

La fresatura tra passato e futuro





Bisogna conoscere
il passato per capire
il presente e orientare
il futuro - Tucidide,
V secolo a.C.
Può valere anche
per il manufacturing?

**Francesco Barna,
Massimiliano Annoni**
Dipartimento di Meccanica
Politecnico di Milano

Il manifatturiero e i processi di asportazione di truciolo sono alla base dello sviluppo della società occidentale negli ultimi 200 anni. L'evoluzione del settore manifatturiero ha seguito di pari passo le maggiori evoluzioni tecnologiche dell'ultimo secolo integrandole nei propri processi e macchinari, migliorandone le caratteristiche chiave quali precisione, ripetibilità e automazione.

Eppure, le richieste di ieri permangono oggi. Il mercato richiede lavorazioni sempre più precise e complesse, nonché consegne in tempi sempre più stretti. La globalizzazione, per quanto attualmente in crisi, ha aumentato a dismisura la concorrenza, riducendo i margini di errore di aziende prima dominanti nel settore e spingendo l'innovazione, probabilmente come mai accaduto prima. Se un tempo, infatti, si innovava per migliorare, adesso si innova per sopravvivere.

Le sfide attuali sono forse le più importanti di sempre e le soluzioni spesso sono complesse ma esistono. Prima di trattarle è importante analizzare la storia di questo settore, arrivando fino ai giorni nostri.

La Genesi

A fine '700, lo sviluppo delle tecnologie siderurgiche e il dominio britannico su gran parte del mondo, che garantì il necessario flusso di capitali e merci, crearono le condizioni affinché avvenisse uno straordinario sviluppo tecnologico noto come Prima Rivoluzione Industriale. Le prime macchine di fresatura e tornitura comparvero in Europa in questo stesso periodo: si trattava di macchinari semplici che però furono, per la prima volta, in grado di produrre componenti di precisione (per lo meno per l'epoca). Permisero di fabbricare i componenti dei primi motori, quali teste di cilindri e ingranaggi, oltreché i primi stampi di fonderia.

Col XIX secolo, il mondo diventò sempre più interconnesso e iniziò, con l'avvento della Seconda Rivoluzione Industriale, il germogliare dei fenomeni che porteranno alla nascita e sviluppo della globalizzazione. A inizio '900, Henry Ford inventò la catena di montaggio, usandola per fabbricare la prima automobile per la classe media. Questo è un fatto di notevole importanza perché la produzione di questa vettura richiedeva migliaia di macchine utensili, per la maggior parte alimentate a corrente: si passa da una unica fonte di potenza, ripartita su tutte le macchine con una foresta di cinghie e pulegge, ad avere ogni macchina utensile alimentata dal proprio motore elettrico. I ritmi di produzione delle automobili, accelerati dalle catene di montaggio furono uno dei principali motori dello sviluppo delle macchine utensili nei primi 40 anni del '900. I componenti, infatti, dovevano essere fabbricati in tempi nettamente inferiori, e con tolleranze molto più strette, in maniera tale da evitare problemi durante la fase di assemblaggio.

La Seconda Guerra e la svolta

La Seconda Guerra Mondiale aumenterà ancora la rilevanza delle macchine utensili, che saranno chiamate a supportare l'enorme sforzo bellico sostenuto dagli americani durante il conflitto.

Ma è dopo il 1945 che accade la rivoluzione più importante nello sviluppo delle macchine utensili ed avvenne in ambito informatico quando, nel 1952, venne posta in commercio la prima macchina utensile a controllo numerico. Il controllo numerico permise lo sviluppo e la crescita di macchine molto più flessibili e precise del-



Una fresatrice con uno dei primi CNC

le loro antenate e inaugurerò una nuova fase in cui la meccanica iniziò a dipendere dall'informatica.

Infatti, i successivi sviluppi nel campo manifatturiero non sono notevoli per quanto riguarda la componente meccanica, ma per i software che nacquero, e continuano ad essere sviluppati per controllare le macchine utensili e rispondere a esigenze di mercato intricate quanto complesse. Prima venne l'introduzione del G-Code, anche conosciuto come codice ISO, anch'esso sviluppato in un laboratorio del MIT negli anni '50, che permise di uniformare e standardizzare i comandi alla base dell'esecuzione di lavorazioni in macchina. Ciò risultò fondamentale quando vi fu il primo tentativo di subappaltare a un PC la generazione del codice macchina, mediante l'invenzione, sempre ad opera del MIT, del linguaggio di programmazione APT (Automatically Programmed Tools. Era il 1956.

Un'altra svolta si ha con lo sviluppo del primo software CAD/CAM nel 1968, ad opera di un

ingegnere della Renault, che gettò le basi per uno dei più significativi cambiamenti in ambito manifatturiero.

Infine, nel 1988, fanno la comparsa i primi simulatori di macchine utensili, volti a verificare non solo gli output del CAM, ma anche del post-processor e, più recentemente, effettuando l'ottimizzazione: questi software tendono ad integrare sempre maggiori elementi che li avvicinano, in maniera asintotica alla realtà.

Lo stato dell'arte e gli sviluppi futuri

La domanda sorge quindi naturale: ma adesso, dove siamo? Qual è il miglior modo di progettare, e poi eseguire, la lavorazione di una parte meccanica su una macchina utensile?

Il ciclo ideale, che alcune aziende applicano già, in accordo con le normative ISO ed UNI vigenti, può essere descritto come segue.

- CAD (Computer-Aided Design)

Innanzitutto, diventa fondamentale progettare il componente da realizzare grazie a un CAD. Ci sono indiscutibili benefici in questa operazione.

In primo luogo, specie per pezzi complessi, è possibile comprendere ed interagire, sia in fase di creazione che di modifica, con pezzi molto più complessi di quanto si potrebbe fare disegnando a mano, dato che il livello di visualizzazione è nettamente superiore. Il CAD, inoltre, permette di associare le PMI (Product Manufacturing Information), che rappresentano le informazioni su dimensioni geometriche e tolleranze associate al pezzo. Il file CAD permette anche una migliore archiviazione e gestione del dato, che, in un mondo digitale, diventa fondamentale.

- CAM (Computer-Aided Manufacturing). Il CAM è forse la vera tecnologia abilitante per la produzione. Si articola in due macro-sezioni:

- il processore logico, che, usando una serie di logiche matematiche, è responsabile dell'effettiva generazione del percorso utensile, preposto alla rimozione di materiale dal grezzo per la generazione del componente finale. Solitamente questi algoritmi sono interni al CAM stesso, ma esistono eccezioni. Un esempio in questo senso è VoluMill®, il software che

SILMAX.IT

FRESE PER STAMPI

Mold end mills

Die Formenbau-Fräser

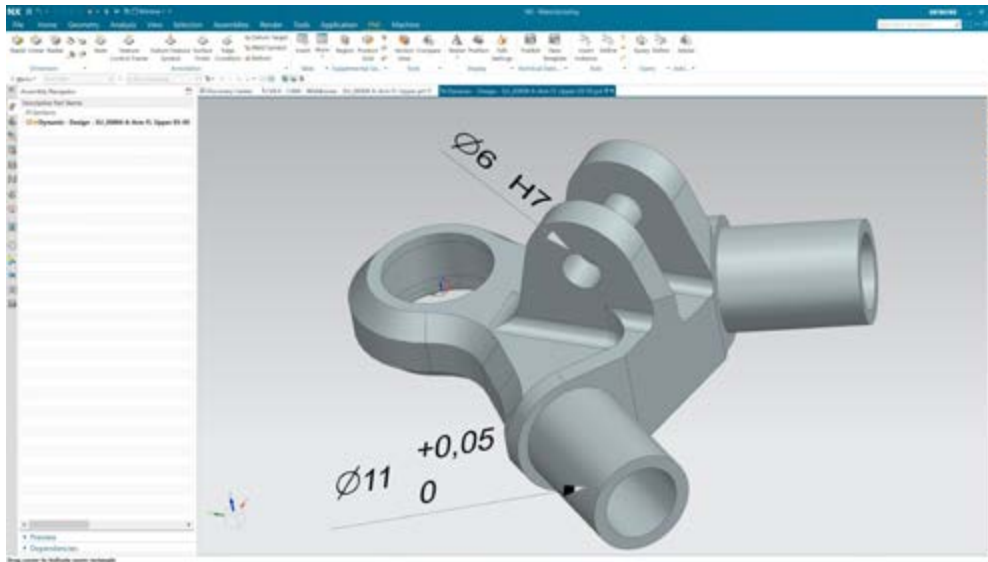
Fraises pour moules

SILMAX

QUALITY AS A STANDARD



HALL 5, STAND D84



Particolare di un'auto da corsa di Formula Student (Dynamis PRC, Politecnico di Milano) all'interno del CAD Siemens NX. Si possono vedere alcuni esempi di PMI chiaramente associate a feature geometriche rilevanti

Lavorazione in Adaptive Milling, utilizzando il CAM Siemens NX, per la lavorazione di un particolare di una macchina da corsa di Formula Student (Dynamis PRC, Politecnico di Milano).

Il programma CAM è una collaborazione tra PoliMill e ATS-Global Team3D

viene usato da una moltitudine di CAM per operazioni di sgrossatura pesante, in quanto i suoi algoritmi permettono una maggiore efficacia nella rimozione del materiale. L'output di questi algoritmi è il CL.DATA (dove CL significa Cutter Location), un linguaggio esperantico che ha lo scopo di essere universale. Qualsiasi CAM lo genera ad un certo punto, anche se non è detto che sia esportabile. Questo linguaggio non è però leggibile dalla macchina utensile. A questo punto infatti entra in gioco il secondo componente del CAM, il post-processor il post-processor che ha lo scopo di tradurre dal linguaggio universale CL.DATA al linguaggio specifico parlato dal controllo della macchina. L'output del post-processor, quin-

di, è l'effettivo codice che verrà trasmesso alla macchina.

• Simulatori

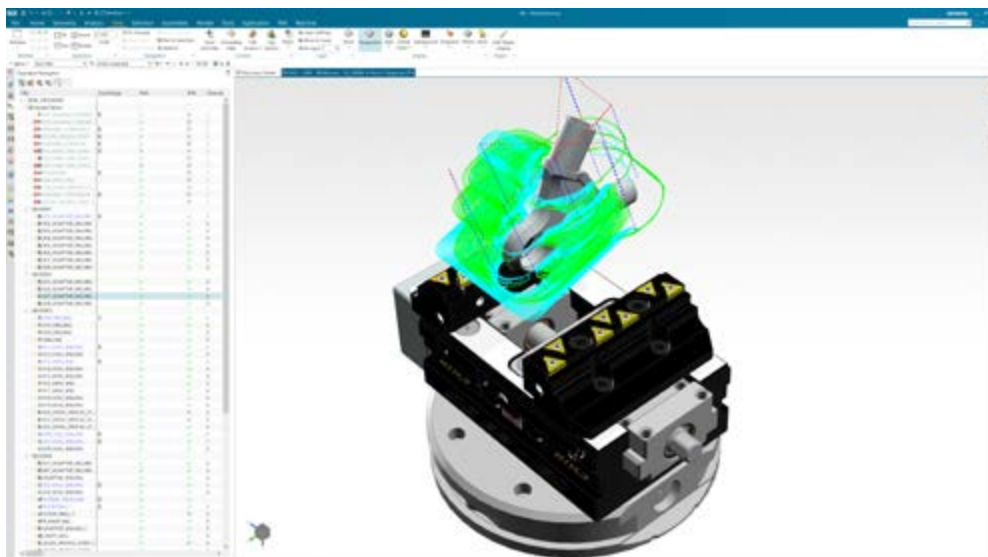
I simulatori possono essere di vari tipi, ma hanno principalmente due scopi principali: verificare il percorso utensile prodotto dal CAM e ottimizzarlo. I simulatori possono essere classificati anche in funzione di come rappresentano, al loro interno, il controllo presente nella macchina utensile. Un simulatore vero e proprio è in grado di riprodurre il comportamento del controllo, senza però esserne una copia. Prende in input i medesimi valori e restituisce dei risultati che devono essere il più simili possibile a quelli che restituirebbe il controllo. Al contrario, un emulatore è una sorta di copia carbone del controllo della macchina, quindi restituisce esattamente quello che restituirà il controllo quando leggerà il programma in macchina.

In prima battuta si direbbe che l'emulatore sia la versione migliore tra i due modi di leggere virtualmente un programma macchina e, da un punto di vista squisitamente tecnico, è effettivamente così, ma ci sono dei limiti sia pratici sia commerciali.

Gli emulatori tendono a integrarsi peggio in workstation e sistemi Windows® tradizionali, dove devono comunicare con gli algoritmi che simulano la cinematica della macchina e l'asportazione di truciolo. Tali algoritmi sono estremamente complessi, ma necessari per rappresentare digitalmente le operazioni. I simulatori invece, per loro natura potenzialmente meno precisi (all'atto pratico poi la differenza è pressoché nulla), sono molto più flessibili e offrono prestazioni migliori rispetto agli emulatori.

Una volta simulato il processo, e verificatane la bontà, si può procedere con l'ottimizzazione. L'ottimizzazione viene eseguita applicando un criterio ai segnali previsti dal simulatore per le grandezze fisiche derivanti dalle condizioni di taglio, come spessore di truciolo, forze di taglio, coppia e potenza assorbita.

Il software usa i minimi e i massimi di questi segnali (impostati da un utente esperto, che conosce sia il processo che la macchina), per rimappare interamente l'avanzamento lungo il part program, senza modificare il numero di giri del mandrino, in maniera tale che la grandezza fisica prescelta per l'ottimizzazione (ad esempio le forze, la coppia o la potenza di taglio) rimanga sempre all'interno dei vincoli di massimo e mi-



nimo imposti, assumendo il valore più costante e elevato possibile massimizzando la produttività e minimizzando l'usura utensile.

• Metrologia

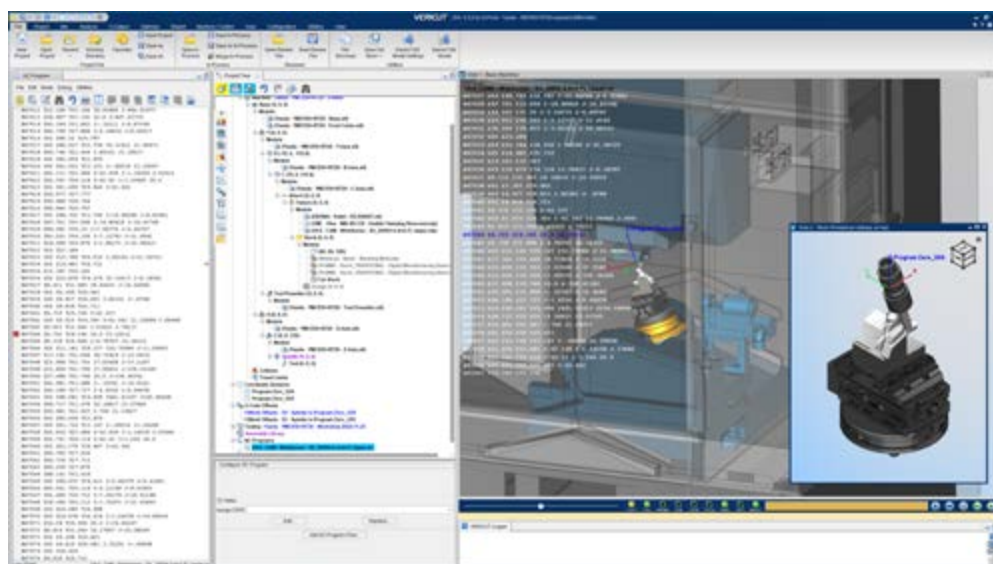
I software moderni di metrologia possono leggere i file 3D precedentemente generati dal CAD, al cui interno si trovano le preziose PMI. Una volta posizionato il componente all'interno della macchina di misura e avendo creato un'origine, come si farebbe su una macchina utensile, tali software possono creare il percorso di misura in totale autonomia. Le dimensioni misurate dallo strumento metrologico vengono automaticamente confrontate con quelle presenti nel file CAD.

Come si può notare, il flusso di lavoro appena descritto, che rappresenta a nostro parere l'apice di quanto raggiungibile oggi, è un flusso lineare senza feedback loop. In altre parole, il sistema così concepito non è conscio dei propri risultati se non grazie all'intervento dell'uomo, che osserva ed agisce per correggere: ciò risulta dispendioso in termini di tempo e risorse.

Quindi, qual è il futuro?

Il futuro, secondo gli autori, è lavorare a questo feedback loop, per creare un sistema che sia sempre più conscio di sé stesso, che sia in grado accorgersi dei propri errori per poi correggerli.

Certamente il progetto è ambizioso e la completa realizzazione, per quanto certa, non è attuabile in tempi brevi, ma si deve procedere per passi. In primo luogo, si deve lavorare alla con-



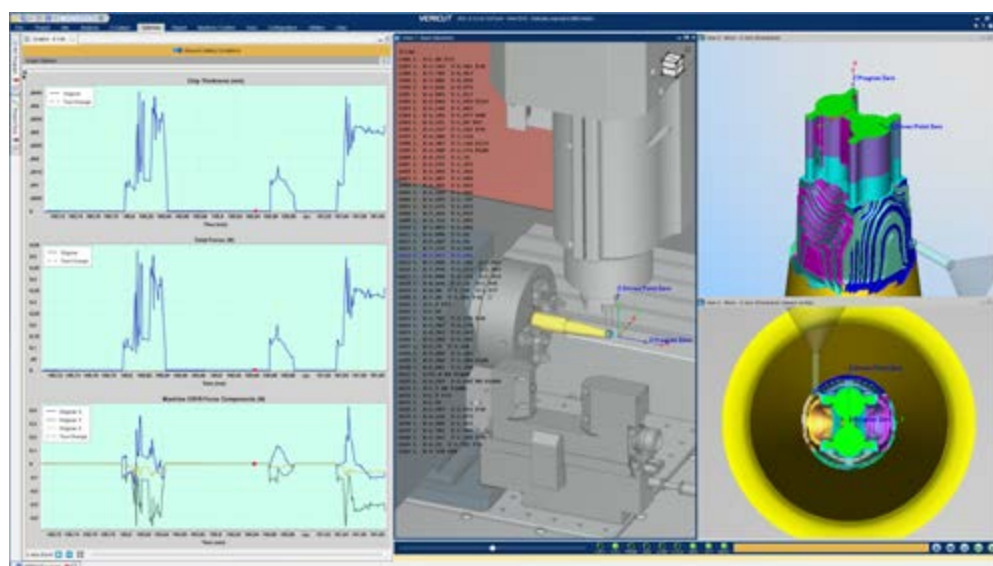
Simulazione della lavorazione di un particolare di una macchina da corsa di Formula Student (Dynamis PRC, Politecnico di Milano) su una YASDA YMC650+RT20 usando il software CGTech VERICUT®. Sia il componente sia il gemello digitale della macchina e la sua simulazione sono stati realizzati dal laboratorio PoliMill

nessione tra computer e macchina utensile in maniera da acquisire i dati necessari per descrivere e per dare il polso della lavorazione in atto, in modo che, come farebbe un medico, ci si possa rendere conto di eventuali aritmie, o di altri sintomi che possano indicare che la lavorazione stia avvenendo in modo scorretto o imprevisto.

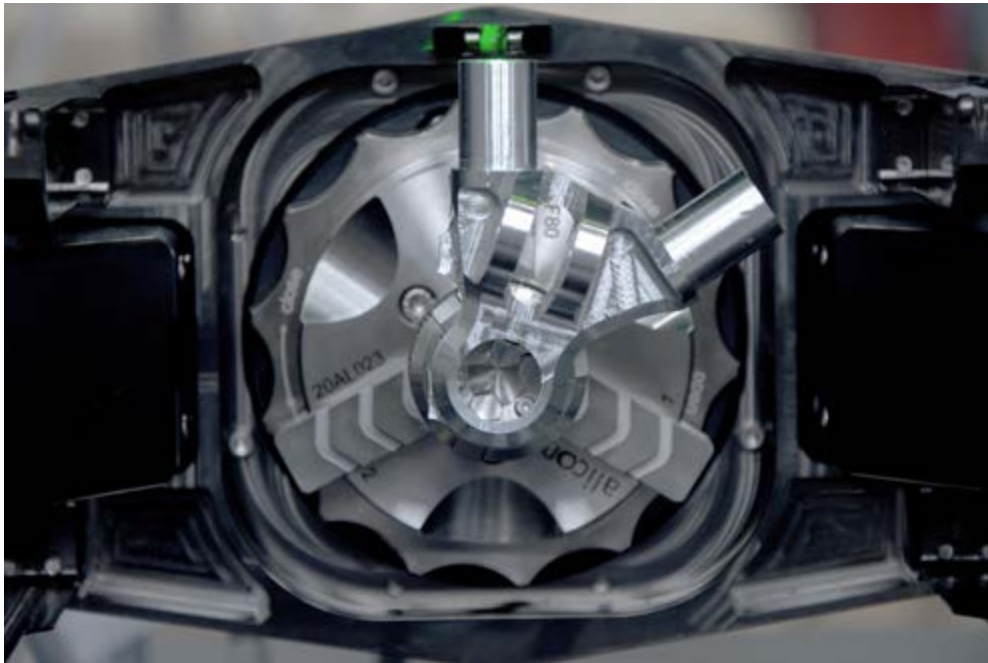
Si tratta quindi dapprima di acquisire per poi analizzare i dati provenienti dalla macchina, in modo da identificare eventuali tendenze problematiche agendo di conseguenza.

Il ruolo delle università

Alle università si rimprovera, da tempo immemore, di essere astratte dalla realtà industriale. Già nel '500 si consumava lo scontro tra artigiani e scienziati. I primi erano considerati dai secondi come depositari della tecnica, della capacità del fare e, per questo, privi di qualsiasi valore sociale, al punto di definire qualsiasi cosa fosse "meccanica" come vile e abietta. I secondi venivano visti dai primi come astratti dal mondo delle cose e concentrati in esercizi di retorica [1]. Oggi questi problemi sembrano un mero dato storico dell'evoluzione della cultura occidentale, che oggi sembra avere invece una relazione identitaria con la tecnica e la scienza applicata. Eppure, il rapporto difficile tra università e mondo industriale a volte permane, nonostante l'una non possa fare a meno dell'altro e viceversa. Questo è più che mai vero nel contesto italiano, anche se ultimamente



Previsione delle forze in fresatura usando il software CGTech VERICUT®. Sia il componente, un maschio per estrusione lavorato su una Kern EVO, sia il gemello digitale della macchina e la sua simulazione sono stati realizzati dal laboratorio PoliMill



le cose stanno cambiando.

È auspicabile che le università e i centri di ricerca instaurino una profonda collaborazione con il mondo industriale che si basi sulla soluzione, mediante la teoria e la tecnica sviluppata con la ricerca, di casi industriali concreti, provenienti da realtà del territorio, fornendo un beneficio oggettivo e quantificabile.

Il laboratorio PoliMill, nato presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano nel 2015, si declina espressamente lungo questa linea di pensiero. Il suo scopo è effettuare ri-

In alto: misurazione automatica di un particolare di una macchina da corsa di Formula Student (Dynamis PRC, Politecnico di Milano) su una Alicona μ CMM

Sopra: una fotografia del laboratorio PoliMill durante uno dei suoi workshop. I workshop PoliMill sono eventi in cui casi di rilevanza industriale vengono analizzati e trattati in dettaglio con l'ausilio dei partner industriali del laboratorio

cerca allo stato dell'arte industriale, partendo da problemi di chiaro interesse per il manifatturiero. Le sue direttrici di ricerca sono incentrate su temi di Industria 4.0 sviluppati in collaborazione con le PMI. Il laboratorio si pone l'ambizioso obiettivo di utilizzare macchinari e software propri del manifatturiero (come CAM e software di simulazione) per affrontare e risolvere casi di lavorazione, integrando il proprio know-how sotto forma di metodologie di utilizzo innovative ed ottimizzate, oppure di codice scritto in linguaggi open-source come C++ e Python, che offrono espressi vantaggi in termini di compatibilità e costi. Lo scopo di queste applicazioni è la riduzione del tempo ciclo e il miglioramento della qualità finale del componente, ma è già possibile considerare altri criteri come il consumo energetico e la sostenibilità della lavorazione.

L'altro contributo fondamentale che il laboratorio PoliMill si pone di fornire al mondo manifatturiero riguarda la formazione, orientata su due direttrici di fondamentale importanza. In primo luogo, ci si rivolge ai prossimi ingegneri, vicini alla conclusione del proprio percorso di studi, fornendo loro argomenti di tesi e casi reali di applicazione industriale in cui il loro contributo tecnico sarà integrato in azienda. Questo permette di creare profili che siano già a loro agio in realtà industriali e digitalizzate, consci delle loro problematiche, dinamiche e soprattutto opportunità.

In secondo luogo, ma non meno importante, PoliMill si pone l'arduo ma fondamentale compito di dimostrare alle aziende manifatturiere come un workflow digitale, compatibile con i precetti di Industria 4.0, possa migliorare la realtà industriale delle PMI, rendendole più competitive e conservando il loro vantaggio competitivo rispetto alla concorrenza. Il corso PoliMill per aziende "Digital Machining", sviluppato dal prof. Massimiliano Annoni e dall'ing. Francesco Barna, ripercorre in maniera logica la produzione di un pezzo demo per consentire ai partecipanti di lavorare attivamente ad un workflow completamente digitale, che soddisfi gli attuali requisiti di tempo, costo, qualità e sostenibilità.

Riferimenti bibliografici

[1] I filosofi e le macchine 1400, Paolo Rossi, Quarta Edizione Maggio 2017, Feltrinelli Editori

[2] <https://www.polimill.polimi.it>