiede nelle dimensioni dell'oggetto finale, la scarsa finitura superficiale e l'incapacità di lavorare materiali metallici.

In ultimo, la DMLS utilizza un sistema laser che disegna sulla superficie di una polvere metallica atomizzata, fondendo la parte che successivamente si solidifica. Dopo ciascuno strato, una lama aggiunge un nuovo strato di polvere e ripete il processo fino alla formazione delle parti metalliche finali.

La DMLS permette di realizzare pezzi con proprietà meccaniche uguali o superiori a quelli costruiti con tecniche tradizionali, con un elevato grado di precisione ed un buon livello di dettaglio. Con leghe di alluminio, titanio, cromo cobalto, acciaio e nickel si possono costruire prototipi, componenti definitivi e produzioni di serie fino a un centinaio di pezzi. Simile a questa tecnica c'è poi la SLM che adopera la fusione della polvere metallica, al posto della sinterizzazione. I limiti di queste due tecnologie sono il costo della polvere metallica, le misure di sicurezza sul lavoro necessarie per l'uso di gas pericoloso quale l'argon, e il fatto che la qualità del prodotto finito dipende molto dalla polvere usata.

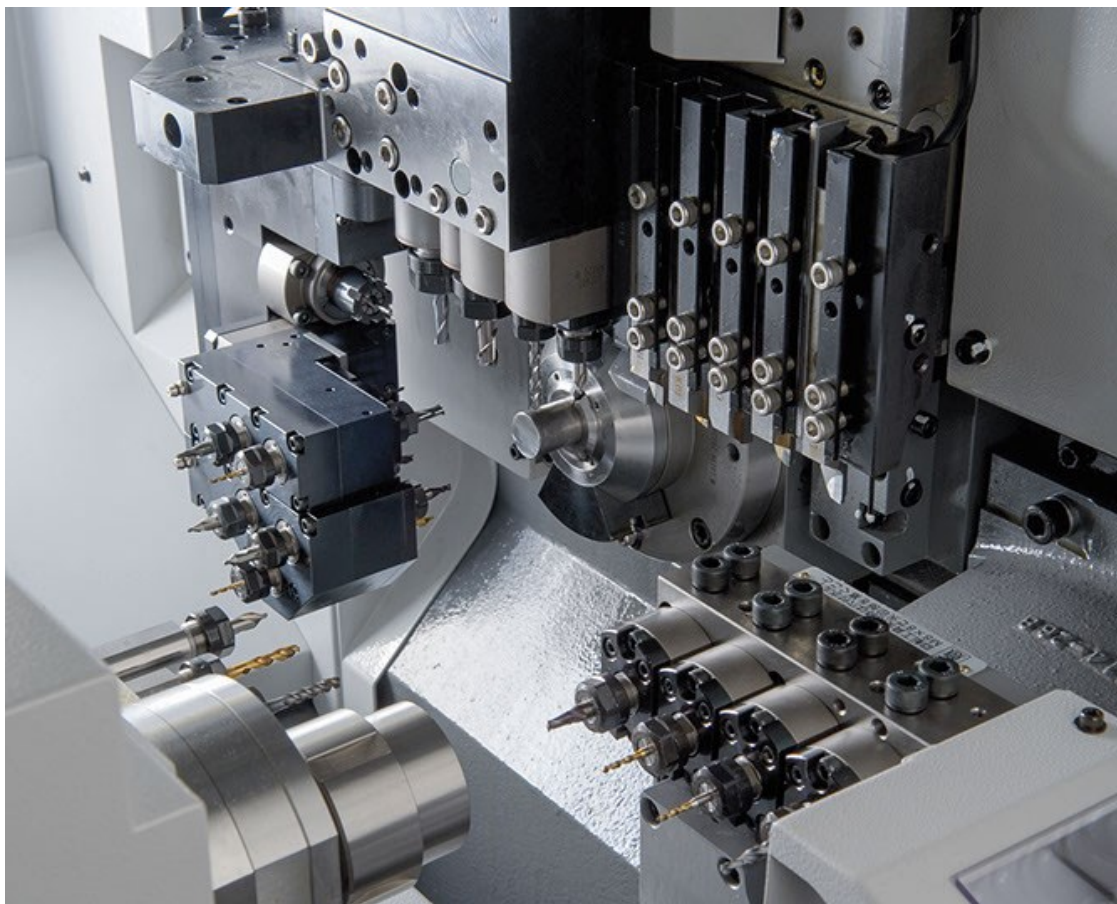


Avendo esplorato le principali tecniche di stampa additiva nei loro pregi e nei loro limiti risulta evidente che esse non siano attualmente in grado di sostituire le tecniche sottrattive in un reparto di prototipazione rapida completo. Questo perché, seppure la stampa additiva fornisca maggiore libertà sulla forma, la produzione sottrattiva brilla in tutti gli altri campi: più flessibilità sui materiali impiegabili, maggiori risoluzione e precisione, nonché possibilità di realizzare parti di dimensioni importanti.

## 2.4 Il reparto

Nel presente lavoro ci si concentrerà proprio sulle macchine ad asportazione di truciolo CNC, analizzando le caratteristiche delle varie tipologie disponibili all'interno di Zannini. Grazie all'affiancamento ad operatori e attrezzisti delle macchine Zannini si sono messe a punto le conoscenze necessarie riguardo il mondo della tornitura a controllo numerico, con particolare attenzione alla cinematica delle macchine, le operazioni eseguibili su ciascuna in base al numero di assi disponibili, le procedure di attrezzaggio e programmazione, la scelta di utensili e parametri di taglio sulla base delle caratteristiche del materiale da lavorare e le prestazioni della macchina su cui lo si lavora. Nel contempo è stato possibile conoscere più a fondo la produzione aziendale.

Analizzando il parco macchine aziendale si incontrano quasi interamente centri di tornitura, di cui la fetta più grande è coperta da torni CNC a fantina mobile cui caratteristica fondamentale è che il pezzo possiede moto lungo il proprio asse, mentre nei torni tradizionali sono gli utensili a muoversi lungo tale asse. Questo fa sì che su fantina mobile si possano realizzare pezzi con un rapporto tra lunghezza e diametro elevato pur mantenendo tolleranze molto strette. Torni di questo genere sono particolarmente adatti alla produzione di lotti medio-grandi di pezzi di piccole dimensioni. La presenza di unità di controllo computerizzato li rende molto flessibili, la cinematica a fantina mobile impone però attrezzaggi più onerosi rispetto alla controparte con testa fissa.



*Figura 2.2 - Tornio a fantina mobile Cincom L20*

L'attrezzaggio consiste, a grandi linee, nello: scegliere ed installare la corretta pinza del mandrino principale in funzione del diametro della barra da lavorare; scegliere ed installare la corretta pinza del contromandrino in funzione di quello che sarà il diametro a cui verrà preso il pezzo durante riposizionamento; scelta e installazione dell'espulsore in funzione del diametro del pezzo con cui entrerà in contatto l'espulsore; scarico dalla macchina degli utensili e portautensili non necessari per il pezzo corrente; settaggio della coppia di serraggio del pezzo su mandrino principale e contromandrino; installazione portautensili e utensili adeguati al pezzo da realizzare; scrittura del programma macchina e test su primi pezzi.

È chiaro allora come la fantina mobile non sia la migliore opzione nel caso in cui si voglia fare prototipazione rapida, per la quale è invece indispensabile ridurre al minimo i tempi di setup. Ci sono tuttavia delle strategie che si possono adottare per rendere l'attrezzaggio più rapido, prima tra tutti caricare pezzi quanto più simili a quello precedentemente presente in macchina in quanto a feature da realizzare, materiale e dimensioni della parte: se si desidera caricare un pezzo con stesso diametro di barra non sarà necessario intervenire sul caricatore di barra e sulla pinza della fantina; potrebbe rendersi superfluo sostituire la pinza del contromandrino e l'espulsore, con un buon guadagno in termini di tempo in caso affermativo; utilizzare utensili versatili e adatti a tagliare diversi tipi di materiale così da minimizzare la necessità di usare portautensili diversi; si rende comunque indispensabile regolare manualmente le coppie di serraggio ai mandrini perché fortemente dipendenti dalle dimensioni della barra e dal materiale di cui essa è costituita. In tal senso è evidente il vantaggio che si avrebbe adottando tecniche della Group Technology per organizzare la produzione con la massima efficienza; di questa tematica si lascia soltanto un indizio e non verrà approfondita nel seguito perché di scarso interesse specifico. Nonostante gli accorgimenti sopra, i tempi di attrezzaggio risultano comunque molto consistenti, costituiranno dunque una delle voci di costo prevalenti del pezzo finale. Inoltre, un tornio consente in generale di lavorare soltanto pezzi che abbiano geometria fondamentale di tipo assialsimmetrico. D'altro canto i torni a fantina mobile sono molto versatili, possiedono tipicamente molti assi e consentono numerose lavorazioni mantenendo tolleranze molto strette.

Nonostante le sue limitazioni, il tornio a fantina mobile sarà oggetto di questo studio in quanto farà parte del parco macchine dedicato alla prototipazione rapida. Questo perché il suo utilizzo può risultare conveniente nel caso si debbano realizzare componenti assialsimmetrici di piccole dimensioni e per i quali siano richieste tolleranze molto strette, a maggior ragione se la dimensione del lotto da realizzare è consistente.

L'altra tipologia di macchine di interesse per la costruzione del reparto sono i centri di lavoro, macchine a controllo numerico che combinano tornitura e fresatura per generare pezzi di geometrie decisamente complesse. Questi sono generalmente dotati di un magazzino utensili interno alla macchina da cui attingere per eseguire il cambio utensile automaticamente. Sebbene i centri di lavoro richiedano tempi di programmazione generalmente più lunghi rispetto ai torni, essi necessitano di attrezzaggi meno onerosi. Nel suo percorso verso la prototipazione rapida, Zannini ha deciso di investire proprio su questa tecnologia, acquisendo in particolare una fresatrice verticale a quattro assi, a controllo numerico, e un centro di lavoro.



*Figura 2.3 - Fresatrice verticale Haas VF2SS*

Il primo costituirà già un ampliamento importante delle capacità produttive dell'azienda che potrà aggiungere la fresatura alla sua offerta. Il secondo, invece, consentirà di esplorare il livello successivo che combina lavorazioni di tornitura e fresatura, talvolta simultanee, a generare pezzi di geometrie prima inottenibili. È inoltre prevista una futura introduzione di tecnologie di stampa additiva così da massimizzare la flessibilità del reparto di prototipazione; potrebbe essere ad esempio una macchina ibrida capace di aggiungere e sottrarre materiale nel medesimo setup. L'obiettivo, infatti, è quello di sviluppare un intero reparto di macchine dedicate alla prototipazione rapida. Perché l'introduzione di questo servizio sul mercato abbia successo, diversi elementi devono essere messi a punto: innanzitutto è necessario definire quali macchine saranno dedicate al reparto e assegnare personale formato e specializzato; vanno adottate misure per ottimizzare le procedure di attrezzaggio delle macchine, soprattutto per i torni a fantina mobile, in modo da renderle il più flessibili possibile; vanno implementati e perfezionati tutti gli strumenti necessari a gestire l'intero processo produttivo, dalla ricezione dell'ordine alla consegna del prodotto; si devono eseguire test sul risultato e sui consumi per poter nel tempo ottimizzare l'intero processo; in ultimo, ma non meno importante, è necessario rendere il servizio appetibile per il potenziale cliente, offrendo un servizio facile da usare, affidabile e esteticamente piacevole.

## **2.5 Il portale web e i competitors**

Il focus dello studio corrente è quello di definire ed introdurre nell'azienda gli strumenti necessari alla messa in opera e successiva gestione del reparto, ma lo si farà con una metodologia che possa soddisfare anche l'ultimo dei punti sopra: rendere il servizio appetibile, visibile e fruibile da remoto.

È proprio con questo obiettivo in mente che è stata concepita l'idea di realizzare un portale web dedicato. Questo costituirà un'interfaccia col cliente a cui poter accedere da qualsiasi parte del mondo. La comunicazione diretta permetterà di ricevere informazioni dettagliate sul prodotto da realizzare; queste verranno analizzate ed elaborate per restituire tempestivamente al cliente informazioni su fattibilità, costo e tempi di consegna del prodotto.

In realtà questa non è un'idea esclusiva, in rete sono numerosi i produttori che offrono questo tipo di servizio. Tra i primi risultati che si ottengono da una ricerca web compaiono produttori come: Xometry, azienda tedesca che offre processi di stampa additiva, asportazione di truciolo CNC, taglio e piegatura di lamiera, stampaggio a iniezione rapida; Quickparts, azienda statunitense che possiede tecnologie di stampa additiva, stampaggio a iniezione, asportazione di truciolo CNC, lavorazione di lamiera e anche processi di fonderia; Weerg, azienda italiana che offre stampa additiva e asportazione di truciolo CNC; Protolabs, che offre stampa 3D, asportazione di truciolo CNC e stampaggio a iniezione. Quello che tutti hanno in comune è la possibilità di ricevere un preventivo online quasi istantaneo. Chiaramente gli algoritmi utilizzati non sono noti, alcuni sono proprietari, altri usano software commerciali. Ciò nonostante questi siti possono essere utilizzati come termine di paragone per valutare i risultati che si otterranno nel seguito, a prescindere dall'algoritmo utilizzato.

Vediamo allora quali sono gli elementi costitutivi del portale, seguendo la catena delle informazioni.

### ***2.5.1 La Model-based-definition***

Il portale web è solo una parte degli strumenti necessari all'intero processo, esso è in essenza una facciata, una vetrina con cui raggiungere e scaturire interesse nel potenziale cliente. Il vero processo inizia al momento della ricezione delle informazioni dettagliate sulla parte da produrre, provenienti dal cliente. La forma nella quale si otterranno le informazioni è però un punto molto importante. Ci sono diverse opzioni, ad esempio si potrebbe richiedere un disegno tecnico contenente informazioni sul materiale, tolleranze e finitura superficiale. È chiaro però come il disegno tecnico sia una forma di rappresentazione che poco si adatta ad essere analizzata in maniera automatica da parte di un software.

Le tecniche moderne di modellazione della parte ricorrono invece alla cosiddetta *model-based-definition*, cioè l'impiego di modelli virtuali tridimensionali generati con software CAD (computer-aided design) come mezzo per la definizione di un componente o assieme. Il file della parte, oltre a contenere il modello tridimensionale del pezzo, ingloba le caratteristiche geometriche, tolleranze, materiali, BOM, ecc. I software impiegati nel portale potranno allora attingere a tutte queste informazioni in totale autonomia dopo aver semplicemente caricato il file della parte sul server che ospita il portale web. Tuttavia è opportuno precisare che il formato del file della parte sarà diverso a seconda del software che è stato impiegato per generarlo; in generale si potrebbe affermare che ogni software adopera un formato proprietario, tuttavia molti permettono di utilizzare formati generici che facilitano la compatibilità e interoperabilità con altri software. Prima di motivare la scelta di un particolare standard di formato per il progetto corrente è necessario chiarire il concetto di interoperabilità. Con essa si intende la capacità di un software o di un sistema di interagire con altri prodotti o sistemi, senza restrizioni di accesso. In particolare si definiscono: interoperabilità orizzontale, che riguarda programmi di uno stesso tipo ma di produttori diversi e determina la possibilità di importare ed esportare i principali formati CAD diversi dal proprio e quindi di leggere file provenienti da altri software CAD; interoperabilità verticale, che riguarda programmi complementari tra loro, ma necessari in uno stesso processo produttivo, come possono essere un software CAD e il software di preventivazione come anche quello di Computer-Aided-Manufacturing (CAM) per le macchine utensili CNC. Quest'ultimo punto è chiaramente il più importante nel contesto attuale perché sia possibile lo scambio di informazioni tra i vari software dedicati al portale. Vediamo allora in che modo si possa ottenere l'interoperabilità tanto ricercata.



Una prima soluzione è quella della interoperabilità nativa, che è sicuramente la scelta più semplice ed affidabile. Questa si ha quando un software permette di aprire direttamente un file di altro formato senza necessità di convertirlo, evitando perdita di dati e i tempi di conversione. Purtroppo questo tipo di interoperabilità non è sempre possibile in quanto i formati CAD sono spesso proprietari, quindi il grado di comunicazione dipende anche dagli specifici accordi tecnico-commerciali fra le case madri. In tal caso le strade possibili sono due: adoperare trasduttori CAD, che sono software di terze parti per tradurre un file da un formato all'altro, con il rischio però di perdita di dati o, peggio, corruzione del contenuto; l'altra soluzione, sicuramente la preferibile, è l'utilizzo di formati cosiddetti neutri, che sono supportati da entrambi i software e fanno da ponte. Anche in quest'ultimo caso, però, è possibile la perdita dati e la corruzione, si rende allora fondamentale la scelta di un formato che sia espressamente dichiarato come supportato interamente da entrambe le parti.

Nel presente studio saranno implementati software provenienti da case madri differenti, che tuttavia supportano la compatibilità nativa con molti software CAD commerciali. Quando possibile si richiederà al cliente il file della parte in uno dei formati CAD compatibili nativamente con entrambi i software utilizzati. Tuttavia, potrebbe accadere che il cliente non possieda nessuno dei software CAD supportati: in tal caso si dovrà necessariamente utilizzare un formato neutro che sebbene riesca a comunicare la geometria della parte, le informazioni su tolleranze, lavorazioni, materiali e finitura andranno molto probabilmente perse, proprio per l'impiego dei formati neutri. Sarà allora necessario richiedere all'utente questi dati all'interno del portale stesso, sotto forma ad esempio di disegno tecnico. Tra queste, le informazioni di carattere generale come materiale, tolleranza generale e rugosità generale possono essere indirizzate direttamente al software di destinazione, mentre quelle di tipo specifico (cioè che si applicano a specifiche features del pezzo) non sarà possibile attribuirle alla parte e saranno dunque ignorate. Il lavoro che il software eseguirà in automatico sulla parte sarà allora parziale e dovrà essere integrato manualmente per includere i dettagli provenienti dal disegno tecnico.

Per aggirare questa limitazione legata all'uso di formati neutri una buona soluzione potrebbe essere quella di utilizzare un formato STEP che integri la funzionalità di PMI (product manufacturing information), come ad esempio lo standard AP242.

### ***2.5.2 La preventivazione***

Una volta ottenuto il file della parte nella forma opportuna, esso dovrà essere analizzato per poter generare un preventivo della parte. In questo stadio sono due le strade percorribili: analizzare manualmente il disegno tecnico avvalendosi di un software o foglio di calcolo a supporto del calcolo analitico del costo; oppure impiegare un software che sia in grado di riconoscere autonomamente le lavorazioni a partire dal modello virtuale del pezzo e stimarne il costo, si parla in quest'ultimo caso di preventivazione rapida. Analizziamo le due procedure, limitandoci al caso della tornitura.

La preventivazione manuale consiste di diverse fasi, spesso iterative e variabili a seconda delle preferenze e grado di esperienza dell'individuo che esegue l'analisi. A scopo illustrativo si propone una strategia di carattere generale per la definizione del costo di una fase di tornitura su tornio a fantina mobile CNC, ignorando per il momento altre fasi eventualmente previste per la parte come ad esempio controlli, pulizia del pezzo, trattamenti termici e/o superficiali.

L'analisi inizia dall'interpretazione del disegno: occorre per prima cosa cercare indicazioni di tolleranze e rugosità generali, così da avere già una idea di quale dovrà essere la qualità del pezzo finale, ad esempio una rugosità generale alta (es. Ra 6.3) è indice che probabilmente si potranno omettere passate di finitura per tutte le superfici per le quali non è specificata una rugosità diversa da quella generale, rugosità ancora maggiori potrebbero suggerire di non lavorare affatto delle superfici che rientrano già da grezzo nelle dimensioni prescritte. In base a ciò e al materiale indicato si può definire il diametro di partenza della barra e i sovrametalli anteriore e posteriore. Una volta ottenute queste informazioni di carattere generale si passa ad osservare e comprendere la geometria del pezzo così da individuare tutte le feature (profili, fori, tasche, gole, filettature, ecc.) da ottenere: per ognuna di queste, in accordo con le prescrizioni di tolleranza (geometrica e dimensionale) e rugosità, si dovrà scegliere la lavorazione, talvolta le lavorazioni, più adatta. In particolare è indispensabile definire il corretto ordine delle lavorazioni di una feature (ad esempio la foratura deve sempre precedere la maschiatura nella realizzazione di un foro filettato). Occorre poi raggruppare tutte le lavorazioni eseguibili nella sottofase che vede il pezzo nel mandrino principale, d'ora in avanti definita prima sottofase, e distinguerle da quelle che possono essere eseguite col pezzo nel contromandrino, d'ora in poi definita seconda sottofase. Nello spostare le lavorazioni da una sottofase all'altra è necessario tener conto delle prescrizioni di tolleranza geometrica e dimensionale che potrebbero essere violate a causa del riposizionamento del pezzo. Ricordiamo che, in un tornio come quello in esame, le due sottofasi vengono eseguite in contemporanea dalla macchina così che solo la prima sottofase determini il tempo ciclo, in altri termini la seconda sottofase viene eseguita in "tempo mascherato". Perché ciò sia possibile occorre distribuire le lavorazioni in modo che la seconda sottofase richieda un tempo strettamente inferiore a quello della prima. La soluzione ottimale vede le due fasi equilibrate in termini di tempo e talvolta anche in quanto a tempo di lavorazione di un utensile in caso questa venga adoperato in entrambe le sottofasi. Chiaramente queste sono solo alcune delle considerazioni che è necessario fare in questa fase, tuttavia nella presente analisi non esploreremo oltre per non appesantire la trattazione.

Una volta ottenuta la distribuzione delle lavorazioni che minimizzi il tempo ciclo, si passa alla stesura di primo tentativo della scheda utensili. Questa può essere ottenuta per similitudine con altri prodotti della stessa tipologia e materiale, oppure può essere stesa da zero in base all'esperienza del pianificatore, magari con l'ausilio di cataloghi. Note le lavorazioni e gli utensili a disposizione si stabiliscono i parametri di taglio; due strade si prospettano in questa fase: in un regime di minimo costo si sceglieranno parametri di taglio che promuovano la durata dell'utensile a discapito del tempo ciclo; in un regime di alta produttività si minimizzerà il tempo ciclo a discapito della vita dell'utensile e dunque del costo. Stabiliti tutti i parametri sopra, si passa alla definizione del costo del prodotto.

Il costo complessivo per la realizzazione del singolo pezzo sarà la somma di più contributi:

$$C_{tot} = C_{mp} + C_{imp} + C_{lav} + C_{s_{ut}} + C_{ut} + C_{g_{prod}}$$

Dove:  $C_{mp}$  è il costo della materia prima (in cui si tiene conto di lunghezza del pezzo, sovrametalli, larghezza dell'utensile troncatore e della ripartizione della porzione di barra non lavorabile, il cosiddetto spezzone)  $C_{imp}$  è il costo improduttivo;  $C_{lav}$  è il costo di effettiva lavorazione;  $C_{s_{ut}}$  è il costo per la sostituzione degli utensili;  $C_{ut}$  è il costo degli utensili stessi;  $C_{g_{prod}}$  sono i costi generali di produzione.

Si guardi ora il costo relativo il tempo improduttivo  $C_{imp}$ , esso è pari al costo della macchina per unità di tempo [€/min], moltiplicato per un tempo che è dato dalla somma di tempo di attrezzaggio della macchina (contiene al suo interno anche i tempi di programmazione macchina e il tempo per realizzare n pezzi di campionatura) [min/pezzo], tempo impiegato per il cambio della barra [min/pezzo], calcolato come il rapporto tra il tempo necessario per il cambio della singola barra e il numero di pezzi per barra (a cui si può risalire a partire dalla lunghezza della barra, lunghezza del pezzo, larghezza dell'utensile troncatore e quantità di sovrametalli frontale e posteriore), tempo di cambio e appostamento dell'utensile [min/pezzo] (che, essendo difficilmente calcolabile e comunque eseguito in avanzamento rapido, potrebbe in fase di preventivazione essere trascurato e magari considerato nel coefficiente di sicurezza da applicare al costo totale), tempo necessario al cambio di sottofase (in altri termini è il tempo per la presa pezzo nel passaggio dello stesso dal mandrino principale al contromandrino) e il tempo necessario allo scarico del pezzo per la raccolta (che si programma, quando possibile, in tempo mascherato quindi il più delle volte non deve essere incluso nel calcolo). Escludendo dal calcolo i termini da trascurare come visto precedentemente, l'espressione del costo del tempo improduttivo diviene:

$$C_{imp} = c_m \cdot (t_{att} + t_{cbarra} + t_{pp})$$

Il costo di lavorazione, invece, è ottenuto come prodotto del costo della macchina per unità di tempo e il tempo di lavorazione:

$$C_{lav} = c_m \cdot (t_{lav})$$

In particolare il tempo di lavorazione è la sommatoria dei tempi relativi alle singole operazioni del ciclo.

$$t_{lav} = \sum_{i=1}^n (t_i)$$

Si considera come tempo i-esimo quello che utensile e pezzo spendono effettivamente a contatto. Per dare una forma a quest'ultimo, si riporta un esempio di tempo i-esimo relativo ad una tornitura longitudinale esterna di un pezzo cilindrico:

$$t_i = \frac{\pi D \cdot (L + ex_i + ex_u)}{10^3 \cdot V_t \cdot a}$$

Dove:  $L$  è la lunghezza lavorata in mm;  $ex_i$  e  $ex_u$  sono rispettivamente l'extra-corsa ad inizio ed uscita della lavorazione, espresse in mm;  $D$  è il diametro del pezzo in mm;  $V_t$  è la velocità di taglio in m/min;  $a$  è l'avanzamento in mm/giro. Chiaramente tale espressione cambierà di forma a seconda della lavorazione che si deve rappresentare. Il costo unitario di sostituzione degli utensili al termine della loro vita si valuta come prodotto tra il costo per unità di tempo della macchina e la sommatoria, sul numero totale di utensili, del rapporto tra il tempo di sostituzione dell'utensile  $i$ -esimo e il numero di pezzi realizzabili con il medesimo utensile:

$$C_{s\_ut} = c_m \cdot \sum_1^{n_{ut}} \frac{t_i}{N_i}$$

Chiaramente il numero di pezzi realizzabili con lo stesso utensile dipende dal materiale dell'utensile, dalle condizioni di taglio, dai parametri di taglio e dalla presenza o meno di refrigerante. Questi dati possono essere sperimentali o approssimati grazie alla formula di Taylor.

Il costo degli utensili è esprimibile come la sommatoria, sul numero totale di utensili, dei rapporti tra il costo dell'utensile  $i$ -esimo e il numero di parti eseguite con lo stesso, secondo la:

$$C_{ut} = \sum_{i=1}^{n_{ut}} \frac{c_i}{N_i}$$

L'ultimo componente dell'espressione del costo totale, cioè i costi generali di produzione  $C_{g\_prod}$ , si ottiene come prodotto tra un costo per unità di tempo che comprende tutte le voci di spesa a carattere generale (quote di ammortamento degli impianti, spese generali, materiali di consumo, manutenzioni, ecc.), e il tempo complessivo richiesto per la lavorazione di una parte (ottenuto come somma del tempo improduttivo, tempo di lavorazione e tempo di sostituzione utensile).

$$C_{g\_prod} = c_g \cdot (t_{imp} + t_{lav} + t_{s\_ut})$$

Riassemblando tutte le componenti di costo e applicando in ultimo un coefficiente di sicurezza che compensi le approssimazioni fatte durante il calcolo, si ottiene il costo del prodotto da poter comunicare al cliente.

L'efficacia dell'intera procedura si fonda però su diverse variabili che ne potrebbero discriminare il risultato. In primis l'accuratezza del calcolo dipende strettamente dal livello di esperienza di chi la esegue: in generale si può affermare che due pianificatori diversi otterranno due soluzioni diverse, in tal caso solo una, o nessuna delle due, sarà la soluzione ottima. In secondo luogo la natura manuale della procedura ne implica la suscettibilità all'errore umano, nonostante l'ausilio di fogli di calcolo elettronici. In ultimo, ma non meno importante, la procedura occupa il pianificatore per un tempo molto consistente che cresce con la complessità del pezzo.

Proprio qui entrano in gioco software specializzati nell'analisi automatica, o semi-automatica, del costo del prodotto, cui scopo è quello di risolvere, almeno in parte, le labilità descritte sopra per la procedura manuale soprattutto per quanto riguarda il tempo di preventivazione. Parliamo in questo caso di tecniche di preventivazione rapida, cui natura dipende molto dal tipo di applicazione cui sono destinate.

### ***2.5.3 La preventivazione rapida***

Si è già evidenziato in precedenza che per poter parlare di prototipazione rapida sia indispensabile che tutte le fasi che intercorrono tra la ricezione di un ordine e la realizzazione della parte finita vengano completate in maniera estremamente rapida ed efficace. Abbiamo visto anche che la preventivazione è una delle fasi principali dell'intero processo, quindi il tempo che le si riserva deve essere ridotto all'essenziale. È chiaro allora che perché ciò possa avvenire ci si deve spostare dalla preventivazione manuale verso tecniche più efficienti ed automatizzate. È bene precisare che gli step da percorrere per ottenere il costo di un prodotto non sono opzionali, ogni step è fondamentale ad un calcolo accurato. Questo porta a pensare che, qualsiasi sia la tecnica di preventivazione rapida adottata, questa deve essere metodologicamente sovrapponibile a quanto farebbe un pianificatore. Poiché, però, ogni realtà produttiva possiede il proprio *modus operandi* nell'approcciare la costificazione di prodotto anche in base al know-how degli individui che la compongono, è fondamentale impiegare strumenti flessibili e altamente personalizzabili a seconda delle necessità dell'azienda. Sotto questa premessa verrebbe da pensare che la soluzione migliore sia quella di sviluppare internamente un algoritmo ad-hoc che raccolga conoscenze e metodi propri dell'azienda. Peraltro questa è una scelta comune a molte aziende che sono attualmente sul mercato della prototipazione rapida. Tuttavia essa viene con delle limitazioni, infatti lo sviluppo dell'algoritmo, la sua ottimizzazione, messa in opera e infine valutazione potrebbero richiedere diversi mesi, se non anni, tanto da risultare proibitivi per un'azienda che stia lavorando per lanciare al più presto il servizio. L'unica opzione rimanente è allora quella di affidarsi ad un software commerciale per il quale il lavoro di sviluppo e ottimizzazione sia già stato fatto e per cui si renda necessario soltanto la personalizzazione e valutazione dei risultati.



Che si opti per un algoritmo proprietario o un software commerciale, elemento fondamentale perché si possa parlare di analisi automatica del pezzo è il motore di riconoscimento feature di lavorazione (AFR, automatic-feature-recognition) a partire dal modello CAD del componente. Si tratta di un algoritmo che fa da ponte tra sistemi CAD e CAPP (computer-aided-process-planning) puntando a convertire il disegno della parte in un modello strutturato a feature (SFM, structuralized-feature-model) che contenga tutte le informazioni di lavorazione necessarie. Per ottenere ciò l'algoritmo deve innanzitutto riconoscere le feature geometriche della parte: legare la feature geometrica alla sequenza di lavorazioni da eseguire per ottenerle è compito ben più difficile. Tipicamente a questo punto si possono percorrere strade ben differenti: applicare tecniche basate su regole logiche generalizzate; definire manualmente la sequenza di lavorazione; impiegare reti neurali (neural networks nell'ambito del machine learning) per l'autoapprendimento dei pattern di lavorazione.

Dopo questa considerazione è ancora più evidente lo sforzo che comporterebbe realizzare da zero un algoritmo di questo livello. Oltre a questo, il riconoscimento delle feature di lavorazione è solo parte del lavoro: vanno poi implementate logiche per la corretta pianificazione del processo produttivo e magari l'ottimizzazione di quest'ultimo. Chiaramente non è ancora tutto, il software deve possedere database su materie prime, utensili, parametri di lavorazione, parametri delle macchine, trattamenti termici, superficiali e molto altro ancora.

La soluzione più famosa e onnicomprensiva a livello commerciale è sicuramente il software LeanCost, sviluppato dalla Hyperlean, azienda nata come spin-off dell'Università Politecnica delle Marche che offre soluzioni a supporto della configurazione, progettazione e preventivazione di tempi e costi di prodotti meccanici. È un software unico nel suo genere per la completezza delle funzioni che possiede. Contiene un motore di riconoscimento automatico delle feature e un database molto ampio e personalizzabile di materiali, strategie produttive, macchine, utensili, processi primari e secondari. Grazie a queste due caratteristiche combinate riesce a fornire in tempi estremamente rapidi una stima del costo del prodotto chiedendo come input il file 3D della parte e le informazioni su materiale, tolleranze e rugosità, nonché la dimensione del lotto di produzione.

LeanCost è stato scelto come software di preventivazione per questo studio. Proprio per la vastità di processi meccanici che supporta però, si configura più come software di uso generale che manca di specificità. Si rende allora necessario personalizzare logiche e database del programma per adattarlo alle esigenze specifiche dell'azienda, sarà infatti questo il focus dei capitoli successivi.

Detto ciò, l'output di LeanCost sarà l'analisi di fattibilità del prodotto e il preventivo di costi e tempi di produzione. Queste due informazioni verranno restituite con tempestività al cliente che potrà valutare la convenienza economica del servizio offerto e se interessato richiedere un preventivo più puntuale eseguito dal pianificatore aziendale.

#### ***2.5.4 Computer-aided-manufacturing***

Emesso l'ordine, il file della parte verrà indirizzato al software CAM (computer-aided-manufacturing) che farà da supporto alla programmazione della macchina a partire dal file CAD della parte. In particolare, il compito del software CAM è quello di analizzare il modello geometrico della parte per generare le istruzioni necessarie alla macchina utensile CNC ad eseguire i percorsi utensili specificati dall'utente.

In generale questo software è composto da due parti fondamentali: un'interfaccia grafica che supporti l'utente nella creazione degli utensili e delle feature di lavorazione sulle quali costruire quindi i percorsi utensile in funzione dell'ambiente macchina specifico per la macchina target; l'altro componente è il cosiddetto Post-Processor che fa da interprete nel tradurre i percorsi utensili, definiti dall'utente in linguaggio "umano", in linguaggio "macchina", cioè una serie di istruzioni in linguaggio ISO che la macchina può comprendere ed eseguire. Il Post-processor è quindi una parte di estrema importanza ed è specifico per ogni singola macchina da programmare. Tipicamente gli stessi fornitori della macchina utensile collaborano alla stesura dei post-processor per le proprie macchine con le aziende esterne che possiedono il software. Tuttavia non sempre c'è corrispondenza perfetta tra l'output atteso dall'utente e quello che effettivamente arriva in macchina. Questo perché i post-processor sono disegnati per comprendere la maggior parte degli utilizzi possibili per la macchina: in realtà ogni programmatore ha le proprie preferenze e stile di programmazione, come ad esempio l'uso di comandi esterni rispetto a quelli propri della macchina per implementare dispositivi aftermarket. Ciò fa sì che spesso il post-processor fornito non sia pienamente compatibile con un particolare stile di programmazione.

Al pari del software di preventivazione, anche il software CAM e il suo post-processor andranno personalizzati e ottimizzati come si vedrà nel seguito. Nell'ambito di questo studio si è scelto il pacchetto software Esprit CAM, commercializzato dalla Hexagon. Esso include Esprit2000, utilizzato in questo caso per la programmazione dei torni a fantina mobile, e il software Esprit TNG ottimizzato per fresatrici CNC e centri di lavoro fino a cinque assi controllati.

Nel seguito si entrerà nel dettaglio dei singoli software con principale attenzione alle valutazioni e personalizzazioni che si sono messe in atto con l'obiettivo di facilitarne l'utilizzo, migliorare efficienza e qualità del risultato, ridurre i tempi di preventivazione e programmazione e, dove possibile, introdurre automazione.

## 3 Metodo

Questo studio si compone di due fasi principali:

- In prima battuta si vuole studiare il software LeanCOST per la valutazione automatica di costi e tempi di produzione. Per far ciò si analizza un campione di pezzi cui processo produttivo, nonché tempi e costi, siano ben definiti. Su questi pezzi viene eseguita dapprima un'analisi manuale supportata dal software per poter stabilire quanto esso sia in grado di sostenere l'utente nella stima dei costi del prodotto. In secondo luogo si effettua sugli stessi un'analisi automatica per determinare le performance del software nel suo stato nativo: eventuali discrepanze emerse in questa fase andranno corrette, per quanto possibile, agendo su database e logiche dello strumento. La tipologia di licenza del software a disposizione per questo studio permette soltanto una personalizzazione parziale del software e si useranno le performance dell'analisi manuale come rappresentative del miglior risultato ottenibile qualora tutte le modifiche pianificate fossero effettivamente applicabili. L'obiettivo è quello di raggiungere un allineamento soddisfacente tra i costi stimati dal software in automatico, quelli ottenibili manualmente e i costi al consuntivo. I risultati ottenuti con la metodologia descritta vengono in ultimo paragonati a quelli ottenuti analizzando i pezzi campione con strumenti di preventivazione online appartenenti ad aziende della competizione, in modo da meglio mettere in prospettiva le performance ottenute e quelle potenzialmente ottenibili.

- La seconda fase dello studio riguarda invece l'ottimizzazione del software Esprit CAM per la programmazione delle macchine utensili a controllo numerico con l'obiettivo di ottenere da questo un processo di programmazione efficiente e privo di errori. Con questo obiettivo in mente si individuano tutti gli step di programmazione che presentano errori o sono causa di inefficienza: su questi si agisce realizzando delle macro in linguaggio di programmazione VBA che vadano a sostituire le procedure critiche con procedure automatiche e standardizzate. Per quelle non automatizzabili, invece, si creano macro con lo scopo di proporre all'utente delle interfacce grafiche che lo guidino alla programmazione della parte in maniera quanto più organica ed efficiente possibile. In ultimo si mostra la procedura di personalizzazione del post-processor per le macchine utensili di interesse col quale poter ottenere un programma macchina privo di errori e strettamente coerente alle procedure di programmazione adottate nell'azienda.

### **3.1 LeanCOST per la tornitura**

Vediamo ora quali sono le caratteristiche principali del software e in cosa consiste il processo di valutazione del costo tramite questo strumento. A titolo di esempio si propone un pezzo fornito da Zannini per poter condurre questa valutazione, di questo sono noti il ciclo di lavorazione e i tempi reali di produzione, nonché i costi.

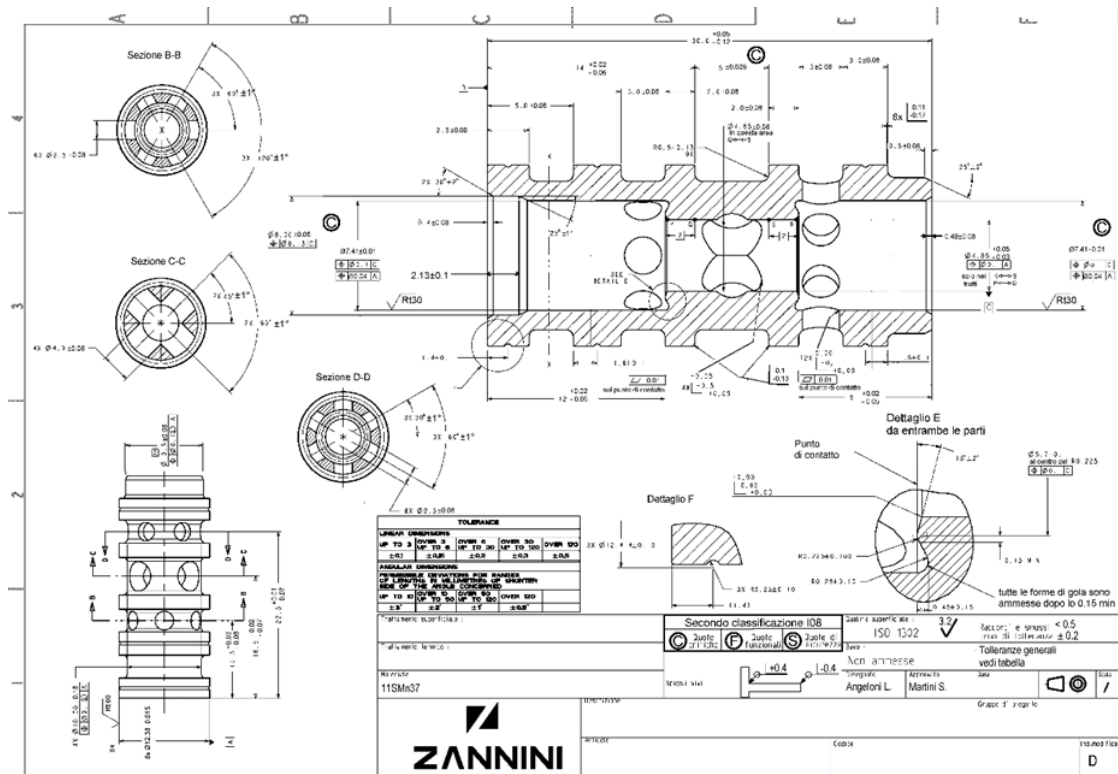


Figura 3.1 - Tavola Pezzo Campione 01

È importante precisare che nelle considerazioni che seguiranno si parlerà sempre in termini di tempo ciclo, piuttosto che di costo. Questo perché si vuole valutare la capacità del programma di riconoscere ed attribuire correttamente le lavorazioni alle rispettive feature, il termine di paragone sarà proprio il tempo ciclo perché oggettivo, al contrario del costo il quale tiene conto di molte variabili spesso non attribuibili direttamente alla sola lavorazione. Inoltre il pezzo in esame viene prodotto in grandi quantità, ciò fa sì che il costo sia in grandissima parte determinato dal tempo di lavorazione, mentre le voci di costo di materia prima, utensili, costi di attrezzaggio e costi generali giocano un ruolo marginale nella determinazione del costo del prodotto. Una valutazione in termini di costo avrà senso soltanto nel momento in cui si sarà verificata la rispondenza il ciclo di lavorazione reale e quello suggerito da LeanCOST, solo a quel punto sarà possibile valutare puntualmente la correttezza dell'attribuzione delle varie voci di costo. Sotto queste premesse, vediamo ora come si procede alla valutazione di un pezzo.

Come primo step è necessario importare nel programma la geometria della parte. Si presentano diverse opzioni, LeanCOST offre la compatibilità nativa con software CAD quali: Solid Edge, CATIA, Solidworks, ecc. In alternativa è possibile non caricare alcuna geometria e aggiungere manualmente tutte le operazioni, tuttavia questa modalità non è di interesse per questo studio e verrà ignorata.

Poiché si dovrà lavorare allo stesso file prima con LeanCOST poi con Esprit, è necessario richiedere al cliente la parte in un formato che possa lavorare con entrambi senza necessità di conversione, per non introdurre errori nel file parte. Proprio per questa ragione si lavorerà o con un file in formato nativamente compatibile, oppure, in caso il cliente non ne disponga, con file in formato neutro STEP, possibilmente con funzionalità PMI.

Una volta importato il modello geometrico si può passare a definire il materiale, scegliendo tra quelli disponibili. Per questo esempio il materiale target è un 11SMn37, un acciaio ad alta resistenza destinato alla lavorazione alle macchine utensili grazie alla presenza in lega di Zolfo e Manganese che, essendo poco solubili nel ferro, tendono a formare solfuri di manganese i quali agiscono come discontinuità nella matrice metallica favorendo così la rottura dei trucioli durante la lavorazione. Tale acciaio però non è presente a database LeanCOST, andrà dunque selezionato il materiale ad esso più prossimo in quanto a lavorabilità, in questo caso si è selezionato il 35SMnPb10, acciaio automatico a lavorabilità migliorata per la presenza di Piombo in lega.

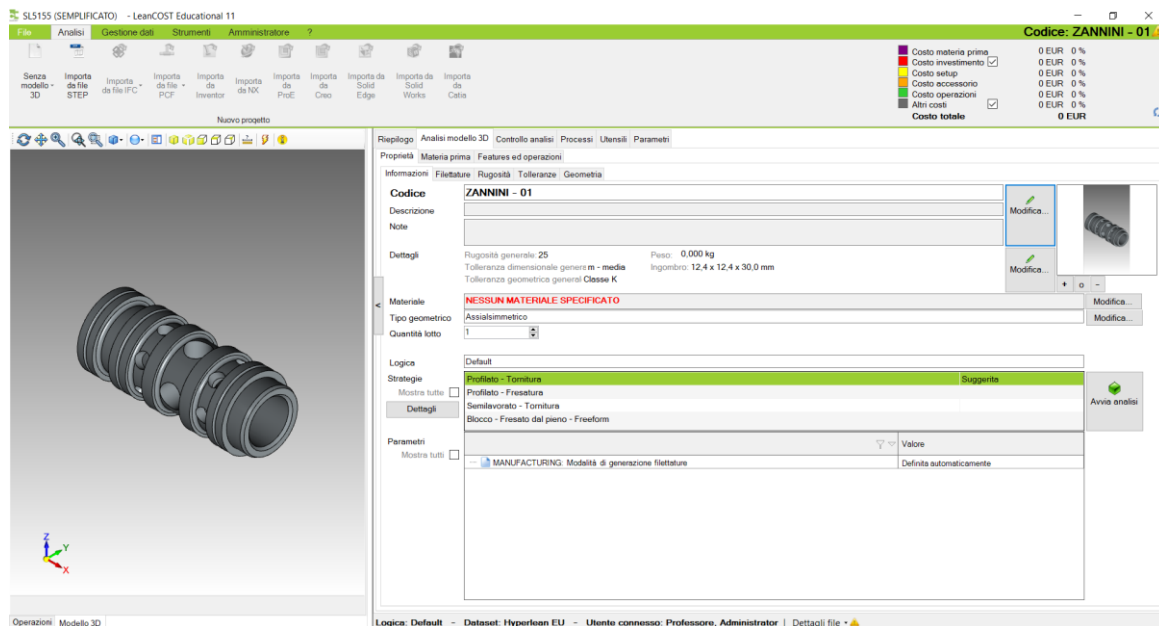


Figura 3.2 - LeanCOST, finestra Proprietà.

È qui possibile specificare anche la quantità del lotto, in questo caso 100000 pezzi, la rugosità generale, a  $6.3 \mu\text{m}$ , e le tolleranze generali dimensionali m e geometriche di classe H.

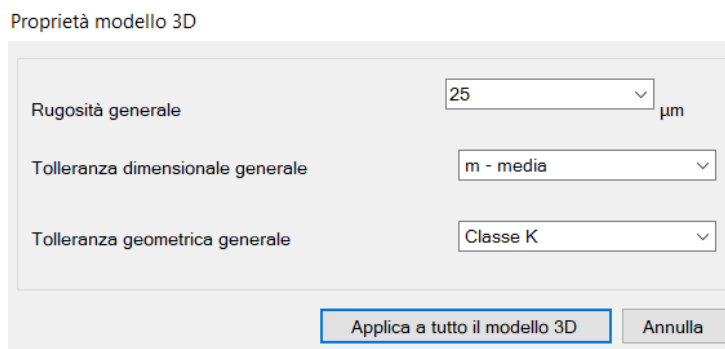


Figura 3.3 - LeanCOST, finestra tolleranze e rugosità generali.

LeanCOST riconosce già la natura assialsimmetrica del pezzo e in virtù di ciò propone già una strategia di lavorazione che in questo caso è proprio quella che si sarebbe scelta, cioè tornitura da profilato, in particolare poi si sceglierà proprio una barra. Si può ora intervenire manualmente per aggiungere tolleranze specifiche alle entità geometriche soggette a prescrizione secondo disegno tecnico.



Informazioni Filettature Rugosità Tolleranze Geometria

Tolleranza dimensionale: m - media

Tolleranza geometrica: Classe H

Modifica

Aggiungi Rimuovi  Tolleranze dimensionali  Tolleranze senza riferimenti  Tolleranze geometriche

Esporta in Excel

Tolleranza	Documento	Note
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
7,410 [0,01; -0,01] = IT8		
12,380 [0,015; -0,015] = IT8		
7,410 [0,01; -0,01] = IT8		
4,850 [0,05; -0,03] = IT11		
4,850 [0,05; -0,03] = IT11		
8,000 [0,08; -0,08] = IT12		
⌀ 0,04		
⌀ 0,04		

Figura 3.4 - LeanCOST, finestra tolleranze specifiche.

Infine, si aggiungono le prescrizioni di rugosità. Queste si attribuiscono singolarmente a ciascuna faccia interessata e saranno determinanti poi sulla necessità o meno di passate di finitura.

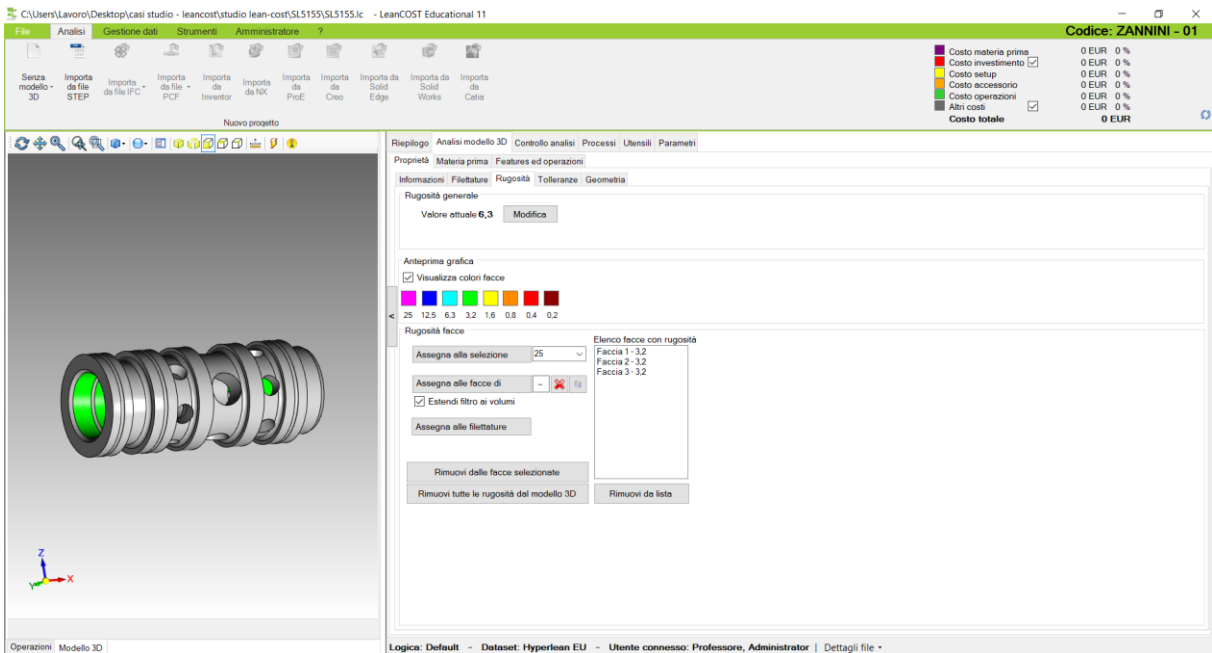


Figura 3.5 - LeanCOST, finestra rugosità specifiche.

### 3.1.1 Analisi Automatica

Fatto ciò, è tutto pronto per poter lanciare la valutazione automatica del pezzo. Analizziamo ora il risultato ottenuto, notando che le medesime considerazioni verranno iterate per tutti i componenti, senza entrare nel dettaglio di ciascuno. Iniziando dalla valutazione del grezzo, la lunghezza di questo è data dalla lunghezza del pezzo sottratta dei sovrametalli anteriore e posteriore.

Proprietà Materia prima Features ed operazioni

Preferita Profilato  Analizza solo il grezzo

Costo materia 0,04 EUR

Corrente Profilato  Peso materia prima 0,054 Kg

Risultati analisi del grezzo

Dimensioni sezione: D1 = 14,9 mm; D2 = 14,9 mm; D3 = 6,2 mm; D4 = 6,2 mm; Lunghezza = 36 mm; Tipo = Tubo circolare

Profilato

Materiale Acciaio - 35SMnPb10 - 36SMnPb14 - 1.0765 - SAE11L37 / Trafilato / tutte le normative

Tipo Tondo

Lunghezza 36,0 mm

Mostra grezzo  Asse A

Filtri

Designazione

D1 >= di 15,0 mm D3 >= di 15,0 mm

D2 >= di 15,0 mm D4 >= di 15,0 mm

Valori esatti

Gestione avanzata dei sovrametalli

Lunghezza (+) 3,000 mm

Lunghezza (-) 3,000 mm

Elenco profilati Sovrametalli Sfrido e costo

Stock corrente: Materiale: Acciaio - 35SMnPb10 - 36SMnPb14 - 1.0765 - SAE11L37 - Stato: Trafilato - Dimensioni sezione: D1 = 15 mm; D2 = 15 mm; D3 = 15 mm; D4 = 15 mm; Lunghezza 3...

Figura 3.6 - LeanCOST, finestra materia prima, gestione sovrametalli.

Si può osservare come in automatico LeanCOST abbia assegnato ad entrambi il valore di 3mm. In realtà per pezzi di queste dimensioni i sovrametalli vanno rivisti: sulla faccia anteriore il sovrametallo serve per ottenere avere del metallo da poter asportare lasciando una finitura migliore, tipicamente 0.5mm è sufficiente; posteriormente il sovrametallo è dato dalla larghezza dell'utensile troncatore e dal sovrametallo per la passata di finitura, che in questo caso non è prevista, quindi un dimensionamento più accurato del sovrametallo sarebbe esattamente pari alla larghezza dell'utensile, tipicamente dai 2 a 3mm per gli utensili utilizzati in Zannini.

Proprietà Materia prima Features ed operazioni

Preferita Profilato  Analizza solo il grezzo

Corrente  Profilato

Risultati analisi del grezzo  
Dimensioni sezione: D1 = 14,9 mm; D2 = 14,9 mm; D3 = 6,2 mm; D4 = 6,2 mm; Lunghezza = 36 mm; Tipo = Tubo circolare

Profilato  
Materiale Acciaio - 35SMnPb10 - 36SMnPb14 - 1.0765 - SAE11L37 / Trafilato / tutte le normative  
Tipo Tondo  
Lunghezza 36,0 mm  
Mostra grezzo  Asse A

Filtri  
Designazione     
D1 >= di 15,0 mm   
D2 >= di 15,0 mm  Valori esatti   
D3 >= di 15,0 mm  
D4 >= di 15,0 mm

Designazione	Normativa	Materiale	Costo	UM	Cc
Tondo 15 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 16 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 17 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 18 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 19 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 20 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 21 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 22 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 23 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 24 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	
Tondo 25 Trafilato		Acciaio - 35SMnPb10 - 36S...	0,8	EUR/kg	

Elenco profilati Sovrametalli Sfrido e costo

Figura 3.7 - LeanCOST, finestra materia prima.

Per quanto riguarda il diametro della barra, invece, il software ha scelto una barra da 15mm. Tuttavia, poiché il pezzo ha diametro massimo pari a 12.38mm, senza necessità di passata di finitura, questo comporterebbe di dover asportare un sovrametallo radiale pari a 1.31mm, che risulta troppo elevato da poter asportare con una singola passata, come si vorrebbe per questo pezzo. Dunque una dimensione della barra più consona alle esigenze di lavorazione sarebbe stata di diametro 14mm, così da avere un sovrametallo radiale pari a 0.81mm.

Passiamo ora alla strategia di lavorazione. Il software ha correttamente riconosciuto che si userà un tornio a fantina mobile, adatto a produzioni di serie, in questo caso sarà in effetti una Cincom D25; ha inoltre identificato correttamente le due direzioni di lavorazione, una col pezzo nel mandrino principale e una nel contromandrino.

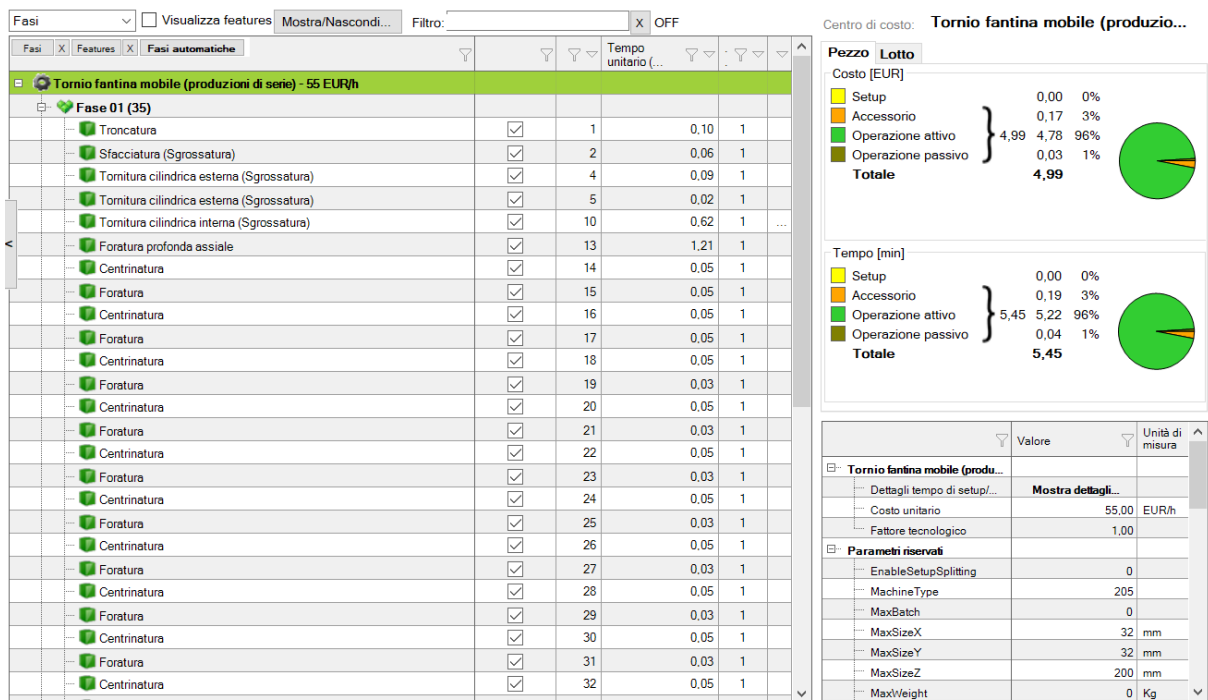


Figura 3.8 - LeanCOST, finestra lavorazioni, fase 1.

Occorre ora valutare se l'assegnazione delle lavorazioni alle feature e la loro attribuzione alla rispettiva fase siano corrette: partiamo dalla lavorazione su mandrino principale. LeanCOST ha giustamente riconosciuto una foratura profonda da  $\varnothing 4.8$  di lunghezza 30mm, si parla di una foratura di lunghezza maggiore di sei volte il diametro, questo impone la necessità di eseguire ripetutamente lo scarico intermedio dei trucioli per garantire una corretta esecuzione del foro. Chiaramente questa è una lavorazione molto intensiva in termini di tempo, anche se LeanCOST ha assegnato parametri di taglio molto conservativi, che andrebbero spinti per massimizzare la produttività. A seguire è corretta la tornitura interna di sgrossatura che crea il profilo interno frontale, lasciando del sovrametallo per la passata di finitura. Tuttavia quest'ultima non verrà eseguita come previsto dal software con uno stelo da tornitura interna, bensì con un allargatore sagomato, che con una singola passata lascia la forma e finitura desiderata, con un forte guadagno di tempo.

La sfacciatura è corretta, a patto di spingere i parametri di taglio. La tornitura esterna invece, seppure correttamente riconosciuta, integrerà in una singola passata anche l'esecuzione delle gole, senza ricorrere ad alcuna strategia di realizzazione di gole in quanto superflua in questo caso. Al contrario, LeanCOST inserisce le gole nella seconda fase ed applica una strategia a tuffi più finitura; sorgono due problematiche: la prima è che da un punto di vista puramente tecnologico, la macchina su cui verrà prodotto il pezzo non potrà eseguire tornitura nella seconda fase, o meglio se anche si riuscisse sicuramente non sarebbe conveniente; l'altra problematica è che il software assegna alle gole un utensile di larghezza troppo bassa, pari a 1.1mm, il quale richiederebbe un elevato numero di tuffi con impatto importante sul tempo ciclo.

Gola cilindrica esterna

Nome: Gola cilindrica esterna

Note:

Macchina: Tornio fantina mobile (produzioni di serie) - 55,00 EUR/h (\*) Setup A

Quantità: 1

Fattore: 0 %

Verificare i limiti macchina

Sovrascrivi con valori

Parametri geometrici

Diametro iniziale	12,380	mm
Diametro finale	10,000	mm
Larghezza gola	3,000	mm

Parametri tecnologici

Velocità di taglio	80,640	80,640	m/min
Avanzamento al giro	0,060	0,060	mm/giro
Velocità di rotazione del mandrino	2.293,879	2293,879	giri/min
Velocità di avanzamento	137,633	137,633	mm/min
Sovrametallo radiale		1,190	mm
Numero di tuffi		4,000	
Extracorsa	3,000	3,000	mm
Percorso utensile in lavorazione		34,140	
Percorso utensile in rapido	16,760	16,760	mm
UTENSILE: Dimensione inserto		1,100	mm
MACCHINA: Numero di giri massimo del mandrino		8000,000	giri/min
MACCHINA: Velocità posizionamento asse		25,000	m/s
MACCHINA: Accelerazione media assi		5,000	m/s <sup>2</sup>

Utensili

1 Stelo - Gola esterna

Calcola default

Tempo: 0,250 min      Tempo aggiornato:

Costo: 0,229 EUR      Costo aggiornato:

OK      Annulla

Figura 3.9 - LeanCOST, finestra parametri operazione di gola cilindrica esterna.

Dunque le gole andrebbero spostate nella prima fase e accorpate alla tornitura esterna.

Per quanto riguarda le forature trasversali, la centrinatura non è necessaria ed andrebbe eliminata, inoltre i parametri di taglio andrebbero, anche qui, spinti più verso una maggiore produttività.

Foratura profonda assiale X

Nome	Foratura profonda assiale	
Note:		
Macchina	Tornio fantina mobile (produzioni di serie) - 55,00 EUR/h (*)	Setup A
Quantità	1	Verificare i limiti macchina <input checked="" type="checkbox"/>
Fattore	0 %	Sovrascrivi con valori <input checked="" type="checkbox"/>

---

**Parametri geometrici**

Diametro foro	4,941	mm
Lunghezza	30,000	mm
Tolleranza	11,000	IT
Foro passante?	1	Scegli..

---

**Parametri tecnologici**

Velocità di taglio	10,800	10,800	m/min
Velocità di rotazione del mandrino	701,581	701,581	giri/min
Avanzamento al giro	0,054	0,054	mm/giro
Velocità di avanzamento	37,962	37,962	mm/min
Extracorsa	4,000	4,000	mm
Percorso utensile in rapido		227,522	mm
Tempo di movimentazione in rapido	0,007	0,007	min
UTENSILE: Numero di denti		2,000	
MACCHINA: Numero di giri massimo del mandrino		8000,000	giri/min
MACCHINA: Accelerazione media assi		5,000	m/s <sup>2</sup>
MACCHINA: Velocità in rapido della macchina		25,000	m/min
Percorso utensile in lavorazione		46,000	mm

---

**Utensili**

1 Punta in HSS; Diametro foro=4,94

**Calcola default**

---

Tempo: 1,212 min      Tempo aggiornato  
 Costo: 1,111 EUR      Costo aggiornato

Figura 3.10 - LeanCOST, finestra parametri operazione di foratura assiale profonda.

Concludendo l'analisi della prima fase, la troncatura è stata correttamente riconosciuta.

La seconda fase presenta diversi punti di scostamento da quanto si farebbe nella pratica: prima di eseguire la tornitura interna il foro verrebbe innanzitutto allargato con una punta da  $\varnothing 7.3$ , poi creato il profilo con un tornitore interno avendo cura di lasciare un sovrametallo da asportare infine con un allargatore per lasciare la rugosità richiesta. In secondo luogo, la tornitura esterna viene eseguita nella fase principale e andrebbe dunque spostata.

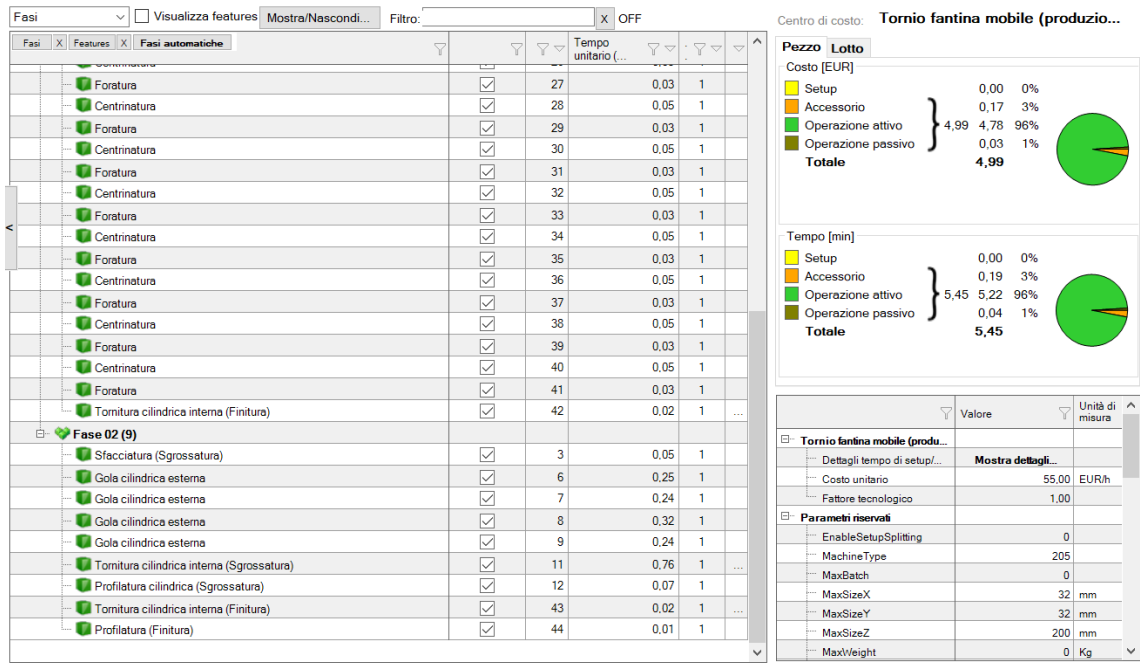


Figura 3.11 - LeanCOST, finestra lavorazioni, fase 2.

Tirando le somme è evidente che LeanCOST abbia riconosciuto tutte le feature di lavorazione necessarie alla realizzazione del pezzo, tuttavia la strategia di lavorazione e l'assegnazione di alcune delle feature alla fase corretta sono talvolta improprie, o meglio poco ottimizzate.

Le considerazioni sopra si riflettono evidentemente sul tempo ciclo, stimato da LeanCOST pari a 5 minuti e 21 secondi, contro un tempo ciclo effettivo registrato dalla macchina pari a 65 secondi.



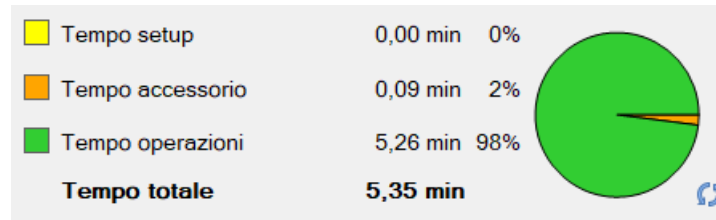


Figura 3.12 - LeanCOST, tempo ciclo pezzo di esempio.

Questo è un primo indizio del fatto che il software non è specializzato nella realizzazione di miniatura metallica e si ripresenterà con consistenza nel seguito. Per adeguare il software agli impieghi di interesse per questo studio e per l'azienda, si rende necessario specializzare database e logiche adottati dal software con l'obiettivo di minimizzare il gap tra il preventivo e il consuntivo. Con questo obiettivo in mente, prima di procedere alle modifiche, è bene stabilire una baseline rappresentativa delle potenzialità del software quando si esegua un'analisi manuale piuttosto che automatica. In questo modo sarà possibile evidenziare con esattezza gli aspetti su cui intervenire e apprezzarne gli effetti sul tempo ciclo.

### 3.1.2 Analisi Manuale

Per condurre questa valutazione si parta dal risultato dell'analisi automatica eseguita sul pezzo campione. A questo si applicheranno modifiche in accordo con le reali strategie di lavorazione adottate dai macchinisti Zannini e se ne valuterà il risultato finale.

Il primo step è quello di modificare la geometria del grezzo: il diametro barra passa da 15mm a 14mm; il sovrametallo frontale passa da 3mm a 0.5mm; il sovrametallo posteriore da 3mm a 2mm, pari alla larghezza del troncatore.

Proprietà Materia prima Features ed operazioni

Preferita Profilato  Analizza solo il grezzo

Corrente  Profilato

Risultati analisi del grezzo  
Dimensioni sezione: D1 = 14,9 mm; D2 = 14,9 mm; D3 = 6,2 mm; D4 = 6,2 mm; Lunghezza = 36 mm; Tipo = Tubo circolare

Profilato  
Materiale Acciaio - 35SMnPb10 - 36SMnPb14 - 1.0765 - SAE11L37 / Trafilato / tutte le normative  
Tipo Tondo  
Lunghezza 32,5 mm  
Mostra grezzo  Asse A

Filtri  
Designazione     
D1 >= di 0,0 mm D3 >= di 0,0 mm   
D2 >= di 0,0 mm D4 >= di 0,0 mm  Valori esatti

Gestione avanzata dei sovrametalli  
Lunghezza (+) 2,000 mm   
Lunghezza (-) 0,500 mm

Figura 3.13 - LeanCOST, modifica materia prima.

Il secondo step consiste nell'eliminare operazioni superflue, in questo caso la sfacciatura posteriore, le centrature per i fori trasversali e impostare per le gole una strategia di tornitura esterna, al posto della strategia per gole: queste verranno quindi eseguite con un'unica passata. È poi necessario spostare le operazioni nelle fasi di appartenenza in accordo con quanto fatto dal pianificatore aziendale. In questo caso le gole vanno spostate dalla seconda alla prima fase, mentre il resto è già posizionato correttamente.

Ora, per ogni operazione si devono adeguare i parametri tecnologici a quelli effettivi e il tempo accessorio della macchina relativo al tempo di cambio mandrino che passa da 10 secondi a 4 secondi, in accordo con le caratteristiche della macchina reale.

In ultimo è necessario disattivare la seconda fase, poiché questa viene eseguita in parallelo alla prima fase e dunque non deve essere considerata nel calcolo del tempo ciclo.

Con le modifiche fatte si ottiene quindi un tempo ciclo pari a 64 secondi, contro i 65 secondi effettivi registrati a bordo macchina. Seguendo un procedimento del tutto analogo, si può ripetere l'analisi manuale per tutti i pezzi campione per confrontare in ultimo i risultati nel capitolo dedicato.

Questo primo risultato è un indizio di come LeanCOST possieda tutti gli strumenti necessari a poter ottenere un preventivo molto affidabile e puntuale, tuttavia per poter conseguire questo risultato attraverso l'analisi automatica sarà necessario rivedere le logiche del programma utilizzando come linea guida la procedura seguita per l'analisi manuale dei pezzi.

### 3.1.3 Modifica di database e logiche

LeanCOST offre diverse possibilità di personalizzazione del database, con la possibilità di costruire, a partire da quello esistente, un database locale in cui raccogliere le conoscenze e strategie proprie dell'azienda.

Per raggiungere tale funzionalità si deve navigare nella tab "Amministratore". La prima opzione di interesse per la modifica è "Strumenti di amministrazione" che contiene strumenti per la modifica di materiali, utensili, operazioni e macchine. L'altro strumento fondamentale è il "Database Manager" che si può raggiungere dalla voce "Gestione server data".



Figura 3.14 - LeanCOST, tab Amministratore.

#### 3.1.3.1 Gestore delle materie prime

Il gestore delle materie prime è uno strumento che consente la modifica del database dei materiali, nonché delle materie prime ad essi associate. All'interno del Gestore delle materie prime, è possibile aggiungere o modificare i materiali presenti nella tab "Materiali" e in seguito aggiungere i grezzi di interesse per ogni materiale dalla tab "Materie prime". A titolo di esempio si aggiunga una barra di acciaio automatico 11SMn37.

Materiale	Informazioni	Fattore	Densità [kg/m³]
Metalli ferrosi			
Acciai normali			
Acciaio - 100Cr6 - 1.355 - SAE 52100		0.8	7850
Acciaio - 15CrNi4 - 1.5714		1	7850
Acciaio - 19CrNi4Pr - 1.5715		0.84	7850
Acciaio - 15NiCrMo12 - 1.6557 - SAE 9310		0.77	7850
Acciaio - 17NiCrMo5 - 1.6566 - 18NiCrMo5 - SAE 4317		0.8	7850
Acciaio - 34CrAlMo7 - 1.8507 - SAE A395 Cl D		0.72	7850
Acciaio - 35SMnP10 - 35SMnP14 - 1.0765 - SAE 11L37		0.72	7850
Acciaio - 41CrAlMo7 - 1.8509		0.72	7850
acciaio prova		2	7850
Acciaio normale - S275JR(U)(Q2) - 1.0044/1.0143/1.0145 - Fe 430 - ASTM A36		1.4	7850
Acciaio normale - 42CrMo4 - 1.7225 - SAE 4140		0.85	7850
Acciaio normale - C45 - 1.0503 - SAE 1045		1	7850
Acciaio - 20MnCr5 - 1.7147 - AISI 5120		0.95	7850
Acciaio normale - 39NiCrMo3 - 1.6510		0.8	7850
Acciaio normale - C40 - 1.0511 - SAE 1040		1	7850
Acciaio normale - S235JR(U)(Q2) - 1.0038/1.0114/1.0117 - Fe 360		1.4	7850
Acciaio normale - E295 - 1.0050 - Fe 490		1.1	7850
Acciaio - 16MnCr5 - 1.7131 - 16MnCr5 - AISI 5115		0.97	7850
Acciaio normale - S355JR(U)(Q2K2) - 1.0045/1.0553/1.0571/1.0596 - Fe 510 - ASTM A 572-50		1.1	7850
Acciaio - 34CrAlNi7 - 1.8500		0.75	7850
Acciaio normale - 10S20 - 1.0721 - SAE 1108		1.34	7850
Polveri AM - Acciaio - 16MnCr5		1	7850
Acciaio - S700MC - 1.8974 - ASTM A514		0.74	7850
Acciaio normale - DC01 - 1.0330 - FeP01 - ASTM A366CQ		1.6	7850
Acciaio normale - DD13 - 1.0335 - FeP13 - ASTM D8 Type B		1	7850
Acciaio normale - DX51D - 1.0917 - ASTM A663 CS		1	7850
Acciaio normale - DC04 - 1.0338 - FeP04 - ASTM A620QSK		1.82	7850
Acciaio normale - DC07 - 1.0898		1.82	7850
Acciaio normale - DD12 - 1.0386 - FeP12		1	7850
Acciaio - 43CrAlNiMo6 - 1.2736 - AISI P20+Ni		0.94	7830
Acciaio normale - DD14 - 1.0389		1	7850
Acciaio - 43CrAlNiMoS86 - 1.2312 - AISI P20+S		0.88	7850
Acciaio normale - DC06 - 1.0873		1.82	7850
Acciaio normale - DC03 - 1.0347 - FeP02 - ASTM A618DQ		1.82	7850
Acciaio normale - DD11 - 1.0332 - FeP11 - SAE C1008		1	7850

Figura 3.15 - LeanCOST, gestore materie prime.

Facendo click sul tasto "Aggiungi" si propone una finestra in cui viene chiesto il nome del materiale da aggiungere in diverse lingue, la categoria di metallo, in questo caso si tratta di un metallo ferroso, e la sottocategoria di appartenenza, in questo caso si ha un acciaio normale. La scelta di quest'ultima caratteristica è molto importante perché è su questa che si baserà il software nel momento dell'assegnazione dei parametri di taglio, quali velocità di taglio, avanzamento al giro e profondità di passata. La velocità di taglio, in particolare, verrà poi moltiplicata per un fattore, che è quello da inserire nella finestra presente, che ne definisce la lavorabilità rispetto ad un acciaio da costruzione C45, a cui è dunque assegnato un fattore unitario. Per l'acciaio in esame si assegna un valore di partenza pari a 0.72, in accordo con altri acciai automatici già presenti a database; tale fattore verrà poi modificato secondo esperienza.

Al materiale così aggiunto vanno assegnate le materie prime di partenza dalla tab “materie prime”. Si aggiunga, ad esempio, una barra  $\varnothing 14$ , di lunghezza 3000mm, con un costo di partenza pari a 0.8 €/kg.

The screenshot shows the 'Modifica profilato' (Modify profile) dialog box. The fields are as follows:

- ID: 8e8c0171-270e-4d8d-8bdf-c98c10db6162
- Codice aziendale: (empty)
- Nome:
 

Italian	Barra - $\varnothing 14$
English	Barra - $\varnothing 14$
French	
- Materiale: Acciaio automatico - 11SMn37 - CUSTOM
- Tipo: Tondo
- Stato: -
- Normativa: (empty)
- D1: 14.0 mm
- D2: 14.0 mm
- D3: 14.0 mm
- D4: 14.0 mm
- Sezione: 153.938 mm<sup>2</sup>
- Costo: 0.800 EUR/kg (selected), 0.967 EUR/m (unselected)
- Lunghezza commercial: 3000 mm
- Dataset:
  - Tutti
  - Hyperlean EU
  - Hyperlean POL
  - Hyperlean IND
  - Hyperlean CHN - Shanghai
- Enable:
- Favorite:

Figura 3.16 - LeanCOST, finestra aggiunta materia prima.

La medesima procedura va ripetuta per ogni materia prima di partenza che si intende utilizzare, per ogni nuovo materiale. In alternativa, per rendere la procedura più rapida si potrebbero clonare le materie prime da un altro materiale preesistente, ereditandone tutte le caratteristiche.

### 3.1.3.2 Gestore delle macchine

Il gestore macchine si utilizza, invece, per aggiungere o modificare le macchine nel database. La procedura consigliata è quella di copiare una macchina esistente, che sia molto simile a quella da aggiungere, e modificarne i parametri di interesse. In questo esempio si aggiunga una Cincom L20, un tornio a fantina mobile che può lavorare diametri fino a 20mm.

The screenshot shows the 'Gestione macchine' application window. At the top, there are menu options: 'File', 'Strumenti', 'Dataset'. Below the menu is a toolbar with buttons: 'Macchine', 'Macchine e parametri', 'Ripartizione costi macchina', and 'Categorie di macchine'. A 'Show/Hide parameters...' button is also visible. The main area contains a table with the following columns: 'Categorie', 'Nome', 'Dataset', 'Fattore tecnologico', 'Costo unit.', 'Unità di misura', 'Tempo accessorio', and 'Note'. The table lists various machine models and their specifications. At the bottom, there are buttons for 'Selezione macchine da ID', 'Copia macchine', 'Incolla macchine', 'Aggiungi macchina', 'Modifica macchina', and 'Elimina macchina'.

Categorie	Nome	Dataset	Fattore tecnologico	Costo unit.	Unità di misura	Tempo accessorio	Note
Tornitura	Tornio orizzontale pesante - grande	Hyperlean USA	1	121.5459	USD/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio orizzontale pesante - grande	Hyperlean CHN - Shanghai	1	597.5974	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio di precisione	Hyperlean CHN - Jiangxi	1	261.2612	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio fantina mobile (produzioni di serie)	Hyperlean CHN - Jiangxi	1	296.4250	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio fantina mobile (produzioni di serie)	Hyperlean CHN - Shanghai	1	327.1996	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio parallelo	Hyperlean CHN - Guangdong	0.5	163.3200	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio orizzontale pesante - medio	Hyperlean POL	1	259.8912	PLN/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da barra - piccolo	Hyperlean CHN - Jiangxi	1	207.3319	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio di precisione	Hyperlean USA	1	75.6755	USD/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da barra - piccolo	Hyperlean CHN - Guangdong	1	215.5463	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio parallelo	Hyperlean POL	0.5	103.5120	PLN/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da barra - medio	Hyperlean EU	1	45.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio parallelo	Hyperlean EU	0.5	38.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio fantina mobile (produzioni di serie)	Hyperlean CHN - Guangdong	1	299.4184	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio automatico multiasse - 8 Mandrini	Hyperlean CHN - Jiangxi	1	743.2052	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da ripresa con motorizzati - medio	Hyperlean IND	1	1.996.7628	INR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio fantina mobile (produzioni di serie)	Hyperlean EU	1	55.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio automatico multiasse - 8 Mandrini	Hyperlean IND	1	8.364.4752	INR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio multitasking - medio	Hyperlean CHN - Shanghai	1	355.7424	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio verticale - medio	Hyperlean CHN - Shanghai	1	366.4918	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio verticale - grande	Hyperlean EU	1	90.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio parallelo	Hyperlean CHN - Shanghai	0.5	177.5200	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da ripresa con motorizzati - medio	Hyperlean POL	1	150.9403	PLN/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da ripresa senza motorizzati - piccolo	Hyperlean EU	1	48.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio di precisione	Hyperlean EU	1	60.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio verticale - grande	Hyperlean IND	1	4.854.5194	INR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio orizzontale pesante - medio	Hyperlean IND	1	4.316.1967	INR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da barra - medio	Hyperlean CHN - Jiangxi	1	226.5073	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio da ripresa con motorizzati - medio	Hyperlean EU	1	53.0000	EUR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio di precisione	Hyperlean CHN - Shanghai	1	322.5584	RMB/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio orizzontale pesante - grande	Hyperlean IND	1	5.610.0942	INR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-
Tornitura	Tornio verticale - medio	Hyperlean IND	1	3.560.6219	INR/h	Setup tornitura - LC 8.0	-

Figura 3.17 - LeanCOST, gestore macchine.

Si copi la macchina "tornio a fantina mobile (produzione di serie)". Facendo poi click sul tasto "Modifica" sarà possibile settare i parametri necessari.

Nella tab "Generali" si rende necessario modificare soltanto il nome ed il costo orario della macchina.

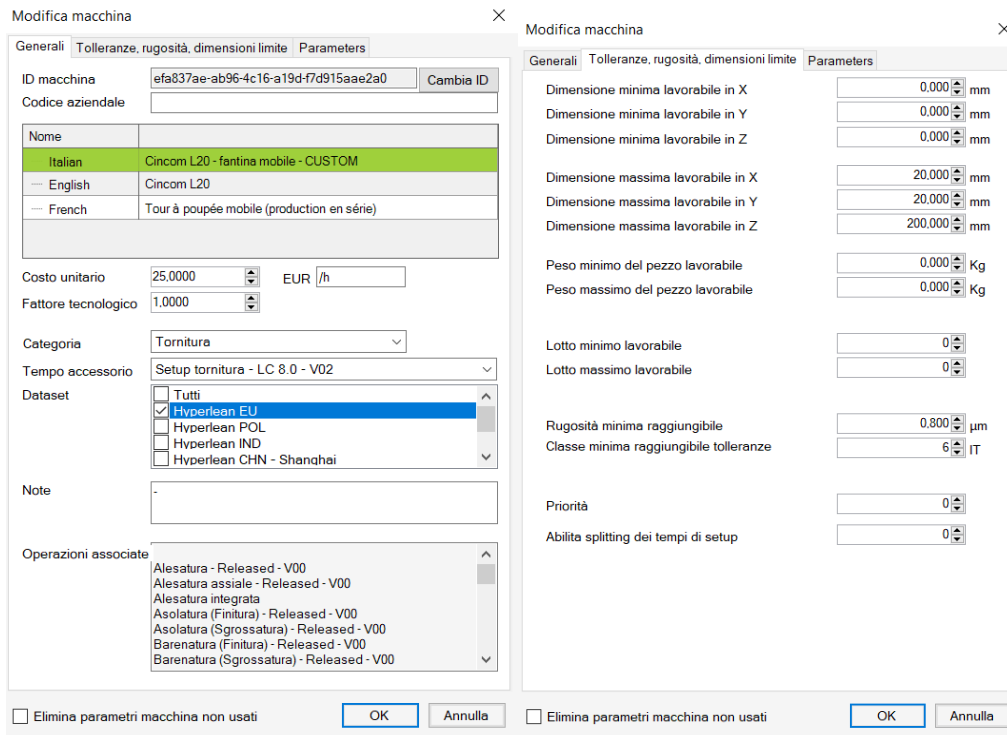


Figura 3.18 - LeanCOST, modifica parametri macchina.

Nella tab “Tolleranze, rugosità, dimensioni limite” si impostino le dimensioni massime lavorabili in X e Y entrambe pari a 20mm, in accordo con quanto detto sopra rispetto ai limiti della macchina.

Passando all’ultima tab “Parameters”, qui le voci più importanti sono: il numero di assi controllati; i massimi regimi di rotazione per i mandrini e i motorizzati; il tempo di cambio mandrino; il numero di torrette; massimo diametro della barra. In questo caso di è modificato il tempo di cambio mandrino, portandolo da 9s a 3.6s; la dimensione massima della barra a 20mm.

Modifica macchina ×

Generali | Tolleranze, rugosità, dimensioni limite | **Parameters**

Parametro	Tipo valore	Valore	String Valore
AxisCount	Double	5	
ChuckChangeTime	Double	0,06	
DrivenTools	Double	1	
MachineType	String	0	205
MaxBarDimension	Double	20	
MillingHead	Double	0	
nMaxM	Double	4000	
nMaxP	Double	8000	
PreLoadedToolsN...	Double	0	
RapidTraverseAcele...	Double	5	
RapidTraverseSpeed	Double	25	
RestTime	Double	0	
TailstockTime	Double	0	
Tatt	Double	35	
ToolChangeTime	Double	0	
ToolingTimeInMachine	Double	1	
ToolingTimeInTool...	Double	5	
TurretsNumber	Double	2	
TuToolProgramming	Double	1	
UnitaryCostTooling	Double	40	

Elimina parametri macchina non usati OK Annulla

Figura 3.19 - LeanCOST, modifica parametri macchina, tab Parameters.

### 3.1.3.3 Gestore degli utensili

Una volta aggiunta la macchina si può entrare nel Gestore degli utensili in modo da verificare quali utensili siano stati assegnati alla macchina. Da qui si possono aggiungere o rimuovere degli utensili a seconda di necessità. Occorre tenere a mente che eliminare degli utensili comporterà l'impossibilità di eseguire determinate operazioni sulla macchina. In questo caso non si è resa necessaria alcuna modifica.



### 3.1.3.4 Database Manager – Modifica dei parametri di taglio

Questo è forse lo strumento più importante e delicato in quanto contiene al suo interno tutte le matrici che il software adopera per definire le relazioni tra le varie entità del programma. Ad esempio la matrice che collega gli utensili alle operazioni, la matrice che assegna agli utensili i possibili inserti e i parametri di taglio per il singolo inserto.

In questo caso una delle modifiche che si vuole effettuare è quella di ridimensionare i parametri di taglio per l'operazione di tornitura esterna di sgrossatura. Questo perché si è rilevato sui pezzi campione che, sebbene le velocità di taglio siano del giusto ordine di grandezza, l'avanzamento per giro risulta troppo elevato e la profondità di passata risulta troppo contenuta, quest'ultima comporta la necessità di eseguire un gran numero di passate di sgrossatura con influenza decisiva sul tempo dell'operazione. Per modificare questi parametri occorre innanzitutto risalire al codice assegnato all'operazione di tornitura esterna, ad esempio entrando nel gestore delle operazioni e leggendo il codice di interesse. Identificata l'operazione si può navigare nella tabella "TurningCutterDefault" che riporta l'utensile assegnato a data operazione. Qui si riconosce che lo stesso utensile è assegnato a diverse operazioni oltre alla tornitura cilindrica esterna, come tornitura conica esterna (sgrossatura), sfacciatura (sgrossatura), profilatura esterna (sgrossatura) e profilatura frontale (sgrossatura). A questo punto dalla tabella "TurningCutters" si possono identificare gli inserti collegati all'utensile di interesse. Noto l'inserto si entra nella matrice dei parametri di taglio, denominata "TurningCutterInsertParameters", e si può intervenire manualmente sui valori assegnati, per i materiali di interesse. Nel caso corrente si vuole, per gli acciai normali, ridurre l'avanzamento al giro intervenendo sul fattore moltiplicativo relativo ad esso, un coefficiente minore di 1 andrà ad attenuare l'avanzamento.

WorkCondition	Diameter	Vc	VcFactor	Fn	FnMax	FnFactor	Ap	ApFactor
Normal	0	530	0.7	0.13	0.13	1	0.64	1
Normal	15	410	0.7	0.175	0.175	1	0.72	1
Normal	25	370	0.7	0.25	0.25	1	2	1
Normal	50	350	0.7	0.3	0.3	1	3	1
Normal	500	325	0.7	0.35	0.35	1	4	1
Normal	99999	325	0.7	0.35	0.35	1	4	1

Figura 3.20 - LeanCOST, Database Manager, parametri di taglio.

Allo stesso modo si aumenterà la profondità di passata impostando il fattore relativo ad un valore superiore a 1.

Con metodologia identica a quanto sopra, si modifichi la velocità di taglio relativa all'utensile troncatura che si è riscontrato in precedenza essere troppo bassa.

WorkCondition	Diameter	Vc	VcFactor	Fn	FnMax	FnFactor	Ap	ApFactor
Normal	0	125	2.2	0.05	0.05	1	0	1
Normal	15	125	2.2	0.05	0.05	1	0	1
Normal	25	140	2.2	0.12	0.12	1	0	1
Normal	50	140	0.7	0.12	0.12	1	0	1
Normal	500	140	0.7	0.18	0.18	1	0	1
Normal	99999	140	0.7	0.18	0.18	1	0	1

Figura 3.21 - LeanCOST, Database Manager, parametri di taglio modificati.

La velocità di taglio per la troncatura viene assegnata a seconda del diametro di partenza, quindi la modifica andrà ripetuta su tutti i diametri di interesse, in questo caso fino al diametro di 25mm.

Avendo poi riscontrato un numero di passate troppo abbondante nelle operazioni di tornitura interna, si vuole aumentare la profondità di passata anche per gli inserti relativi a queste con procedura identica a quanto sopra.

Anche qui l'inserto per stelo da tornitura interna ha parametri di taglio in funzione del diametro iniziale della lavorazione e si vuole modificare tutti i valori presenti.

L'altra operazione su cui si vuole intervenire è la foratura assiale profonda per la quale si sono riscontrati velocità di taglio e avanzamento al giro troppo contenuti. La procedura è simile a quella vista in precedenza, tuttavia ora le matrici che regolano le forature riportano tutte nel nome la dicitura "Milling". A partire dal codice dell'operazione si risale ai codici delle punte utilizzate e si nota che anche in questo caso, nella tabella "MillingDrillCutterParameters", per ogni punta vengono assegnati i parametri di taglio in base al diametro del foro da realizzare. Per coprire tutti i diametri si modificano tutte le voci presenti.

Con questo si ha una panoramica della metodologia utilizzata per modificare molte delle voci del database. Tuttavia, questa è solo parte del processo, infatti una customizzazione completa consiste nella modifica di database e logiche. Purtroppo, gli strumenti di personalizzazione forniti nella versione "student" del software, che è quella resa disponibile per questo studio, consentono soltanto la modifica del database e non delle logiche. Questo pone un limite importante ai risultati ottenibili e si potrà intervenire soltanto acquisendo nel futuro la versione commerciale del software.

Per comprendere meglio l'importanza che avrebbe poter intervenire sulle logiche adottate, si pensi ad esempio alla strategia di realizzazione delle gole (che si è visto calcolare di default un numero di tuffi troppo elevato, con conseguente incremento dei tempi di lavorazione), alla configurazione dei cicli di scarico truciolo nelle forature profonde, alla impostazione delle extra-corse di attacco e stacco dal pezzo, e molte altre ancora. Tuttavia, il limite più importante è sicuramente quello di non poter disabilitare automaticamente la seconda fase di lavorazione: questo comporta che il tempo necessario al completamento della seconda fase viene sommato a quello della prima fase nel calcolo del tempo ciclo. Ciò è scorretto in quanto la seconda fase avviene contemporaneamente alla prima e, poiché deve richiedere un tempo strettamente inferiore alla prima, questa non deve in alcun modo influire sul tempo ciclo. Sotto queste considerazioni è chiaro che nel peggiore dei casi, quello in cui i tempi di prima e seconda fase si eguagliano, il tempo ciclo risulterebbe doppio rispetto a quello reale.

## 3.2 Esprit CAM per la tornitura

Come anticipato nel capitolo precedente, un componente fondamentale alla programmazione delle macchine utensili CNC è il software CAM. Ciò non significa che esso sia indispensabile, infatti molte aziende scelgono di adottare una programmazione interamente manuale invece di quella assistita dal calcolatore. Ci sono diverse ragioni per cui si potrebbe voler fare questa scelta: ad esempio perché magari gli attrezzisti presenti in azienda hanno familiarità con la programmazione manuale e adottare la programmazione assistita potrebbe introdurre non poche difficoltà per questi: occorre formare il personale sull'utilizzo in generale di un computer e sull'utilizzo specifico del software: questo non è affatto banale e richiede molta flessibilità mentale da parte dell'attrezzista. Inoltre si potrebbe affermare che la programmazione manuale essendo una programmazione di basso livello, consente un controllo molto più puntuale del codice in uscita.

Per queste ed altre ragioni, spesso le aziende sono riluttanti nell'introduzione di questa tecnologia. Tuttavia, si supponga di possedere personale formato sull'utilizzo di questo software; in questo caso sono numerosi i vantaggi che questa innovazione potrebbe introdurre: standardizzazione delle metodologie di programmazione, realizzazione di lavorazioni che sarebbero eccessivamente complicate da programmare manualmente (si pensi ad esempio ad una lavorazione a 5 assi), comunicazione con tutti gli altri software aziendali per il monitoraggio della produzione, introduzione di automazione, creazione di database aziendali di utensili, lavorazioni e parametri di taglio standardizzati.

Proprio su questo ultimo punto il software Esprit offre molte possibilità: consente infatti di creare un database in cui, a seconda dei materiali utilizzati, gli utensili a disposizione e la lavorazione da eseguire, suggerisce i parametri di taglio da utilizzare in accordo con lo storico di pezzi analizzati in precedenza. Non solo, permette anche di creare un proprio database di lavorazioni da applicare alle relative features, con un semplice click: all'interno di tali lavorazioni si potranno inserire, piuttosto che valori fissi, delle formule o variabili così che la singola lavorazione si auto adatti alla particolare feature selezionata. Dovrebbe essere chiaro a questo punto che questo è uno strumento fondamentale all'automazione del processo di programmazione. Lo scopo di questa sezione terminale dello studio è proprio quella di modellare il software per poterlo usare come strumento di programmazione semi-automatico.

Nel seguito si mostrerà la procedura per la programmazione in un pezzo in Esprit 2000 e TNG, mettendo in evidenza i punti su cui è possibile intervenire per introdurre automazione e vedremo infine le strategie che si sono messe in atto per garantire affidabilità e ripetibilità del risultato.

### ***3.2.1 Programmazione CAM di torni a fantina mobile***

Per i torni a fantina mobile si è adottato il software Esprit 2000 in quanto, allo stato attuale, è l'unico pacchetto offerto dalla Hexagon che ne supporti la programmazione. Per questo studio, dopo una iniziale formazione sul software, mi sono cimentato nella programmazione di una parte reale da poter testare in macchina così da essere in grado di valutare le potenzialità del software, eventuali problematiche e limiti su cui intervenire e verificare la bontà del risultato per una sua prossima introduzione nel sistema produttivo.

Il pezzo adoperato come campione per questo test è quello mostrato in figura. Sulla base di geometrie e prescrizioni si dovrà creare il programma macchina da testare poi sulla macchina reale.



La macchina target, invece, è una Cincom M32 VIII, un centro di tornitura a fantina mobile CNC che può lavorare pezzi fino ad un diametro massimo di 32mm e una lunghezza di 320mm. La cinematica della macchina è mostrata in figura.

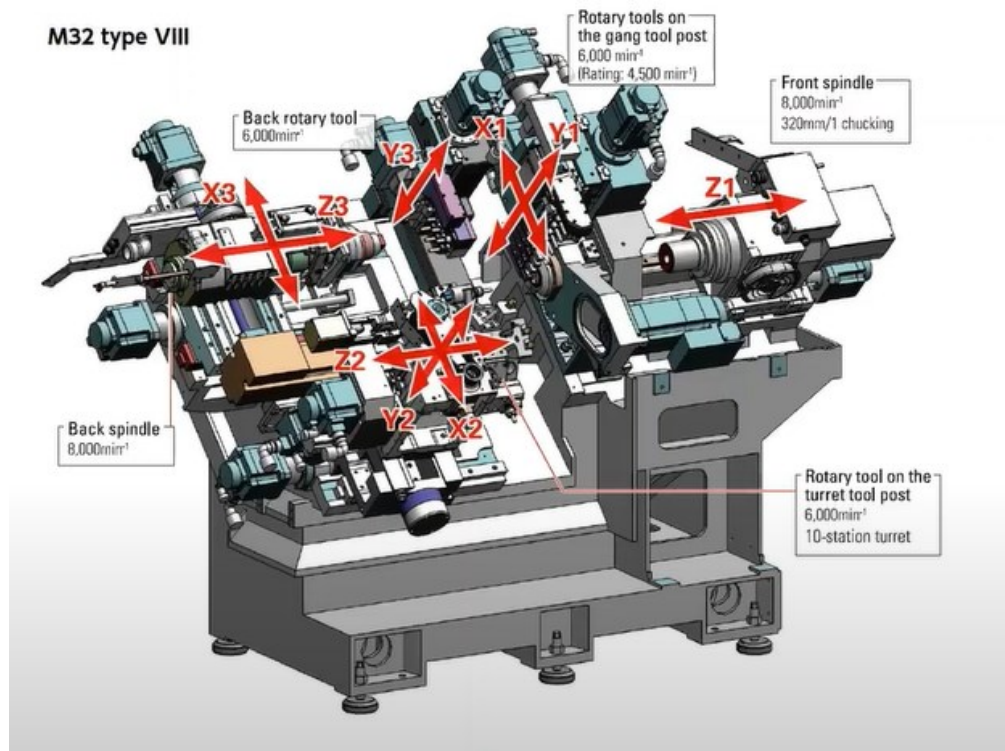


Figura 3.23 - Cinematica Cincom M32 VIII.



Figura 3.24 - Cincom M32, torretta.

Essa è dotata di nove assi controllati e, diversamente da altri torni della stessa famiglia, possiede una torretta, cui assi sono quelli denominati in figura come X2, Y2 e Z2. Essa è dotata di dieci stazioni per utensili, motorizzati e non, che consentono di eseguire tornitura e/o fresatura su mandrino principale o sul contromandrino a seconda di necessità di lavorazione.

È una macchina molto flessibile che consente anche di eseguire lavorazioni simultanee o anche torniture sostenute, sfruttando le capacità della torretta, in cui lavorano contemporaneamente l'utensile per sgrossatura e l'utensile per finitura andando ad abbattere il tempo necessario a completare la singola lavorazione. Il centro di tornitura è provvisto infine di caricatore automatico di barre di lunghezza massima 3000mm.

Vediamo ora quali sono gli step da seguire per programmare un pezzo all'interno del software, evidenziando man a mano le difficoltà incontrate e come si è pianificato di intervenire.

### **3.2.1.1 Selezione del template della macchina**

Come prima cosa verrà richiesto dal software di selezionare il template della macchina da utilizzare. Questo è specifico per ogni macchina e ne costituisce una riproduzione tridimensionale fedele. Infatti all'interno del template sono contenute tutte le caratteristiche geometriche, cinematiche e dinamiche della macchina, ad esempio gli assi che può controllare, le potenze di mandrini e motorizzati e le postazioni utensili che si possono sfruttare. Tutte queste informazioni sono utilizzate dal software per valutare la fattibilità delle lavorazioni previste e la presenza di eventuali collisioni che si potrebbero creare a seguito di una errata programmazione. Una volta selezionato il corretto template, in questo caso quello dell'M32, esso va aggiornato andando ad aggiungere i portautensili che si sfrutteranno effettivamente in macchina e rimuovendo quelli inutilizzati in modo da evitare interferenze indesiderate. Quali portautensili installare e dove posizionarli sono scelte che devono essere fatte in questa fase, se la macchina non è ancora attrezzata, oppure possono essere ereditate da una macchina già attrezzata, avendo cura di riportare correttamente la configurazione adottata altrimenti si potrebbe incorrere in collisioni con conseguente danneggiamento di utensili e macchina.

Esprit offre un menù in cui è possibile assegnare i solidi, che rappresentano i vari portautensili, alle relative stazioni.



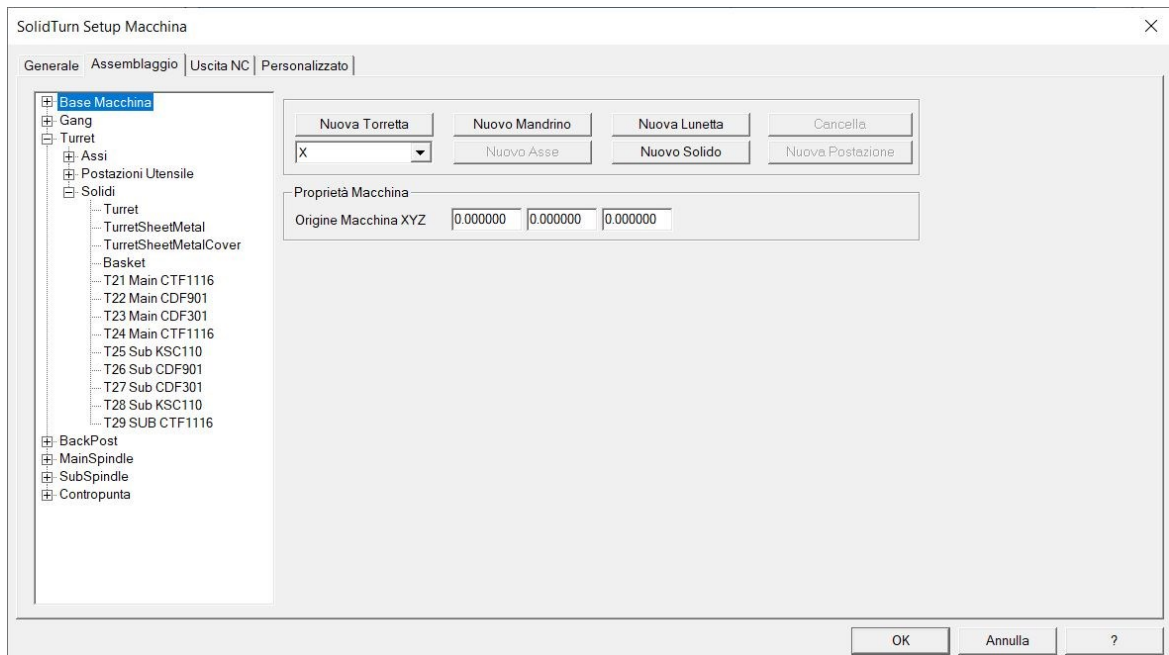


Figura 3.25 - Esprit, finestra Setup Macchina, tab Assemblaggio.

### 3.2.1.2 Importazione del file della parte

Si importi il file della parte utilizzando la voce “Apri” del menù “File” e selezionando il file corretto. Diversi formati di file sono supportati dal software, anche se in questo caso si utilizzerà un file STEP, per la sua compatibilità col software di preventivazione. Una volta caricata la parte si può utilizzare lo strumento “Misura” per ottenere gli ingombri del pezzo, in alternativa alla lettura del disegno meccanico del componente. Occorre ora orientare la parte in modo da posizionare l’asse X del sistema di riferimento lungo l’asse del pezzo ed infine centrarlo lungo le direzioni restanti. A questo punto è tutto pronto per poter definire il grezzo di lavorazione.

### 3.2.1.3 Impostazione del grezzo di lavorazione

La creazione del grezzo avviene tramite lo strumento "Setup" che si trova in "Lavorazioni comuni". Nella sezione "Configurazione semilavorato" viene richiesto il tipo di grezzo di partenza, in questo caso una barra, il diametro della barra, la lunghezza della barra e del pezzo. Per impostare un sovrametallo frontale lo si può inserire come valore negativo all'interno della casella "Posizione iniziale Z".

Definizione Macchina		Configurazione Semilavorato	
Nome macchina	M4 20-32 Type8	Tipo di Semilavorato	Barra
Posizione Iniziale Z	-0.500000	Diametro Barra	15.000000
Posizione Iniziale X	0.000000	Diametro Interno	20.000000
Posizione Iniziale Y	0.000000	Diametro Max.	32.000000
		Lungh. Tot. Barra	3000.000000
		Lunghezza Pezzo	110.000000

Ritiro Fresa Tornio Rotativo		Varie	
Posizione di Retrazione	Cambio Utensile	Simulaz. Offset CN	Lungo Attacco/Staccc
Sicurezza Rotativa	199.9996	Rapido 45°	Inattivo
Posizione di Parcheggio	X: 0 Y: 0 Z: 0	Ottimiz. Percorso Ut.	Inattivo
		Tempo Index Rot.	0
		Ottimizza Tolleranza	0.0102
		Modo Velocità Avanzamento Assiale	Ogni Movimento Non-Laterale
		Rotazione Utensile Angolare	Utensili di Tornitura

5-Assi	
Modo Coordinate RTCP	Fisso
<input type="checkbox"/> Calcola Collegamenti	Impostazioni

Figura 3.26 - Esprit, finestra Setup Macchina, tab Generale.

Occorre poi definire il grezzo come solido all'interno dello strumento "Parametri di simulazione" al cui interno, sotto la tab "Solidi", si può creare il grezzo selezionando il tipo di solido come grezzo, impostarne la geometria come "Cilindro" sotto la voce "Creato da:" e inserire le dimensioni del cilindro come mostrato in figura.

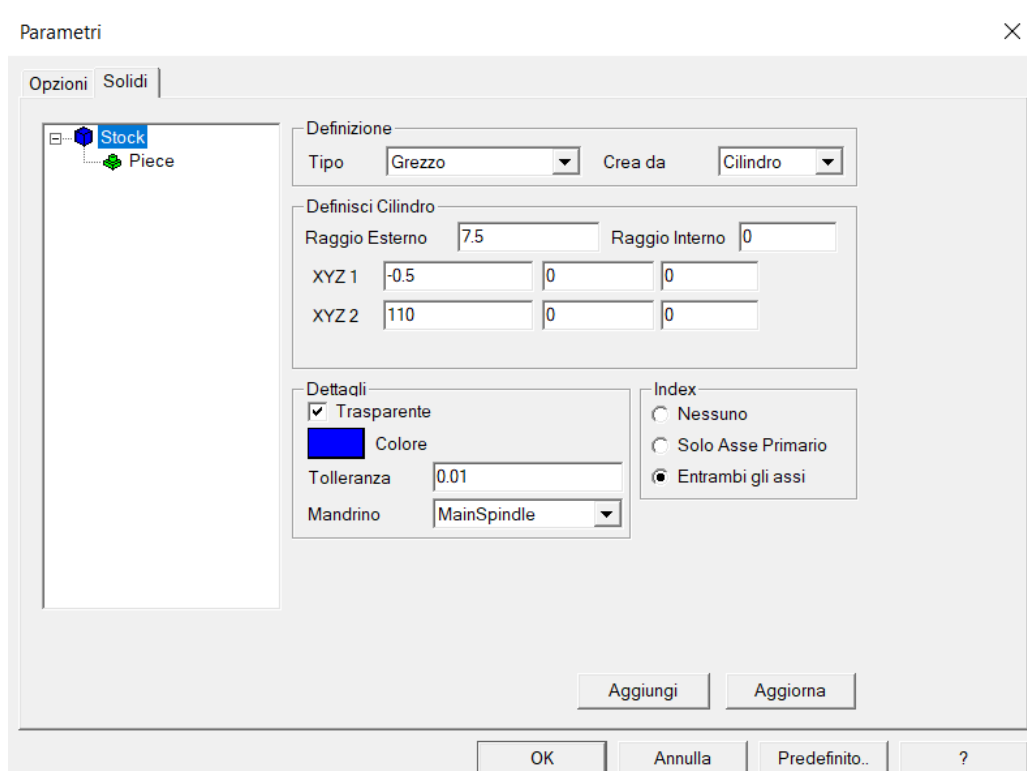


Figura 3.27 - Esprit, finestra Solidi di Simulazione.

Nella prima casella della voce “XYZ 1” va impostato il sovrametallo con valore negativo, in questo caso pari a -0.5mm; nella prima casella della voce “XYZ 2” va inserita la lunghezza totale del pezzo, in questo caso 110mm.

Infine, si definisca la parte finita all’interno della medesima tab andando a selezionare il solido della parte. Con questo il grezzo e la parte sono interamente definite e possono quindi essere utilizzati per la simulazione delle operazioni nell’ambiente macchina.

Come è facile intuire il processo di definizione iniziale della parte è poco intuitivo e molto macchinoso, soprattutto nella gestione di sovrametalli e dei solidi, proprio perché richiede il passaggio attraverso due strumenti differenti prima di arrivare a definire grezzo e parte. Questo è uno dei punti su cui si interverrà in seguito per migliorare l’usabilità e soprattutto la rapidità d’uso del software.

### 3.2.1.4 Aggiunta degli utensili

Navigando alla tab utensili è possibile aggiungere un nuovo utensile o caricarne uno precedentemente definito. Quest'ultima opzione non è sempre disponibile perché, per la vastità di utensili utilizzati all'interno dell'azienda, raramente l'utensile da inserire è già stato implementato.

Vediamo allora come poterne aggiungere uno da zero. Occorre innanzitutto definire la tipologia di utensile, che sia un tornitore, un troncatore, un utensile per gole, una punta, una fresa e così via. Scelto il giusto tipo di utensile se ne potranno inserire tutte le caratteristiche all'interno della tab utensile: inserire nome, numero e numero del correttore; caratteristiche geometriche dell'utensile; caratteristiche geometriche dell'inserito. Tutte queste caratteristiche devono essere prese da catalogo utensili a partire dal codice dell'utensile che si desidera inserire. Infine, si dovrà specificare il posizionamento dell'utensile nelle relative stazioni: questo può essere definito in questa sede se la macchina non è ancora attrezzata, oppure può essere ereditato da un attrezzaggio preesistente, il che richiede di prendere manualmente misure all'interno della macchina e riportarle nel software.

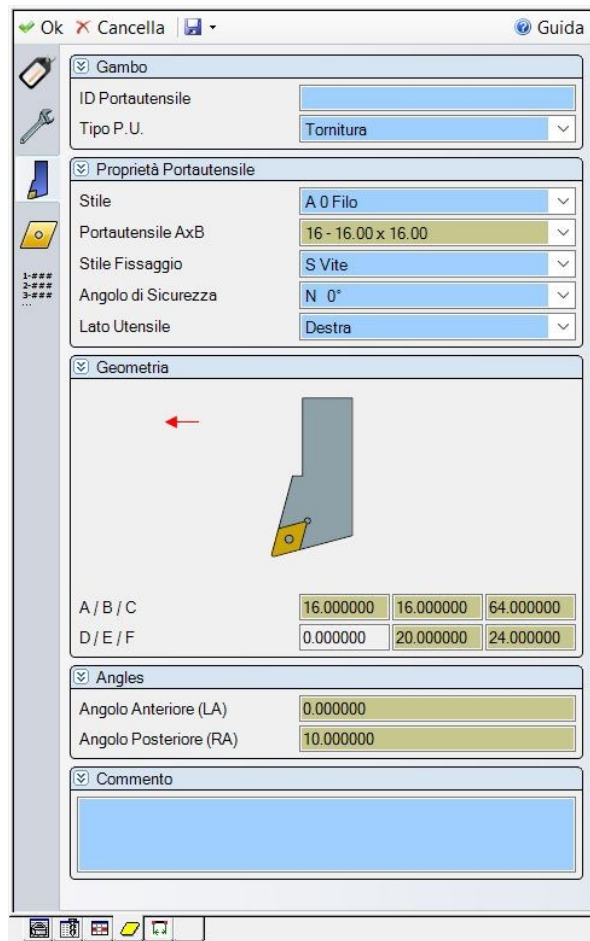


Figura 3.28 - Esprit, tab aggiunta di un nuovo utensile.

Sebbene riportare esattamente tutte le caratteristiche non sia indispensabile, quelle che coinvolgono gli ingombri esterni dovrebbero essere assolutamente riportate altrimenti si avrebbe una simulazione errata che può portare ad avere collisioni inaspettate a bordo macchina. Riassumendo, si dovrà trovare l'utensile nel catalogo noto il suo codice, leggerne tutte le caratteristiche geometriche e riportarle una ad una all'interno del programma. Inserire anche un singolo utensile può richiedere diversi minuti, si pensi di doverlo ripetere per le decine di utensili necessari alla realizzazione di un pezzo di modesta complessità.

Questa procedura necessita senza dubbio di automazione, non solo per questioni di tempo ma anche per minimizzare l'insorgenza dell'errore umano nella trascrizione delle grandezze. Si proporrà nel seguito una macro appositamente realizzata per questo studio che porrà rimedio a tutti questi inconvenienti nell'aggiunta di nuovi utensili.

Assumendo di aver aggiunto l'intera lista utensili al progetto, si può passare alla creazione delle lavorazioni.

### **3.2.1.5 Creazione di catene e features**

Una catena è un'entità in Esprit che definisce la traccia su cui poter costruire poi un percorso utensile. È generalmente definita dai punti di inizio e fine, che saranno poi i punti di attacco e stacco per dell'utensile, e da un verso di percorrenza, che definisce in che direzione si muoverà l'utensile lungo la catena. Diverse opzioni sono disponibili per la loro creazione, si può usare lo strumento di "Catena Automatica" a partire da una geometria della parte, ad esempio un segmento o un arco esistenti o appositamente creati, oppure con la "Catena Manuale". Un altro metodo per creare automaticamente le catene è quello di adoperare gli strumenti di riconoscimento di features: questi sono in grado di riconoscere nella parte i profili di tornitura, le gole, i fori, le asole, le tasche e altro ancora. Il risultato di tale riconoscimento è una particolare catena che viene denominata feature. Geometrie, catene, features e operazioni potranno essere poi organizzate in livelli per migliorare la navigazione tra i vari oggetti.

Per ogni lavorazione che si intende eseguire si deve creare una catena o feature dedicata ed associare in seguito a questa l'operazione desiderata.

### **3.2.1.6 Creazione delle operazioni**

Definite catene e features, si passo ora all'assegnazione a ciascuna delle lavorazioni da eseguire. Le lavorazioni disponibili sono numerose, tuttavia risulteranno oscurate tutte quelle operazioni che non possono essere eseguite con la macchina corrente. Si aggiunga, a titolo di esempio, un'operazione di tornitura esterna di sgrossatura indicata con la dicitura "SolidTurn - Roughing".


Generale	Nome operazione		SGROSSATURA D
	Selezione Utensile		
Strategia	Utensile	INT + TORN ANT	
	Orientamento	1V	
Sgrossatura	Impostazione Lavoro		
	Nome Mandrino	MainSpindle	
Personalizzato	Nome Testa	Testa-2	
	Velocità e Avanzamento		
	Giri RPM, CSS	2894	200
	Avanzamento PM, PR	289.400000	0.100000
	Diametro Rif.	22.000000	
	Unità Velocità	Giri/Min	
	Unità avanzamento	Al Giro	
	% Riduzione Av. Tras.	100.000000	
	Giri Max	8000	
	Gamma Mandrino	Basso	
Priorità Mandrino	Inattivo		
Usa parametri KB	No		
Commento			

Figura 3.29 - Esprit, aggiunta operazione di tornitura esterna, tab "Generale".

Nella tab "Generale" si deve definire l'utensile da utilizzare per l'operazione e il canale sul quale andrà programmata, dove: con il canale 1 si indica il "Gang tool post" che contiene tutti gli utensili del pettine principale; con canale 2 si intende la torretta; infine, con canale 3 viene indicato il "back tool post" cioè il gruppo di utensili per le lavorazioni con il contromandrino.

Vanno nella stessa tab definiti i parametri di taglio, quali velocità di taglio e di avanzamento.

Spostandosi nella tab "Strategia" si definiscono il tipo di lavorazione, che sia frontale, interna o esterna, le strategie di ingresso e uscita e l'attivazione o meno della compensazione.

Generare	☑ Strategia di Taglio	
	Tipo di Lavorazione	Esterno
Strategia	Passata di Finitura	No
	☑ Estensione Feature	
Sgrossatura	Estendi Inizio	-1.000000
	Estendi Fine	1.000000
Personalizzato	☑ Attacco/Stacco Rapido	
	Modo di Ingresso	Nessuno
	Modo di uscita	Nessuno
	☑ Controllo Collisioni	
	Modo Sottosquadro	SI
	Controllo Collisioni	SI
	Angolo Sicurezza Ant.	0.000000
	Angolo Sicurezza Post.	0.000000
	Raccordi	No
	☑ Funzioni Macchina	
	Compensazione CN	No
	Registro Comp. Lungh.	1
	Ciclo Fisso	No

Figura 3.30 - Esprit, aggiunta operazione di tornitura esterna, tab "Strategia".

In ultimo, nella tab "Sgrossatura", si definiscono i sovrametalli, la strategia di passata e il numero di passate, e la strategia di attacco e stacco dalla parte in lavorazione.



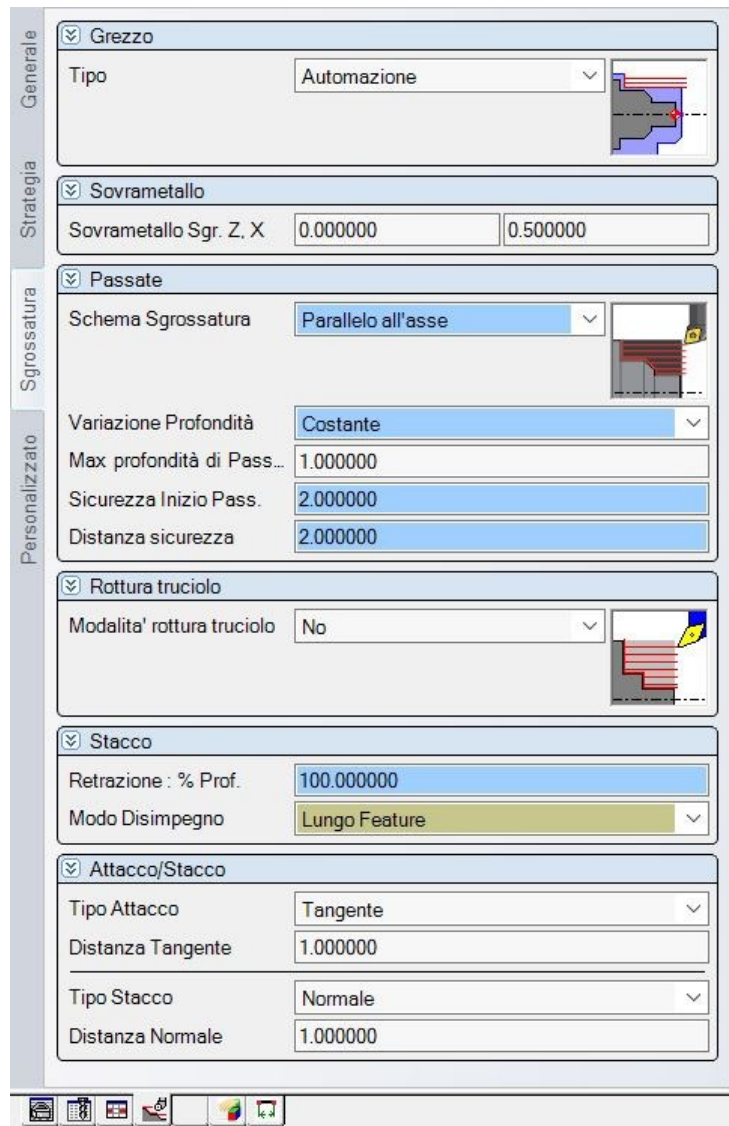


Figura 3.31 - Esprit, aggiunta operazione di tornitura esterna, tab "Sgrossatura".

È bene sottolineare che, perché il programma sia completo, devono necessariamente essere incluse le operazioni di presa pezzo e di scarico della parte, che sono essenziali al ciclo produttivo e alla corretta simulazione all'interno del software stesso; queste vengono indicate rispettivamente come "SolidTurn: Pickup" e "SolidTurn: Release".

### **3.2.1.7 Uscita codice macchina**

Assegnate tutte le operazioni e verificato di aver distribuito le operazioni sui vari canali in modo da ottenere la soluzione che ottimizzi il tempo ciclo, è possibile passare alla compilazione del programma macchina. A questo punto entra in gioco il post-processor che andrà a tradurre le lavorazioni settate dall'utente in linguaggio macchina rispettando le linee guida di programmazione consigliate dal fornitore della macchina stessa.

L'output è un file di testo contenente il codice ISO in formato appropriato per la specifica macchina, questo va caricato su una scheda di archiviazione che la macchina possa leggere ed editare. Non resta che caricare il programma in macchina ed eseguire un test di compilazione. In questo modo sarà la macchina stessa a processare il programma a grandi linee per identificare eventuali errori o collisioni prima ancora di eseguire il programma.

### **3.2.1.8 Test a bordo macchina**

Se il check del programma è stato superato, si può avviare l'esecuzione del programma, inizialmente in modo controllato. Ciò significa che il programma verrà eseguito a velocità molto ridotta per permettere al macchinista di seguire i movimenti svolti andando a rilevare eventuali problematiche o collisioni sfuggite alla procedura di check. Se ogni operazione è in ordine può essere avviata la produzione in ciclo continuo.

Nel caso in esame il programma non è ha superato la fase di check e si è reso necessario revisionarlo più e più volte, tenendo traccia degli errori e delle possibili soluzioni. I vari errori ottenuti sono infine stati attribuiti ad una non corretta compilazione da parte del post-processor, che evidentemente contiene delle logiche di programmazione che non risultano ottimali per la macchina in questione. Si è quindi reso necessario andare ad intervenire sul codice sorgente del post-processor in modo adeguare il suo output a quanto effettivamente richiesto dalla macchina. I dettagli di questi interventi saranno investigati in un capitolo successivo.

Si assuma per il momento di possedere il programma corretto, non contenente errori. A questo punto i pezzi in uscita dalla macchina vengono prelevati e misurati accuratamente per verificarne la rispondenza alle specifiche del cliente. Problematiche riscontrate in fase di misura necessiteranno di modifiche al programma condotte o all'intero del software CAM o direttamente a bordo macchina. Questa ultima opzione è sicuramente la più rapida, di queste modifiche, tuttavia, non resterebbe alcuna traccia all'infuori della macchina, quindi sconsigliabile per questioni di gestione dell'informazione aziendale. Al contrario, apportare modifiche nel CAM fa sì che queste siano visibili a tutte le figure di competenza, oltre che restare nello storico aziendale per essere revisionate o riutilizzare in futuro.

Tornando al programma in esame, una volta risolti i problemi di compilazione in fase di check, il programma è stato caricato in macchina e, fatte le necessarie misurazioni, si è potuto constatare che il prodotto era perfettamente in linea con le specifiche del cliente.

### ***3.2.2 Creazione di macro per ESPRIT 2000***

Come evidenziato in diverse occasioni nei capitoli precedenti, molte procedure e fasi della programmazione CAM potrebbero essere ottimizzate e possibilmente automatizzate. Fase importante di questo lavoro è stato proprio quello in intervenire su tutte le inefficienze del programma, automatizzare e standardizzare alcune procedure, garantendo infine facilità e rapidità di utilizzo.

Punto di forza del software impiegato è la possibilità di integrare nuove funzionalità. Ciò si ottiene attraverso la creazione di macro, scritte in linguaggio Visual Basic for Applications (VBA), accedendo allo strumento "Editor VBA". Ai moduli creati al suo interno si possono poi associare dei tasti all'interno dell'interfaccia grafica principale, in modo che l'utente possa agevolmente eseguire queste nuove funzionalità. Inoltre i moduli possono essere creati in modo da integrare una propria interfaccia grafica con la quale mostrare e raccogliere informazioni dall'utente. Vediamo allora quali sono le macro introdotte in questo studio.

### 3.2.2.1 Modulo “Setup Iniziale”

Questa macro è stata scritta per poter porre rimedio alla laboriosità e lentezza del processo di definizione del grezzo e dei parametri di simulazione che richiedono il passaggio per diverse finestre e strumenti, rendendo l'intera fase molto confusa, il che lascia spazio all'errore umano. Questa necessita quindi di standardizzazione ed ottimizzazione dell'efficienza del processo. Con questo obiettivo in mente si è realizzata una macro che vada a compilare automaticamente tutti i campi richiesti dopo aver raccolto tutte le informazioni necessarie all'utente. Per la raccolta di informazioni si è provveduto a creare un'interfaccia grafica che faciliti l'utilizzo e metta ben in evidenza quali sono le informazioni importanti in questa fase. Vediamo quindi come è strutturato questo modulo.

All'esecuzione della macro viene mostrato all'utente una user-form in cui viene richiesto di inserire:

- **Diametro barra:** verrà usato in *MachineSetup/Generale* e in *Parametri di Simulazione/Solidi* per la creazione del grezzo
- **Lunghezza pezzo:** verrà usato in *MachineSetup/Generale* e in *Parametri di Simulazione/Solidi* per la creazione del grezzo. Inoltre è usato dal calcolatore della lunghezza di ricarica
- **Spessore Sovrametallo per intestatura** che verrà usato in *MachineSetup/Generale* e in *Parametri di Simulazione/Solidi* per la creazione del grezzo
- **Larghezza Troncatore:** che verrà usato in *MachineSetup/Generale* e in *Parametri di Simulazione/Solidi* per la creazione del grezzo

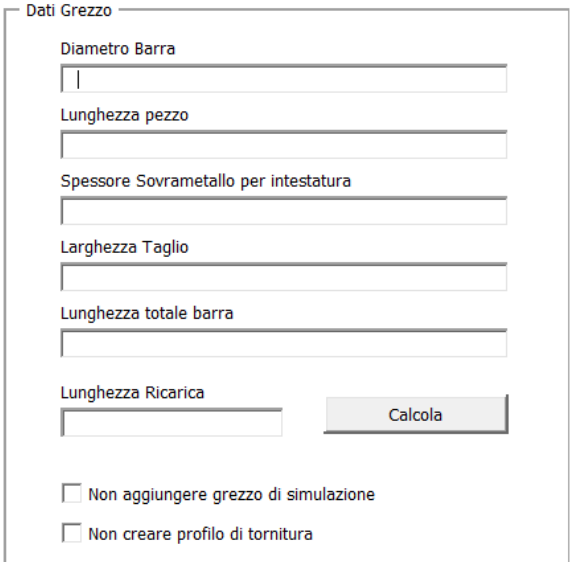


Figura 3.32 - Esprit Macro, Setup Iniziale.

- **Lunghezza totale barra:** se non specificata verrà di default inserito 3000mm in *MachineSetup/Generale*.
- **Lunghezza Ricarica:** cliccando sul tasto “calcola” verrà calcolato un valore di primo tentativo secondo la formula:  $LR = (LP + 2*SM + LT)*1.15$ . Dove LR è la lunghezza di ricarica, SM è il sovrametallo, LT è la larghezza del taglio. Viene maggiorato di un ulteriore 15% come quota di sicurezza per mantenere una certa distanza dalla bussola anche nel caso di lavorazioni a z superiori alla lunghezza pezzo.

Infine, se le ultime due opzioni non sono selezionate, la macro procederà a generare il grezzo di simulazione, creare i livelli opportuni in cui organizzare geometrie, catene ed operazioni, e generare il profilo di tornitura del pezzo sfruttando la funzione di feature recognition.

Con questa macro si è quindi standardizzata tutta la fase di definizione del pezzo e del grezzo, nonché automatizzate la creazione dei livelli e dei profili di tornitura. In pochi secondi si eseguirà una procedura che prima impiegava l'utente per 15-20 minuti e molto soggetta ad errore umano.

### **3.2.2.2 Modulo “Riorganizzazione Livelli”**

Si è già discusso in precedenza come per agevolare la gestione delle varie entità grafiche, quali solidi, geometrie, catene e lavorazioni è possibile assegnare ciascuna ad un livello. Ogni livello può essere mostrato o nascosto indipendentemente in modo da poter visualizzare solo le entità di interesse. Questa funzionalità del software, sebbene estremamente comoda, risulta tediosa e laboriosa in quanto richiede di assegnare ogni singola entità al rispettivo livello manualmente. Ciò richiede molto tempo se si pensa che si possono avere anche diverse decine, se non centinaia, di entità all'interno di uno stesso progetto.

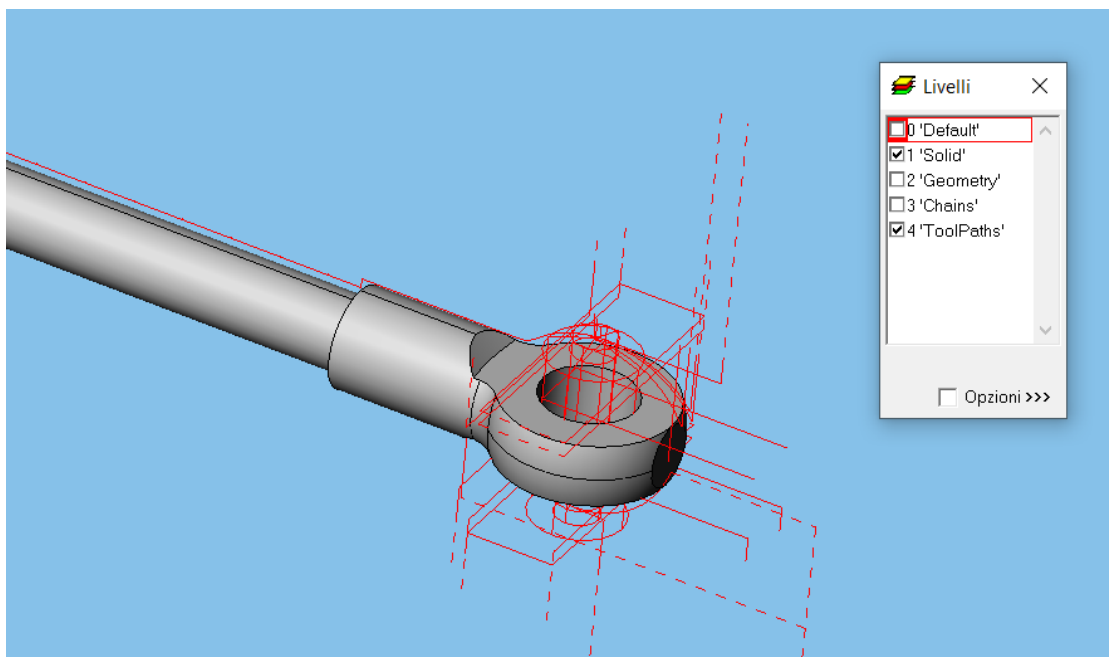


Figura 3.33 - Esprit, livelli.

La soluzione a questo problema è stata quella di creare una macro che analizzi tutte le entità correntemente contenute nel progetto corrente, le identifichi e assegni automaticamente al corretto livello di appartenenza. In questo modo con un singolo click si ha un'organizzazione automatica ed efficace dei vari oggetti in base alla loro natura, così da avere: un livello per il sistema di riferimento e i piani di lavoro; un livello contenente i solidi e le superfici; un livello che raccolga tutte le geometrie quali segmenti, linee, archi, etc.; un livello per le catene e le features; infine, un livello contenente tutti percorsi utensili relativi alle varie lavorazioni.

### 3.2.2.3 Modulo “Utensili”

Con questa macro si vuole offrire all’utente una rapida creazione degli utensili senza dover ricorrere all’uso di cataloghi, così da abbattere drasticamente il tempo necessario alla loro creazione. In primo luogo si presenterà un’interfaccia grafica attraverso la quale si possa scegliere la tipologia di utensile da aggiungere e successivamente inserire i dati necessari alla sua creazione. La macro si compone di due sezioni principali: una prima tab in cui è possibile creare utensili da tornitura standardizzati secondo UNI-ISO 1832 e tre tab che consentono di aggiungere tornitori interni, tornitori per gole e troncatori di utilizzo molto frequente nell’azienda, attingendo da un database appositamente creato. In particolare, nella raccolta sono stati inclusi i bareni della serie ECOCut-Mini per tornitura interna della Ceratizit, i troncatori del tipo DGN forniti dalla Isca e i tornitori della serie TOP-line della Applitec.

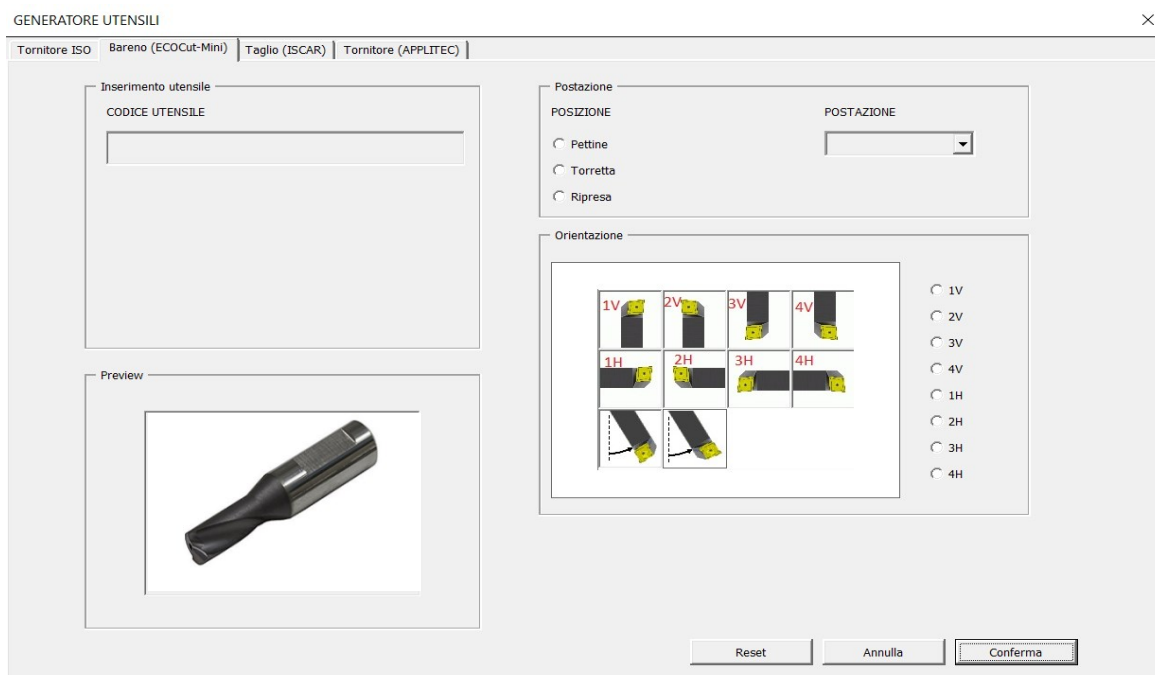


Figura 3.34 - Esprit Macro, generatore utensili, EcoCut.

Tutti i dati degli utensili aggiunti nel database sono stati ricavati dai siti ufficiali dei fornitori, spesso è stato possibile scaricare un foglio elettronico con tutti i parametri ben organizzati. Per poter sfruttare gli utensili a database, l'utente dovrà soltanto avviare la macro e scegliere una delle tre tab di cui sopra; a quel punto, utilizzando la casella di ricerca proposta, apparirà un elenco dinamico degli utensili disponibili. Selezionato uno di questi e specificati nome, numero, stazione e orientamento dell'utensile, tutti i dati necessari verranno automaticamente indirizzati al software CAM e aggiunti alla lista utensili corrente.

Strumento ben più complesso è invece quello per la creazione di utensili standardizzati, accessibile dalla prima tab della finestra. Esso consiste di un algoritmo che, dato il codice secondo normativa dell'utensile da aggiungere, decodifica la nomenclatura dell'utensile e ne ricostruisce tutte le caratteristiche geometriche per poi indirizzarle in automatico al software. Ciò si è reso necessario in quanto è impensabile creare da zero un database di tutti gli utensili normati, in quanto la loro numerosità è troppo vasta da essere raccolta in un database. La soluzione a ciò è stata dunque quella di creare sul momento l'utensile semplicemente interpretandone il codice.

Per poter definire le regole di interpretazione del codice dell'utensile si è reso necessario innanzitutto conoscere la normativa. La definizione di un utensile, in questo caso utensile ad inserti, si compone della definizione dell'inserto e del portautensili, entrambi normati. La designazione è riportata in quasi la totalità dei cataloghi, si propone, a titolo di esempio, la designazione degli inserti per tornitura esterna dal catalogo Mitsubishi:



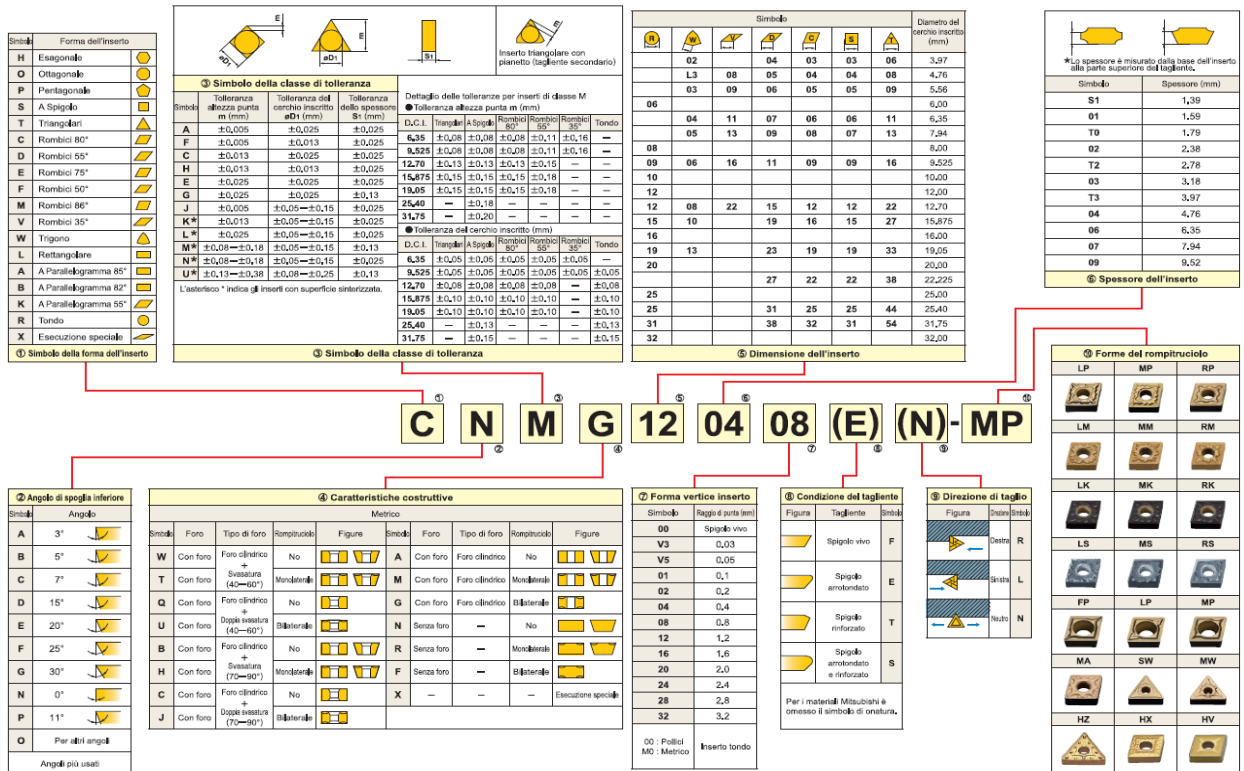


Figura 3.35 - Codifica ISO inserti per tornitura esterna.

Per quanto riguarda i portautensili per torniture esterne, invece, la designazione segue le regole sotto.

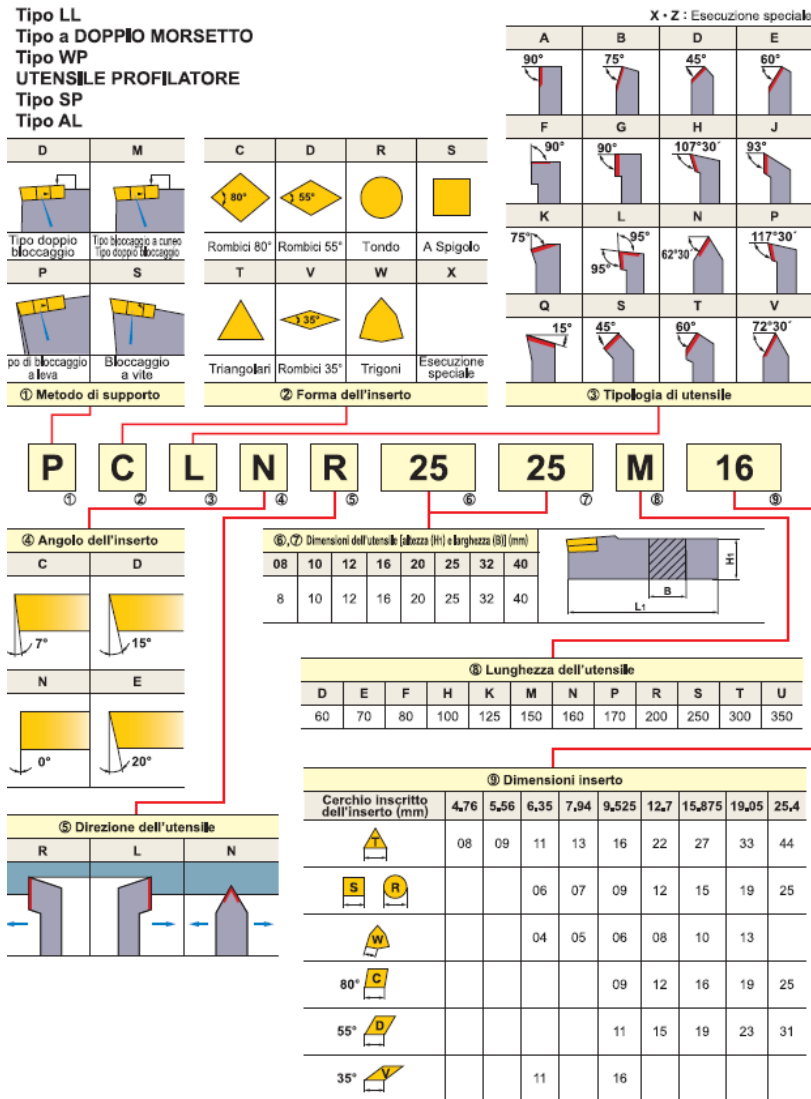


Figura 3.36 - Codifica ISO utensili da tornitura esterna.

Tutte queste informazioni sono state utilizzate per creare le regole nel codice che attribuiscono ad ogni carattere la specifica descrizione. Quello che dovrà fare l'utente sarà soltanto inserire i codici dell'inserto e del portautensile nelle relative caselle, nonché definire stazione e orientamento dell'utensile. Una volta data la conferma, la macro si occuperà di tradurre i codici in informazioni che il software CAM possa comprendere.

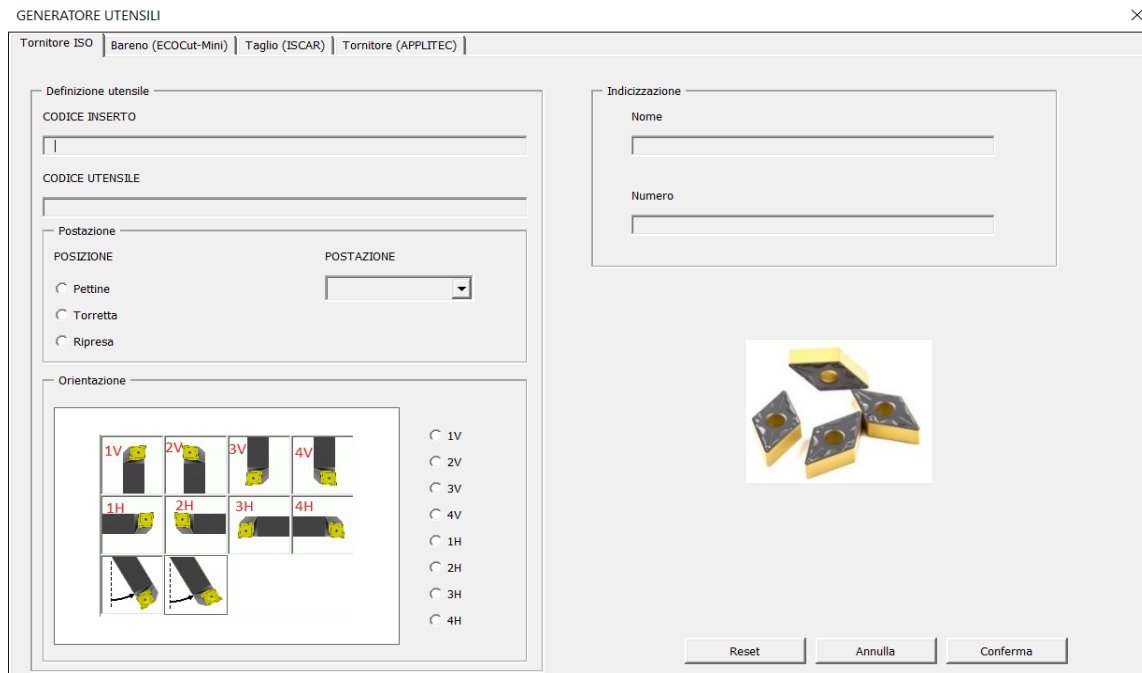


Figura 3.37 - Esprit Macro, generatore utensili ISO.

### 3.2.2.4 Modulo “Ciclo di scarico”

Come si è accennato in precedenza, perché un programma macchina sia completo deve contenere le due operazioni di presa pezzo e di scarico della parte. Durante l'utilizzo del software si è notato che, inserendo l'operazione di scarico di default, si ha come risultato nel programma un blocco di codice che esegue, per l'appunto, lo scarico del pezzo. Tuttavia, tale codice non corrisponde al ciclo utilizzato di norma dall'azienda. Ciò implica che molti movimenti, accensione e spegnimento dei refrigeranti non sono ottimizzati.

Il metodo di scarico impiegato in questo caso sulla M32, utilizza una pinza di scarico della parte che corre parallelamente all'asse Z su un binario al di fuori dell'area di lavoro degli assi principali. Il processo di scarico consiste in: avvicinamento del contromandrino che tiene il pezzo e della pinza raccogliitrice; chiusura della pinza così che il pezzo possa essere spinto all'intero della cavità formata dalle ganasce della pinza chiusa; apertura del contromandrino e avanzamento dell'espulsore che va a spingere il pezzo all'interno della pinza; raccolto il pezzo la pinza si muove alla posizione di scarico dove aprendosi lascia cadere il pezzo su un rullo trasportatore che porterà infine il pezzo nel cesto di raccolta.

Per poter allora riprodurre il codice tipicamente utilizzato dagli attrezzisti in azienda ci si avvale di una macro che andrà creare un ciclo personalizzato da iniettare nel programma macchina.

Il codice di uscita sarà diviso in quattro blocchi per permetterne un più strategico posizionamento all'interno del ciclo. Avviata la macro essa andrà ad individuare, se presente, l'operazione di presa pezzo e ne estrarrà la posizione Z (in coordinate pezzo) di presa; qualora la presa pezzo non sia già stata inserita verrà richiesto all'utente di immettere manualmente tale quota. A partire da questo valore verranno calcolati i movimenti che la pinza di scarico e il contromandrino devono eseguire durante l'operazione di scarico. In particolare, verranno calcolate le variabili che compaiono nel codice sotto, indicate dall'asterisco. La prima rappresenta la quota a cui si posiziona la pinza raccoglitrice dal filo del contromandrino ed è valutata come: (lunghezza pezzo) - (posizione di presa in Z) + (sicurezza), dove la sicurezza è stata settata a 20mm. La seconda rappresenta un movimento incrementale effettuata dal contromandrino per avvicinarsi alla pinza pari a 10mm, in modo da mantenere sempre una distanza di sicurezza pari a 10mm tra i due.

Il codice di output è il seguente:

- Il primo blocco, è un semplice T3000 per la chiamata del contromandrino. Da inserire nel canale 3, in tempo mascherato, prima dello scarico.
- Il secondo blocco contiene tutto il codice necessario a scaricare il pezzo nella pinza e riportare il contromandrino in posizione home:

*M335A\*#posizionamento della pinza raccoglitrice*

*M88#disattivazione controllo collisioni*

*M25#blocco rotazione del contromandrino*

*G53Z0Y330 #posizionamento del contromandrino in Y verso la pinza*

*M335A\*#posizionamento pinza*

*M116#chiusura pinza*

*G53X626.#avvicinamento in X del contromandrino alla pinza*

*M62#attivazione refrigerante attraverso il contromandrino*

*G0W\*\*#avvicinamento in Z del contromandrino*

*M16#apertura contro-mandrino*

*G4U0.2#attesa*

*M10#avanzamento espulsore*

*G4U0.2#attesa*

*M11#retrazione espulsore*

*G53Z0 #ritorno in Z del contromandrino*

*G53X0#ritorno in X del contromandrino*

*M62#disattivazione refrigerante*

Va inserito nel canale 3, dopo l'ultima operazione sul contromandrino prima della presa pezzo.

- Il terzo blocco contiene le istruzioni per portare la pinza in posizione di rilascio pezzo, apertura della pinza, attivazione rullo convogliatore, chiusura della pinza e ritorno in posizione home della pinza:

*M335A-1280.#movimento della pinza alla posizione di rilascio*

*M117 #apertura pinza*

*G4U.2#attesa*

*M31#attivazione rullo trasportatore*

*M116#chiusura pinza*

*M335#ritorno in home della pinza*

Va inserito in uno qualsiasi dei canali, in tempo mascherato, purché successivo al blocco 2 (tipicamente durante la presa pezzo o ad inizio programma).

- Il quarto blocco è un parcheggio del contromandrino che va inserito nel canale 3 tra il blocco 2 e la presa pezzo. Serve a posizionare il contromandrino per la presa pezzo in tempo mascherato, in modo da ridurre il tempo ciclo.

In questo modo si ottiene un ciclo di scarico altamente personalizzato e soprattutto standardizzato. Inoltre, tale procedura richiede all'utensile soltanto di posizionare le varie parti del ciclo in punti strategici del programma: questa è l'unica parte lasciata all'utente in quanto richiede una valutazione complessa che molto difficilmente può essere eseguita correttamente dal software.

### **3.2.2.5 Modulo "Uscita codice NC"**

Una volta programmate tutte le operazioni e verificata l'accettabilità del tempo ciclo, occorre avviare la compilazione del programma macchina. Per far ciò basta schiacciare il tasto "F9" e questa partirà in automatico. Tuttavia, la compilazione automatica manca di alcune funzioni che sono altresì importanti perché il codice di uscita sia in linea con quanto richiesto dalla macchina.

Nel momento in cui si vuole passare al programma macchina, basta avviare la macro, che presenterà una interfaccia utente attraverso la quale preimpostare il post-processing secondo quanto desiderato. In particolare si troverà una sezione di gestione dell'uscita a codice degli utensili, grazie alla quale è possibile decidere per ogni utensile se si vuole o meno che gli offset impostati per questo vengano riportati nel programma, funzione prima non presente nel software. Ciò si rende necessario in particolar modo quando nella programmazione di una nuova parte si ereditino le geometrie di montaggio da un attrezzaggio già esistente: in questo caso l'attrezzista ha già provveduto a impostare a bordo macchina gli offset (ovvero lo scostamento del montaggio effettivo dell'utensile dalla posizione di default nota alla macchina); riportare nuovamente gli offset nel programma significherebbe raddoppiare tutti i valori preimpostati con conseguente introduzione di collisioni. È dunque importante che la gestione degli offset degli utenti resti di competenza dell'utente e non del programma.

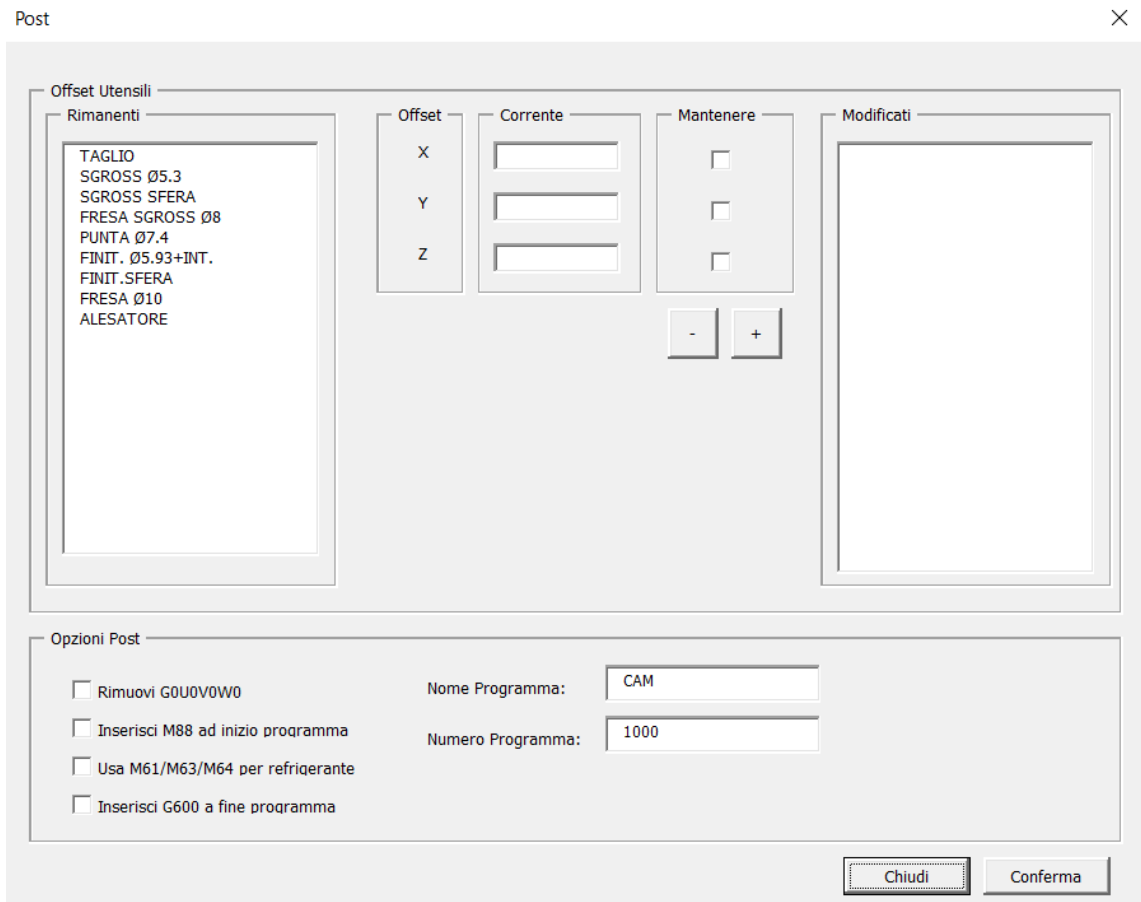


Figura 3.38 - Esprit Macro, opzioni post-processing.

Nella colonna di sinistra la macro riporterà tutti gli elementi della lista utensili: cliccando sul singolo utensile, nelle caselle centrali verranno caricati i valori di offset impostati precedentemente nel programma, in modo che l'utente possa valutare se questi vadano o meno mantenuti, o modificati. Gli utensili modificati saranno spostati nella colonna di destra per permettere la revisione di quanto fatto prima di dare la conferma.

La seconda sezione della macro, invece, permette una rapida modifica del nome e numero del programma così che l'utente non debba tornare nei menù precedenti per trovare questa opzione. In ultimo viene offerta la possibilità di attivare o disattivare delle funzionalità personalizzate del post-processor, di cui si discuterà nel prossimo capitolo.

### ***3.2.3 Modifica Post-processor per M32***

Il ruolo del post-processor è quello di tradurre quanto programmato da software CAM in un codice che la macchina utensile possa comprendere. Ogni macchina possiede una metodologia di programmazione specifica e una serie di codici proprietari che viene poi documentata dal produttore nel manuale della stessa. Viene con sé che il post-processor sarà, allo stesso modo, specifico per ogni singola macchina e spesso viene realizzato in collaborazione con i produttori in modo da seguire alla lettera le indicazioni del produttore. Tuttavia, come spesso accade, le metodologie indicate dal produttore e l'uso effettivo della macchina possono differire. Per questo un post-processor, seppur redatto ad-hoc per la macchina, potrebbe non essere in grado di accomodare i differenti scenari e tecniche di utilizzo. Inoltre, spesso e volentieri lo sviluppo dello stesso viene arrestato per ragioni economiche in fase prematura di sviluppo e quindi esso potrebbe presentare delle problematiche o errori non corretti dal fornitore del post-processor.

Per avere quindi un post-processing affidabile e sicuro, potrebbe rendersi necessario andarne a modificare logiche e codici specifici. In questo studio diverse problematiche sono emerse al momento del caricamento del programma finito in macchina. Gli errori individuati sono attribuibili ad una non esatta elaborazione effettuata dal post-processor, che ha dunque imposto la necessità di individuare e correggere le fonti di errore.

#### **3.2.3.1 Codici di disturbo**

Il programma macchina generato dal post-processor, una volta caricato in macchina ed eseguito il check del programma, presentava dei codici che la macchina rileva come "Disturbo codice" con conseguente fallimento del check a bordo macchina. Eliminando manualmente i codici segnalati, il check riusciva a verificare il resto del programma, perlomeno fino al successivo errore di altra natura.



I codici causa di errore vengono iniettati dal post-processor al termine della singola operazione, prima di un cambio utensile e ha la forma: "G0 U0 V0 W0". Questi rappresentano dei movimenti incrementali (U, V, Z) in avanzamento rapido (G0) di quantità nulle. Non sono dunque dei veri movimenti, servono teoricamente a segnalare alla macchina di lasciare in posizione gli assi senza tornare alla posizione di home.

Lo step successivo è quello di consultare il manuale della macchina per verificare la necessità o meno di tali codici. Seppure non segnalati come impropri dal manuale, non si è riscontrata alcuna indicazione specifica sulla necessità di tali codici. Questo porta a pensare che la loro eliminazione sia del tutto legittima. Inoltre, da una consultazione con i programmatori Zannini è arrivata la conferma di non aver mai ricevuto indicazione dal produttore della macchina di iniettare nel programma questi codici in alcuna situazione. Sotto queste premesse è allora lecito agire sul post-processor per risolvere questo primo errore.

Per poter andare ad alterare il post-processor è necessario innanzitutto capire che forma abbia e poi farne un reverse-engineering fino ad individuare la porzione di programma che si occupa dell'iniezione dei codici di disturbo. I file del post-processor sono tre, uno per ogni canale della macchina, in formato ".asc" editabili con un semplice editor di testo. Al loro interno sono contenute linee di codice che svolgono numerose funzioni. Quella di interesse è relativa al posizionamento degli assi a fine lavorazione. Per individuare rapidamente la sezione di codice che copre questa fase è conveniente usare lo strumento di ricerca inserendo la stringa "G0U0V0W0". Come atteso, la ricerca punta immediatamente al codice responsabile dell'errore, seppur sono molteplici le sezioni in cui esso viene richiamato: si dovrà intervenire su ciascuna per eliminare definitivamente l'errore.

Per far sì che le modifiche non siano distruttive, piuttosto che eliminare un'intera porzione di codice, essa sarà invece circondata in una dichiarazione condizionale "if" che, prima di saltare detta sezione, controllerà se l'utente ha fornito il consenso ad eseguire questa operazione. In particolare, il consenso sarà dato all'intero della macro dettagliata nel capitolo precedente, denominata "Uscita codice NC", attivando la spunta sull'opzione "Rimuovi G0U0V0W0". Selezionata l'opzione e data la conferma, la macro andrà a popolare una delle variabili personalizzate del programma così da conservare la scelta dell'utente: al momento dell'avvio del post-processing, questo andrà a verificare tale variabile e, se popolata, eseguirà la funzione appena implementata che salterà la porzione di codice indesiderata.

Ripetuta la modifica sui tre file sopra citati, si passa alla fase di verifica della corretta compilazione del codice di uscita. Caricato il programma in macchina, il check iniziale ha avuto esito positivo e il codice di disturbo non compare più all'interno del programma macchina, come desiderato.

### **3.2.3.2 Disattivazione controllo collisioni**

Una delle necessità che si sono presentate in fase di programmazione è quella di introdurre un codice "M88" per la disattivazione del controllo collisioni su tutti i canali. Questo deve essere introdotto ad inizio del programma per consentire determinate operazioni altrimenti considerate a rischio di collisione dalla macchina. Chiaramente questa è un'operazione molto delicata poiché disabilitando il controllo collisioni si deve essere a piena conoscenza dei rischi, i movimenti vanno verificati in fase di simulazione e ricontrollati a livello di codice prima di essere introdotti in macchina. Tale funzione va usata con cautela e solo quando si rende strettamente necessaria.

L'introduzione di questa funzione richiede nuovamente un intervento a livello di post-processor. Si individua anzitutto la porzione di codice che si occupa dei codici da iniettare ad inizio programma: qui si introduce un'ulteriore dichiarazione condizionale "if" che verifichi nuovamente i permessi dell'utente. Se nella macro "Uscita codice NC" è stata specificata l'intenzione di introdurre il codice "M88", la condizione risulterà verificata ed esso verrà iniettato nel programma macchina. Agendo in tale modo, è possibile in qualsiasi momento tornare alla versione originale del post-processor.

```

:## (MODIFICATO PER INCLUDERE M88 AD INIZIO PROGRAMMA, ABILITARLO AGGIUNGENDO "M88atProgramStart" ALLA CUSTOM STRING 9, IN MACHINE SETUP.) (AGGIUNTA PARTE)
: IF (InString(UpperCaseString(cIstring(1599)),"M88ATPROGRAMSTART"))
:
:     BLANKLINE
:     OUTPUTSTRING("M88")
:     BLANKLINE

```

*Figura 3.39 - Posto-processor, disattivazione controllo collisioni.*

Tale funzione è stata quindi testata in macchina con esito positivo, si può quindi procedere alle successive personalizzazioni.

### 3.2.3.3 Codici personalizzati per il refrigerante

Come anticipato in precedenza, spesso i codici utilizzati dagli attrezzisti potrebbero essere sconosciuti al post-processor. Questo perché il produttore della macchina lascia a disposizione dei codici "esterni" cioè personalizzabili dall'attrezzista in modo che questo possa implementare delle funzioni in modo alternativo rispetto a quello previsto nativamente per la macchina.

È questo il caso dei codici usati per l'attivazione/disattivazione dei refrigeranti ad alta pressione. Per questi vengono utilizzati i codici "M61", "M62" e "M64" che vengono personalizzati dall'attrezzista nelle configurazioni macchina. In particolare i tre codici si riferiscono a:

- "M61": è il refrigerante che lambisce gli utensili della torretta;
- "M62": è il refrigerante che esce dall'interno del contromandrino;
- "M64": è il refrigerante indirizzato sugli utensili del pettine della bussola.

Tuttavia il post-processor non offre la possibilità di utilizzare questi codici, è quindi necessario implementare questa funzione per continuare ad utilizzarli.

L'idea è quella di identificare nel post-processor quale porzione di codice si occupa dei refrigeranti e che codici utilizza; una volta trovata non resta che sostituire i comandi nativi con i comandi personalizzati. Non resta che verificarne la funzionalità e procedere a rendere le modifiche reversibili.

```

## Used to output coolant codes.
DEFINE Cooler
: IF (CurrentExample>=1003 && CurrentExample<=1005 && NextCLFile(636)=0)
:   CoolantCL=(1756)
: ELSE
:   IF (NextCLFile(636)<>0)
:     CoolantCL=(636)
:   ENDIF
: ENDIF
: IF (CycleType<>23 || (CycleType=23 && NextCLFile(213)=0))
:   IF (NextCLFile(CoolantCL)>0 && CoolantFlag<>NextCLFile(CoolantCL)) ## modificato per refrigerante
:     IF (InString(UpperCaseString(ToString(1599)),"M6*COOLANT"))
:       OUTPUTFORMATCODE(2) IF (NextCLFile(1580)<2) "/" ENDIF OutputString("M64") OUTPUTFORMATCODE(0) "(REFRIGERANTE ON)"
:     ELSE
:       IF (NextCLFile(CoolantCL)=72)
:         M72* "(ON)"
:       ELSEIF (NextCLFile(CoolantCL)>=430 && NextCLFile(CoolantCL)<=436)
:         OUTPUTFORMATCODE(2) IF (NextCLFile(1580)<2) "/" ENDIF OutputString("M"+NextCLFile(CoolantCL)) OUTPUTFORMATCODE(0) "(ON)"
:       ELSEIF ((NextCLFile(CoolantCL)>=1 && NextCLFile(CoolantCL)<=10) || NextCLFile(CoolantCL)>=31)
:         OUTPUTFORMATCODE(2) IF (NextCLFile(1580)<2) "/" ENDIF MB*(NextCLFile(CoolantCL)) OUTPUTFORMATCODE(0) "(ON)"
:       ENDIF
:     ENDIF
:   ENDIF
:   ## IF (CoolantFlag<>0 && CoolantFlag<>NextCLFile(CoolantCL)) OUTPUTFORMATCODE(2) IF (NextCLFile(1580)<2) "/" ENDIF MB*(CoolantFlag+CoolantOffFactor) OUTPUTFORMATCODE(0) "(OFF)"
CoolantFlag=(0) ENDIF
:   CoolantFlag=(NextCLFile(CoolantCL))
: ENDIF
ENDDF

```

Figura 3.40 - Post-processor, personalizzazione codici per refrigerante.

Anche in questo caso si utilizzerà un ciclo “if” per ripristinare la versione originale del post-processor in caso di necessità. In modo del tutto analogo a quanto fatto per le altre modifiche, attivare questa funzione o ripristinare il codice originale è possibile dalla macro “Uscita codice NC” selezionando o deselectando la casella “Usa M61/M62/M62 per refrigerante”.

### 3.2.3.4 Codice cancellazione schemi di lavoro

Nella programmazione di un qualsiasi pezzo, è buona pratica inserire nella parte finale del programma un codice di cancellazione degli schemi di lavoro, per le macchine della serie "Cincom" questo corrisponde al comando "G600". Questo andrebbe inserito prima di eseguire i movimenti di ritorno di tutti gli assi e della ricarica o del caricamento barra: infatti, se tali movimenti si facessero senza aver annullato lo schema di lavoro corrente allora tale movimento sarebbe eseguito sia dall'asse che stiamo programmando sia dall'asse che è accoppiato a questo dallo schema di lavoro (ad esempio nello schema di lavoro G650 per la presa pezzo il contromandrino calcola i propri movimenti sulla base dei movimenti del mandrino principale, i due assi sono quindi accoppiati dallo schema di lavoro). Non implementare questo comando potrebbe portare a collisioni, tuttavia in fase di check la macchina rileva la sua mancanza e la segnala come errore.

Nei primi programmi CAM che si sono realizzati si è subito notato che in nessun caso veniva eseguita la cancellazione degli schemi di lavoro. La ragione di questa mancanza non è ben chiara, ma va corretta in quanto necessaria al corretto funzionamento della macchina.

Per poter introdurre questa funzione si ricerca nel post-processor il codice relativo alla sezione finale di un programma in cui vengono eseguite varie funzioni, come ad esempio la disattivazione dei refrigeranti, l'arresto dei mandrini, il ciclo di caricamento della barra e quant'altro. La cancellazione degli schemi di lavoro andrà posizionata all'inizio di questa sezione, così che tutti i comandi successivi vengano eseguiti in schema di lavoro libero, che prevede tutti gli assi disaccoppiati.

```
IF (Post_Pass=2)
  IF (MagazineBarLoader>0)
    IF (InString(UpperCaseString(clstring(1599)),"G600ATPROGRAMEND")) "G600" ENDIF ## (MODIFICATO PER INSERIRE G600 A FINE PROGRAMMA)
    BLANKLINE
    "M8"
    "M8"
  IF (MagazineBarLoader=1)
    IF (NextCLFile(1592)=0) "/M98P8000" ELSE "/M98Pclstring(1592)" ENDIF
  ELSE
    "/clstring(1592)"
  ENDIF
  "M9"
ENDIF
```

Figura 3.41 - Post-processor, cancellazione schemi di lavoro.

# 4 Casi di studio

## 4.1 Casi di studio LeanCOST

### 4.1.1 Pezzo campione 01

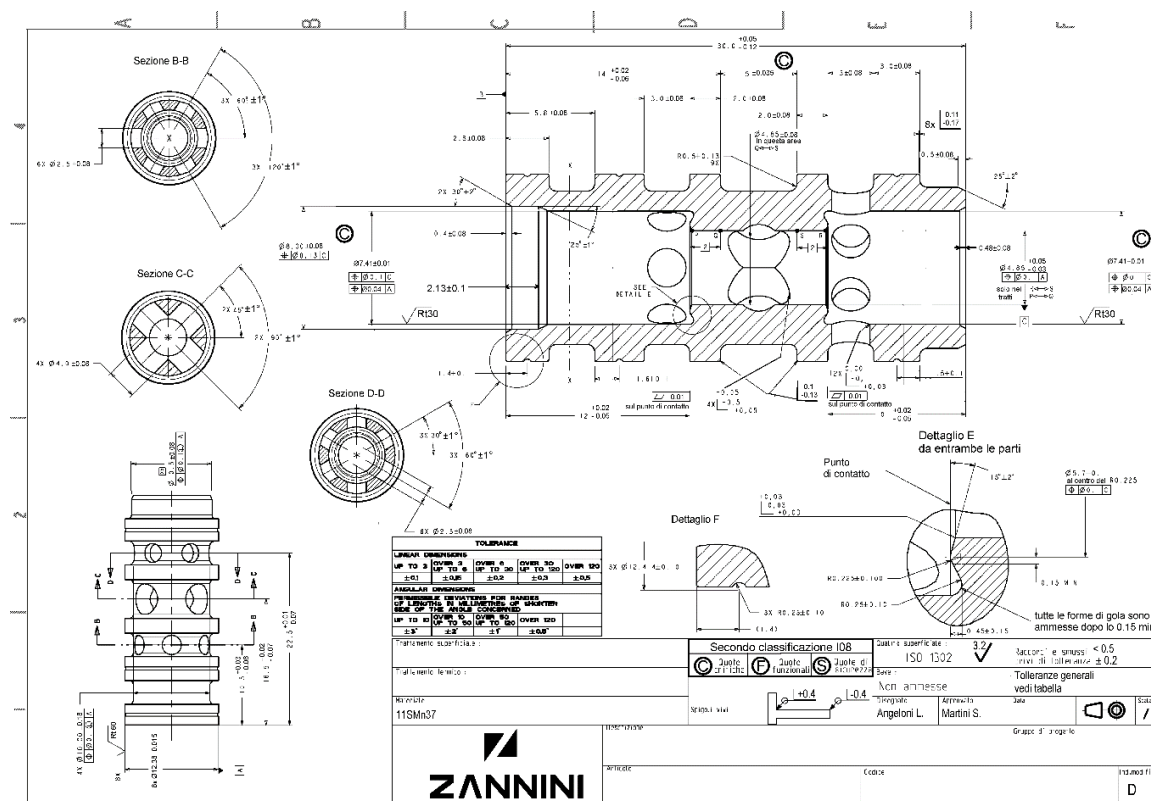


Figura 4.1 - Tavola pezzo campione 1.

Il pezzo in questione viene realizzato su un tornio a fantina mobile Cincom D25 a partire da una barra di diametro  $\phi 14\text{mm}$  di acciaio automatico. Analizziamo le lavorazioni eseguite nella prima fase che prevede il lato destro del pezzo, dalla vista in figura, in presa nel mandrino principale.

Si pratica innanzitutto una foratura centrale di diametro  $\phi 4.8\text{mm}$  e lunga 26mm, parliamo di una foratura di oltre cinque volte il diametro, che richiede dunque una strategia di foratura con scarichi ricorrenti di truciolo. Con un utensile per tornitura interna si sgrossa il profilo interno da un lato, da finire con un allargatore sagomato in foratura per completare la geometria.

A seguire con un tornitore esterno si realizza in singola passata parte del profilo esterno, gole comprese. Quindi in questo caso non si ricorrerà ad una strategia a tuffi per le gole. Come spesso accade su torni a fantina mobile, la tornitura esterna verrà suddivisa in due parti per conservare una lunghezza di barra necessaria a mantenere un contatto sufficiente tra pezzo e bussola nel momento in cui sarà necessario un rientro della barra nella bussola, evitando la flessione del pezzo durante le lavorazioni successive, in questo caso per l'esecuzione delle forature trasversali.

Completata la prima parte di tornitura esterna, si passa alla realizzazione dei fori trasversali da  $\phi 4\text{mm}$  e  $\phi 2.5\text{mm}$ , vengono eseguiti solo i fori compresi nella parte già tornita del pezzo; questi essendo fori di profondità molto contenuta non necessitano chiaramente di scarichi truciolo.

Viene ripresa ora la restante parte della tornitura esterna, incluse le gole e a seguire i fori trasversali lasciati fuori nello stadio precedente. In ultimo si esegue la presa del pezzo tra mandrino principale e contromandrino, viene eseguita la troncatura e il pezzo si trova ora in presa nel contromandrino soltanto.

Nella seconda fase, che si ricorda avvenire contemporaneamente alla prima, si esegue innanzitutto una foratura di sgrossatura per portare a diametro il profilo interno che viene poi sagomato con un tornitore interno, nonché finito con un allargatore sagomato in foratura; il pezzo viene infine scaricato.

Il pezzo non presenta features particolarmente complesse per LeanCOST da riconoscere. Ci si aspetta invece difficoltà nella corretta definizione del numero di tuffi per le gole esterne e forse una strategia non ottimale nella realizzazione delle lavorazioni interne.

## 4.1.2 Pezzo campione 02

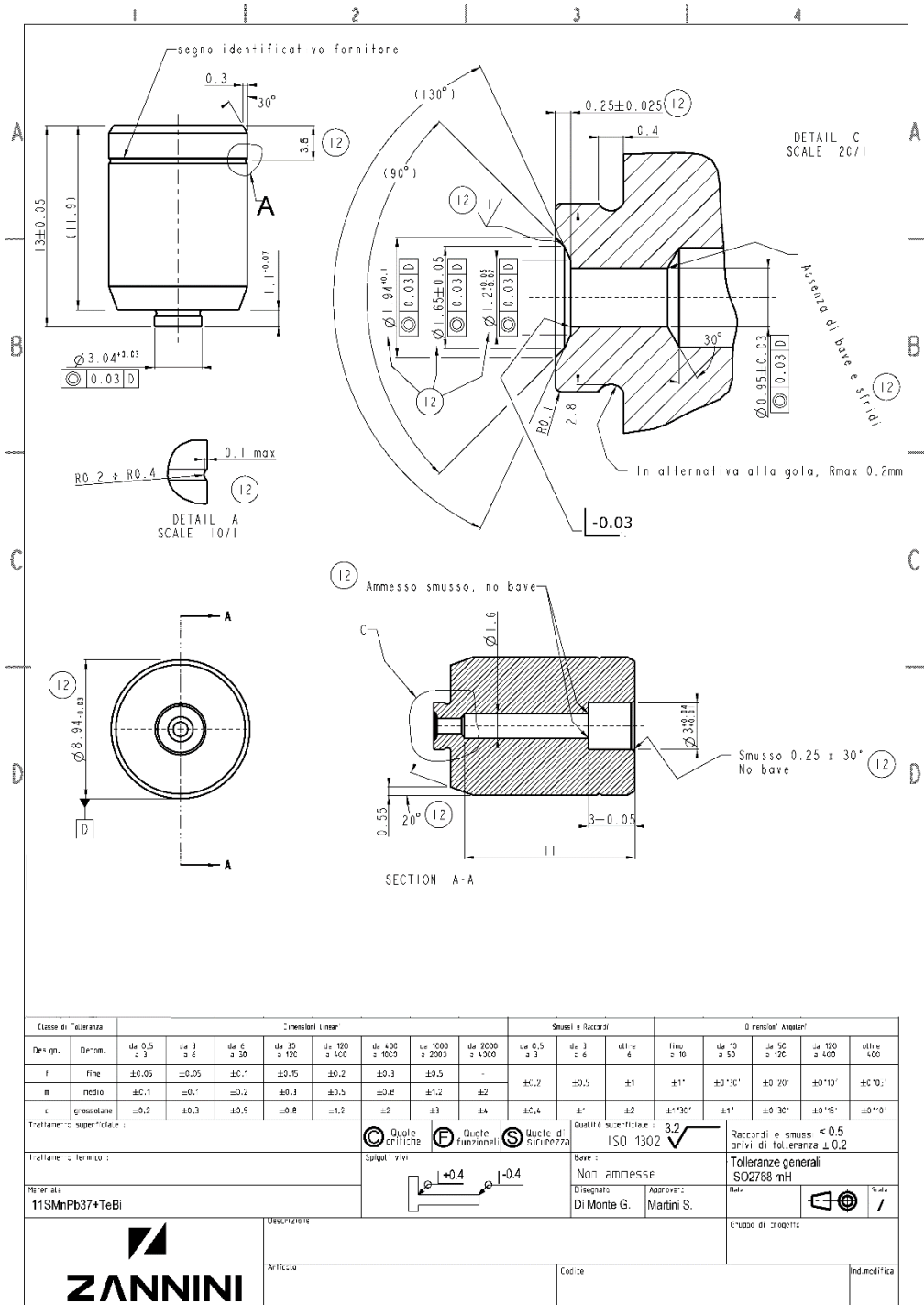


Figura 4.2 - Tavola pezzo campione 2.



Il pezzo in questione viene realizzato su un tornio a fantina mobile Cincom L12 a partire da una barra di diametro  $\phi 10\text{mm}$  di acciaio automatico. Analizziamo le lavorazioni eseguite nella prima fase che prevede il lato destro del pezzo, dalla vista in figura, in presa nel mandrino principale.

Si esegue una sgrossatura esterna per portare a diametro 3mm il primo tratto del pezzo. A seguire, si pratica il foro da  $\phi 0,95\text{mm}$  per una lunghezza di 2.5mm; con una punta sagomata si realizzano le svasature sullo stesso.

Viene poi tornita esternamente l'intera lunghezza del pezzo in singola passata con parametri di taglio che lascino una finitura in accordo con le prescrizioni generali.

Avvengono poi la presa pezzo, la troncatura e questo chiude la prima fase.

Nella seconda fase, che vede il pezzo del contromandrino, si utilizza una fresa piatta per produrre il foro da  $\phi 3\text{mm}$ ; a seguire con una punta da  $\phi 1.6\text{mm}$  si pratica il foro di lunghezza 11mm, che richiede scarichi truciolo. Si procede poi con due centrini a realizzare le svasature rimanenti. Il pezzo viene quindi scaricato.

Questo pezzo è estremamente semplice e non ci si aspettano particolari problematiche sia nel riconoscimento delle features che nell'attribuzione delle lavorazioni da parte di LeanCOST.

### 4.1.3 Pezzo campione 03

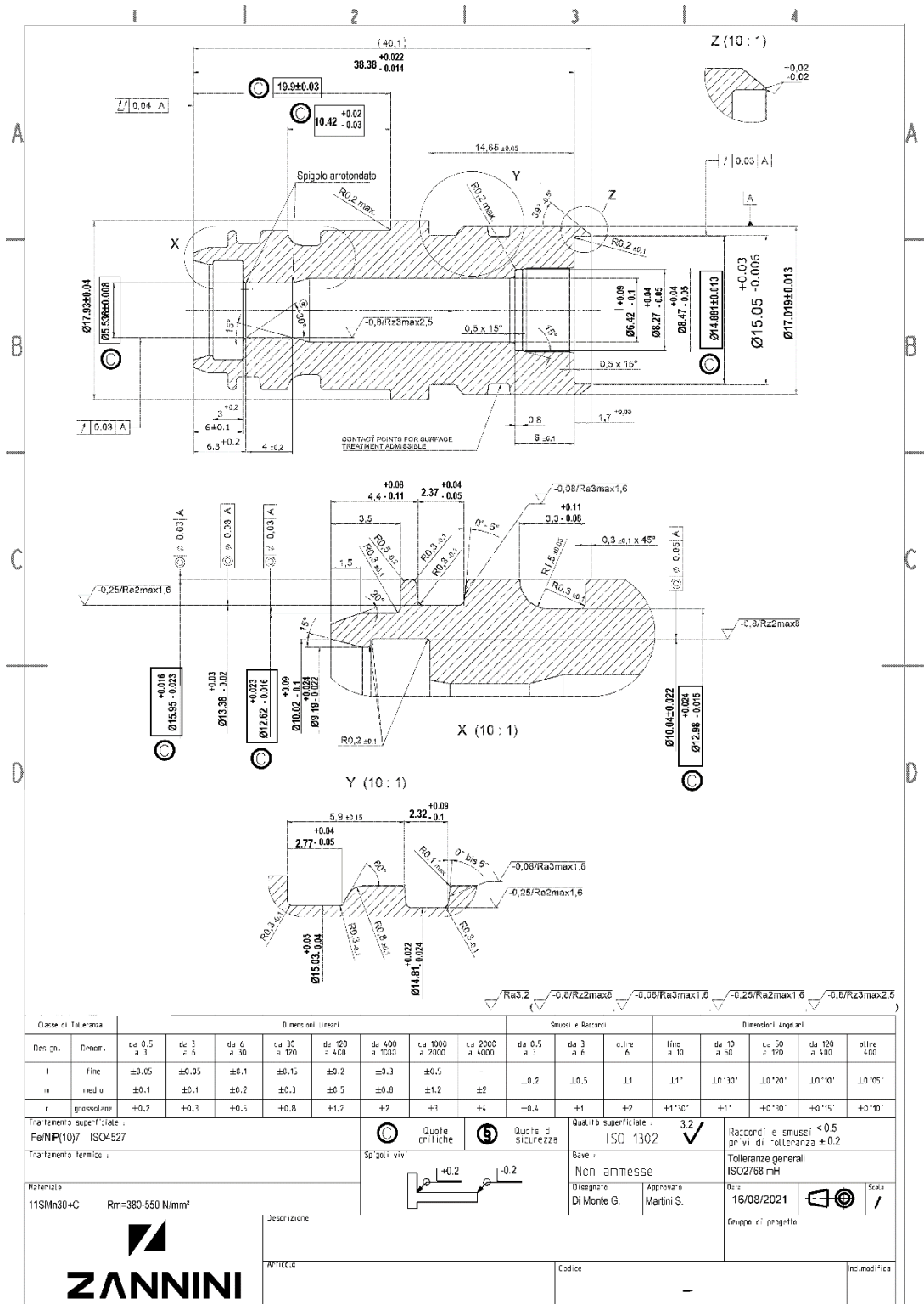


Figura 4.3 - Tavola pezzo campione 3.

Il pezzo in questione viene realizzato su un tornio a fantina mobile Cincom L20 a partire da una barra di diametro  $\phi 19\text{mm}$  di acciaio automatico. Analizziamo le lavorazioni eseguite nella prima fase che prevede il lato destro del pezzo, dalla vista in figura, in presa nel mandrino principale.

Si realizzano le lavorazioni interne, iniziando con una punta sagomata a realizzare la sgrossatura del profilo nel tratto iniziale fino a profondità 7.2mm. Con una punta da  $\phi 5.3$  si esegue poi il foro centrale per una lunghezza pari all'intero pezzo, abbiamo in questo caso un foro di lunghezza oltre sette volte il diametro, sono indispensabili movimenti di scarico truciolo ad intervalli regolari. Utilizzando poi un tornitore interno si asporta ulteriore materiale dal profilo interno lasciando un sovrametallo minimo da finire successivamente con un allargatore sagomato.

Passando alle lavorazioni esterne, si esegue prima una tornitura parziale del profilo esterno per poi eseguire le gole in tale tratto con una strategia per gole che prevede un tuffo centrale e la finitura in due passate che iniziano dai lati della gola e si sovrappongono al centro. Dopo aver sgrossato il tratto rimanente del profilo esterno, si eseguono le gole restanti con strategia simile a quella precedente. Avvengono quindi presa pezzo e troncatura.

Nella seconda fase, si esegue innanzitutto una foratura profonda fino a lunghezza 30mm con una punta sagomata. Si entra poi con un tornitore interno a realizzare il profilo interno in diverse passate di sgrossatura, seguire da una passata di finitura. Un alesatore da  $\phi 5.52\text{mm}$  andrà a finire il foro che era stato sgrossato nella fase precedente, per poi essere rullato in modo da ottenere la finitura prescritta. Il pezzo viene infine scaricato.

Il pezzo risulta più complicato dei precedenti in quanto a features e lavorazioni da eseguire. Ci sia aspettano numerose difficoltà di elaborazione da parte di LeanCOST, soprattutto nella realizzazione delle gole e delle torniture interne.

## 4.1.4 Pezzo campione 04

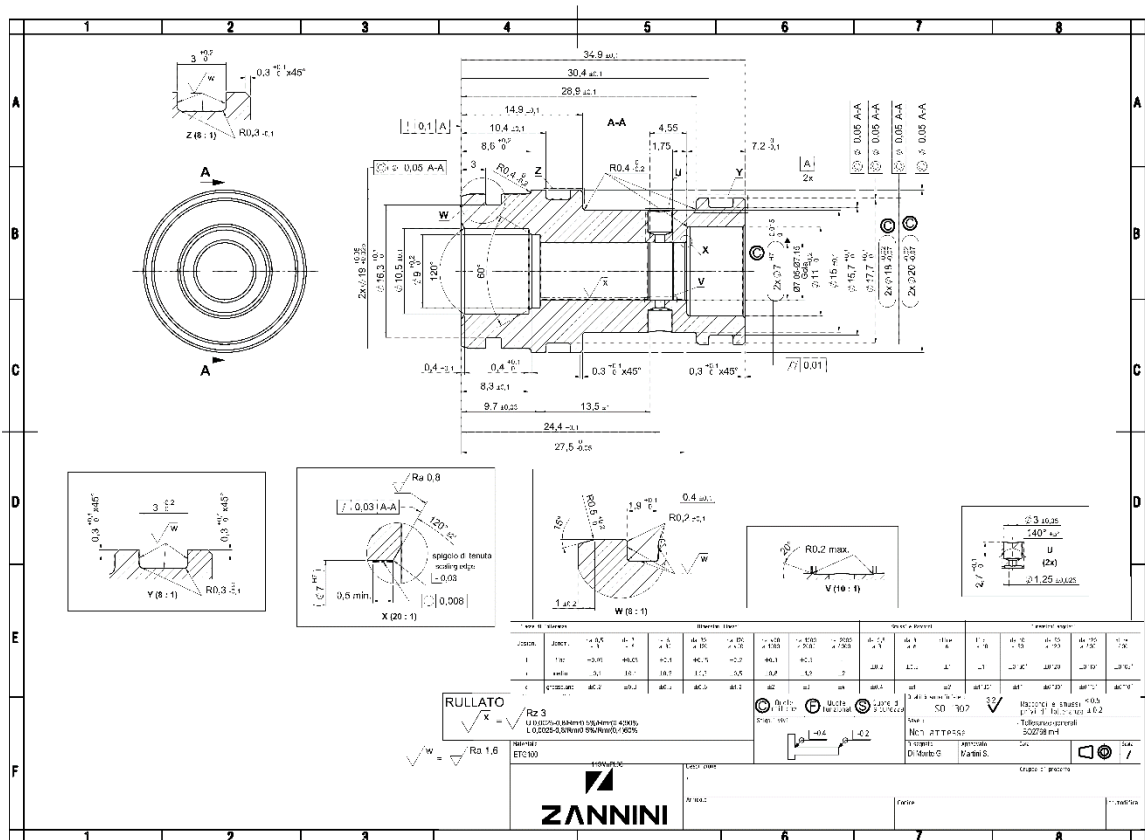


Figura 4.4 - Tavola pezzo campione 4.

Il pezzo in questione viene realizzato su un tornio a fantina mobile Cincom M32 a partire da una barra di diametro  $\phi 21\text{mm}$  di acciaio automatico. Analizziamo le lavorazioni eseguite nella prima fase che prevede il lato sinistro del pezzo, dalla vista in figura, in presa nel mandrino principale.

Viene innanzitutto eseguita una passata di sgrossatura su tutta la lunghezza del pezzo. A seguire si realizza il foro centrale da  $\phi 6.8\text{mm}$  che verrà portato a diametro e finito in seguito. Con un utensile da tornitura interna viene realizzata la gola interna. Un ulteriore tornitore interno va a sgrossare il profilo interno. Passando ad un alesatore sagomato si finirà il foro centrale da  $\phi 7\text{mm}$  lasciando al contempo lo smusso all'ingresso. Viene poi finito il profilo interno precedentemente sgrossato, di nuovo con un tornitore interno.

Concluse le lavorazioni interne, con un utensile da tornitura esterna si andrà a finire tutto il profilo esterno in due riprese: in prima battuta si finirà parte del profilo iniziando dalla faccia frontale e procedendo in spinta, si realizzerà anche la prima gola con tuffo di sgrossatura e una passata di finitura; poi si inizierà dalla faccia posteriore procedendo in tirata, qui si realizzerà anche la seconda gola, anche questa con una strategia composta di tuffo più finitura con sovrapposizione al centro.

Si passa poi alla realizzazione dei fori trasversali, prima quelli da  $\phi 3\text{mm}$  e a seguire quelli da  $\phi 1.25\text{mm}$ . La prima fase si conclude con la presa pezzo e troncatura.

Nella seconda fase si esegue innanzitutto la gola rimanente con strategia simile alle altre. Per la realizzazione del profilo interno si pratica un foro di sgrossatura di  $\phi 8\text{mm}$ , seguito da un tornitore interno ad eseguire la sgrossatura del profilo. Si entra poi con un rullatore per lavorare il foro centrale fino ad ottenere la finitura prescritta. A questo punto si rientra con il tornitore interno per finire il profilo precedentemente sgrossato. Il pezzo viene quindi scaricato.

Al pari del pezzo precedente, anche questo risulta complesso e ci si attendono delle problematiche nel riconoscimento di alcune features, come la gola interna e le lamature dei fori trasversali.

### 4.1.5 Pezzo campione 05

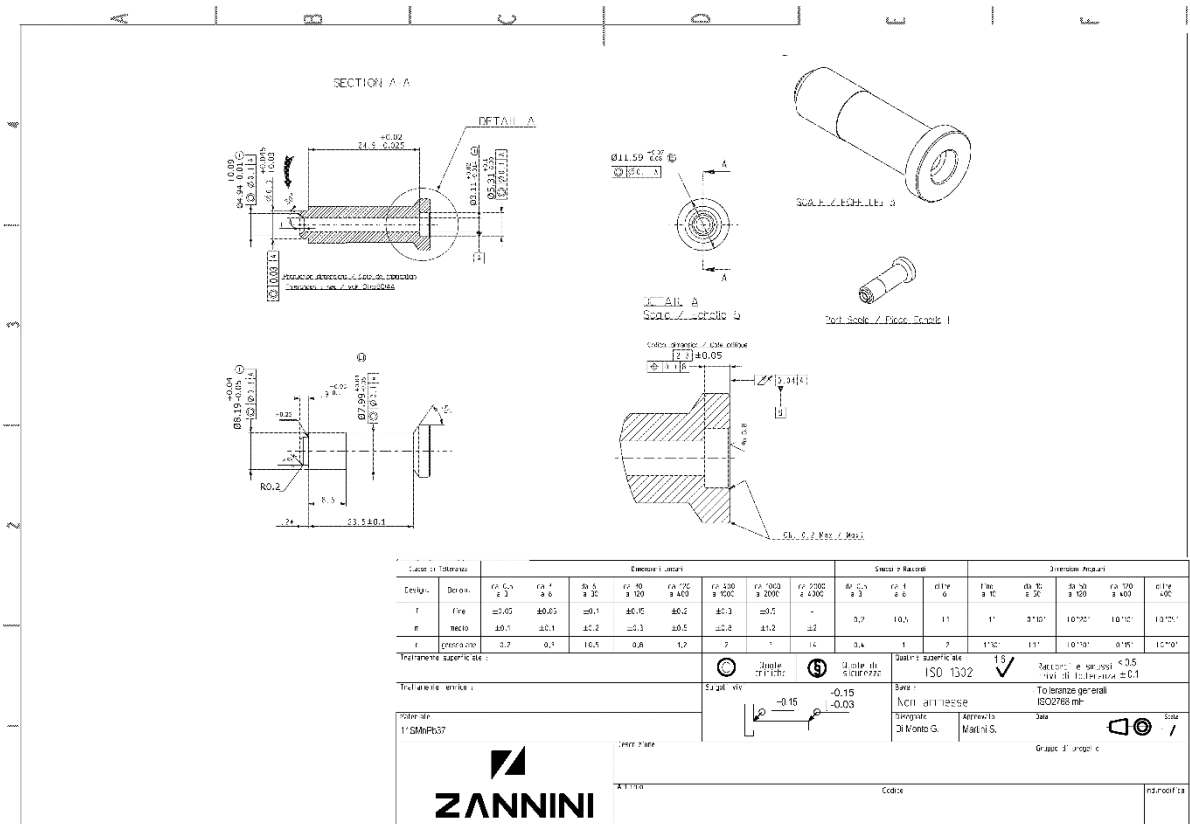


Figura 4.5 - Tavola pezzo campione 5.

Il pezzo in questione viene realizzato su un tornio a fantina mobile Cincom K16 a partire da una barra di diametro  $\phi 12\text{mm}$  di acciaio automatico. Analizziamo le lavorazioni eseguite nella prima fase che prevede il lato destro del pezzo, dalla vista in figura, in presa nel mandrino principale.

Inizialmente, con un centrino si crea la svasatura del foro centrale. Poi con un tornitore esterno si intesta la barra e si realizza l'intero profilo esterno in singola passata. Questo conclude le lavorazioni anteriori, si procede dunque alla presa pezzo e troncatura.

Nella seconda fase si pratica il foro da  $\phi 5,3\text{mm}$  con una punta sagomata che lasci la svasatura prescritta. Si entra poi con una punta da  $\phi 3\text{mm}$  ad eseguire il foro centrale passante, questo ha lunghezza oltre cinque volte il diametro e richiede cicli di scarico truciolo. Questo viene poi finito con un alesatore fino a diametro  $\phi 3.11\text{mm}$ . Il pezzo viene in fine scaricato.

Quest'ultimo pezzo è estremamente semplice, al pari del pezzo 02. Non sono previste particolari criticità per LeanCOST.

## 4.2 Caso di studio Esprit CAM

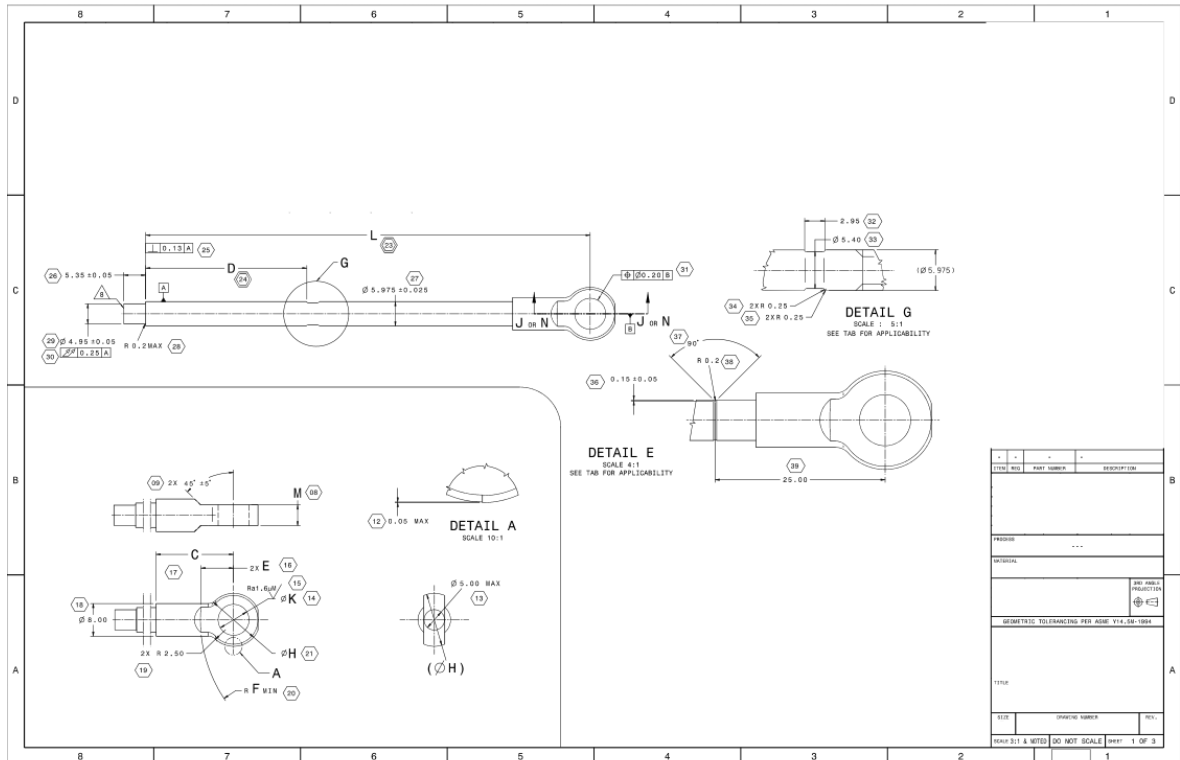


Figura 4.6 - Tavola pezzo campione Esprit.

Il pezzo in questione viene realizzato su un tornio a fantina mobile Cincom M32 a partire da una barra di diametro  $\phi 15\text{mm}$  di acciaio inox, tuttavia nelle fasi iniziali del test si adoperava una barra di ottone. Analizziamo le lavorazioni eseguite nella prima fase che prevede il lato destro del pezzo, dalla vista in figura, in presa nel mandrino principale.

Si eseguono la sgrossatura e la finitura del profilo esterno simultaneamente sfruttando pettine e torretta. La tornitura esterna si interromperà prima di completare la porzione sferica del pezzo. Quest'ultima viene sgrossata con altro utensile da tornitura esterna. Con una fresa da  $\phi 8\text{mm}$  si esegue la sgrossatura delle spianature sulla porzione sferica, su queste si pratica poi il foro da  $\phi 7.4\text{mm}$ . Al termine di questa operazione, viene eseguita la presa pezzo, durante la quale verrà eseguita una seconda passata di sgrossatura sulla porzione sferica. Questa strategia è superflua per la barra di ottone, ma necessaria al passaggio ad acciaio inox per evitare problemi di flessione. Avviene infine la troncatura.

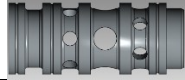

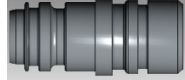
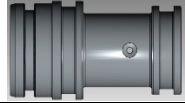

Nella seconda fase si esegue innanzitutto la finitura delle spianature, per poi finire il foro con un alesatore sagomato che lascia la svasatura e peraltro realizza anche per gli smussi nel raccordo tra la parte cilindrica e quella sferica. In seguito, con un tornitore esterno viene finita la porzione sferica e in ultimo il pezzo viene scaricato.



## 5 Risultati e discussione

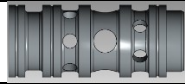
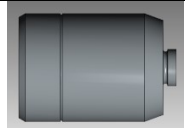
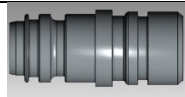
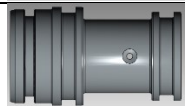

Il confronto dei risultati dell'analisi automatica dopo la modifica al database è riportato nelle tabelle seguenti. In particolare nella tabella 1 si confrontano le performance dell'analisi automatica prima e dopo la modifica del database in termini di tempo ciclo, utilizzando come termine di paragone il risultato dell'analisi manuale.

Tabella 4.2.1 - Confronto risultati prima e dopo modifica database.

	Codice	Analisi Automatica (database di default)	Analisi automatica (database custom)	Analisi manuale
	01	6 min 22 sec	3 min 7 sec	64 sec
	02	3 min 16 sec	29,4 sec	13,8 sec
	03	9 min 22 sec	5 min 2 sec	50 sec
	04	12 min 3 sec	8 min 7 sec	65,4 sec
	05	2 min 37 sec	40 sec	26,4 sec

Questo mostra un netto miglioramento delle prestazioni dell'analisi automatica in seguito alla modifica del database. In particolare si nota che si sono ottenuti risultati più prossimi al target soltanto per i pezzi di geometria più semplice, quali il campione 02 e 05. Gli altri mostrano ancora una discordanza non trascurabile, imputabile in parte alla complessità della geometria, che ostacola il corretto riconoscimento delle feature con conseguente attribuzione di lavorazioni non coerenti, problematica sulla quale le modifiche al database non hanno effetto alcuno. D'altra parte, una quota altrettanto importante del gap mostrato è dovuta al fatto che in LeanCOST il tempo ciclo è calcolato come somma dei tempi di prima e seconda fase: sappiamo tuttavia che queste avvengono contemporaneamente e dunque solo la più lunga delle due sarà determinante per il tempo ciclo, questa è sempre la prima fase. Per poter meglio apprezzare l'effetto delle modifiche si propone allora un'altra tabella di confronto in cui l'analisi automatica viene modificata andando a spegnere la seconda fase, in modo che essa non prenda parte nel calcolo del tempo ciclo. Il risultato così ottenuto verrà confrontato con l'analisi manuale ed il consuntivo.

*Tabella 4.2.2 - Confronto risultati dopo modifica database, seconda fase disattivata.*

	Codice	Analisi automatica (database custom, seconda fase disabilitata)	Analisi manuale	Effettivo
	01	1 min 42 sec	64 sec	65 sec
	02	13,8 sec	13,8 sec	12,6 sec
	03	3 min 5 sec	50 sec	50,73 sec
	04	5 min 48 sec	65,4 sec	70,64 sec
	05	40,2 sec	26,4 sec	22,5 sec

Risulta ora più evidente il miglioramento ottenuto: per pezzi di geometria semplice il preventivo automatico si sovrappone a quello reale con uno scostamento inferiore al 15%. Sebbene estremamente promettente, questo risultato non si estende ai pezzi di geometria più complessa, che soffrono in ogni caso dei problemi evidenziati nella prima tabella.

Vediamo più nel dettaglio cosa ha influito sul raggiungimento del risultato per ogni pezzo: per il pezzo 01 lo scostamento è stato causato dall'esecuzione, non desiderata, di centrature prima dell'esecuzione di ogni singolo foro trasversale (in tutto 16 fori, con dunque 16 centrature superflue); sul pezzo 02 non c'è molto da dire poiché, grazie alla geometria molto semplice, il software non ha riscontrato problemi nel riconoscimento delle lavorazioni; per il pezzo 03 ad alterare il risultato sono state le gole esterne (numero di tuffi troppo elevato e velocità di taglio molto basse) e la tornitura interna (fatta in realtà con una foratura, la quale richiede un quinto del tempo); anche per il pezzo 04 il problema risiede nelle gole esterne, le centrature superflue e un riconoscimento errato della lavorazione della lamatura dei fori trasversali che viene eseguita per contornatura con una fresa molto piccola (mentre nella realtà viene usata una punta per realizzare la lamatura) che richiede diversi minuti; in ultimo, nel pezzo 05 il software ha riscontrato difficoltà nell'attribuire le lavorazioni alla seconda fase, quindi ha creato una sola fase.

Per correggere le difficoltà incontrate è indispensabile poter modificare le logiche utilizzate nel riconoscimento di alcune features, nel calcolo del numero di tuffi per le gole, nella realizzazione delle lamature dei fori e nell'attribuzione delle centrature. Inoltre sembrerebbe mancare la possibilità di realizzare feature interne con punte sagomate piuttosto che in tornitura interna, questo garantirebbe un risparmio di tempo molto consistente.

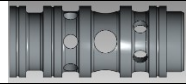
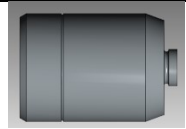
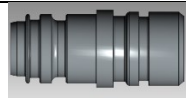
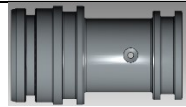

## 5.1 Confronto con i competitors

Per meglio mettere in prospettiva i risultati ottenuti con LeanCOST si è deciso di analizzare gli stessi pezzi campione sfruttando i motori di preventivazione automatica tramite sito web dei competitors, ovvero le altre aziende che forniscono servizio di preventivazione istantanea online. I competitors adottati come termine di paragone sono: Protolabs; Weerg; Xometry; Hubs.

Tutti i pezzi sono stati valutati considerando una dimensione del lotto pari a 1000 pezzi, tolleranze generali ISO2768mK e rugosità generale  $3.2\mu\text{m}$ . tolleranze e rugosità specifiche sono state tralasciate perché non inseribili all'interno dei vari siti, né manualmente né tramite PMI. Il materiale selezionato è l'acciaio da costruzione C45 poiché presente tra le opzioni di tutti i siti.

Per una comparazione coerente, le analisi manuali ed automatiche sono state ripetute con LeanCOST sotto le stesse condizioni menzionate sopra. In particolare, il costo ottenuto dalle analisi manuali con LeanCOST sono usati come termine di paragone; questi sono usati per scalare tutti i risultati ottenuti da LeanCOST e dai competitors: in altri termini, un costo corretto è esattamente pari ad 1€. Non saranno quindi mostrati i risultati assoluti, bensì quelli relativi, così da mascherare l'effettivo costo del prodotto per questioni di riservatezza nei confronti dell'azienda. Ciò nulla toglie alla validità del risultato finale, anzi valorizza le differenze di costi preventivati dalle diverse fonti. I risultati mostrati in tabella, mettono a confronto l'analisi automatica eseguita da LeanCOST (con le modifiche apportate al database) con i preventivi dei competitors.

Tabella 5.1.1 - Confronto con i competitors.

	Parte	LeanCOST	Protolabs	Weerg	Xometry	Hubs
	01	3,48	62,66	56,21	1,85	2,83
	02	6,55	276,79	128,20	5,85	2,81
	03	5,09	-	53,61	2,07	2,27
	04	6,87	66,22	61,78	-	1,90
	05	2,33	101	54,26	4,26	2,36

Per meglio visualizzare le performance delle varie piattaforme si propone una versione formattata in scala di colori della tabella sopra.

Tabella 5.1.2 - Confronto con i competitors.

Parte	LeanCOST (custom)	Protolabs	Weerg	Xometry	Hubs
1	3,48	62,66	56,21	1,85	2,83
2	6,55	276,79	128,20	5,85	2,81
3	5,09	-	53,61	2,07	2,27
4	6,87	66,22	61,78	-	1,90
5	2,33	101	54,26	4,26	2,36

Da notare che i valori mancanti in tabella sono dovuti alla mancata analisi dalla relativa piattaforma a causa di errori incontrati durante l'analisi del componente, nonostante i numerosi tentativi.

Risulta evidente allora che la performance migliore è stata offerta dal preventivatore Hubs. Il risultato peggiore è stato ottenuto da Protolab, seguito strettamente da Weerg. LeanCOST e Xometry hanno ottenuto risultati intermedi e molto prossimi tra loro.

È chiaro a questo punto come allo stato attuale le performance di LeanCOST siano già in linea con la concorrenza, anche se molto lavoro deve ancora essere svolto per avvicinarsi ai risultati di un'analisi manuale eseguita da un pianificatore di processo con esperienza.

I risultati qui ottenuti riguardo il software sono senza dubbio incoraggianti, soprattutto per il fatto che se ne conoscono già i punti di debolezza e potenzialmente come intervenire.

## 6 Conclusioni

Il nuovo reparto in costruzione all'interno di Zannini è stato concepito per la produzione e prototipazione rapide, queste richiedono anzitutto la disponibilità di macchine veloci e flessibili, ma soprattutto la minimizzazione dei tempi necessari alle attività propedeutiche alla produzione, quali preventivazione e pianificazione di processo. Per raggiungere questo obiettivo si sono adottati dei software a supporto di tali attività che ne incrementino efficienza e affidabilità. Tuttavia, si è potuto valutare che tali software necessitano di profonda customizzazione per poter garantire performance adeguate.

Si è lavorato anzitutto sulla modifica di logiche e base dati del software di preventivazione LeanCOST introducendo nello stesso le conoscenze e tecniche proprie dell'azienda: con le modifiche introdotte si è ottenuto un significativo incremento delle prestazioni del software rispetto alla sua versione originale, sebbene non ancora sufficientemente prossime a quelle ottenute manualmente da un tecnologo. D'altro canto, dopo modifica il software ha mostrato performance paragonabili a quelle raggiunte da algoritmi analoghi adottati dai competitors. Tuttavia, alcune delle modifiche riconosciute come essenziali non si sono potute effettuare perché non permesse dalla tipologia di licenza disponibile per lo studio: questo ha posto un limite importante alla performance estraibili dal software. In futuro si lavorerà sull'implementazione delle modifiche mancanti con una licenza adeguata, andando auspicabilmente a colmare il gap residuo tra il preventivo ottenuto e il costo a consuntivo.

Il focus della seconda fase dello studio è centrato, invece, sul software Esprit CAM, per la programmazione delle macchine a controllo numerico. Per questo si è resa necessaria l'introduzione di macro per la standardizzazione e automazione di diversi step del processo di programmazione. Queste hanno portato all'eliminazione delle inefficienze e alla riduzione del carico sull'utilizzatore del software, nonché la realizzazione di una procedura standardizzata per la programmazione della parte: innanzitutto una definizione più diretta e concisa della parte e del grezzo di partenza; una procedura di creazione della lista utensili semi-automatica; una procedura automatica e standard per la programmazione della fase di scarico del pezzo secondo gli usi aziendali; una interfaccia per il controllo diretto e puntuale della configurazione del post-processor. In ultimo, si sono introdotte delle customizzazioni proprio a livello di post-processor per poter implementare alcune funzioni mancanti e per correggere errori riscontrati a bordo macchina.

Gli sviluppi a breve termine previsti a seguito di questo studio riguardano l'estensione delle metodologie qui sviluppate alle altre macchine del reparto. Inoltre, a lungo termine, si vuole costruire un portale web che sfrutti gli strumenti qui sviluppati per offrire al cliente finale servizi di preventivazione istantanea. Non è da escludere, infine, una futura implementazione di tecniche della stampa additiva, con l'obiettivo di espandere ulteriormente le geometrie ottenibili, i processi offerti e i materiali lavorabili, aprendo l'azienda a nuove possibilità nel mondo della prototipazione.