

IL MACHINING AL POLITECNICO DI MILANO



Questo articolo fa un quadro degli insegnamenti disponibili per gli studenti universitari che frequentano il Corso di Studi in Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano, in modo che le aziende che si occupano di processi di asportazione di truciolo possano avere un'idea chiara delle competenze che il Corso fornisce ai propri allievi per rispondere alle esigenze del settore

Massimiliano Annoni

Il Corso di Studi in Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano sta investendo molto nel rinnovamento della propria offerta didattica, tanto che il prossimo Anno Accademico (2024-2025) si completerà il transitorio di avvio nella nuova Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica. A settembre 2024, andrà in onda il secondo anno degli orientamenti che sono stati riprogettati per fornire una didattica aggiornata sui temi industriali di maggiore interesse attuale e futuro. Questo articolo ha lo scopo di fare un quadro degli insegnamenti disponibili per gli studenti universitari che frequentano il Corso di Studi in Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano inerenti al settore manifatturiero e, più in particolare, al settore delle lavorazioni meccaniche di asportazione di truciolo, che chiameremo Machining. Grazie a questa panoramica, che copre sia la Laurea sia la Laurea

Magistrale, le aziende che si occupano di fresatura, tornitura e degli altri processi di asportazione di truciolo possono avere un'idea chiara delle competenze che il Corso di Studi in Ingegneria Meccanica fornisce ai propri allievi per rispondere alle esigenze del settore.

Il Machining nella Laurea Triennale

Prima di entrare nel dettaglio degli insegnamenti di Machining nella Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica, introduciamo la struttura della Laurea stessa, che si compone di tre anni, i primi due comuni a tutti gli studenti e il terzo suddiviso in due possibili percorsi, il "Propedeutico" e il "Professionalizzante" (Figura 1). Il primo viene scelto dagli studenti che intendano proseguire l'anno successivo con la Laurea Magistrale, mentre il secondo viene scelto dagli studenti che intendano terminare il loro curriculum accademico con la Laurea Triennale entrando nel mondo del lavoro. I requisiti di ammissione si trovano sul sito del Corso di Studi in Ingegneria Meccanica (1). Le sedi in cui si svolgono i corsi sono il Campus Bovisa di Milano e il Polo Territoriale di Piacenza. Nel Polo Territoriale di Lecco si tiene il Corso di Studi in Ingegneria della produzione industriale, dove compaiono comunque insegnamenti di Machining, come verrà illustrato nel seguito.

Nel secondo anno della Triennale, si trova il primo insegnamento di Machining, chiamato **Tecnologia Meccanica**, da 10 CFU, che si svolge in tutti e tre i campus citati. I CFU sono i Crediti Formativi Universitari, equivalente italiano degli ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) e sono la misura della quantità di lavoro (suddiviso in lezioni, esercitazioni, laboratori, tirocini e altre attività riconosciute, compreso lo studio a casa) richiesta allo studente per ogni insegnamento. Un credito corrisponde di norma a 25 ore di impegno complessivo. Tecnologia Meccanica richiede quindi allo studente un impegno complessivo di 250 ore per prepararsi all'esame.

Tecnologia Meccanica include non solo il Machining, ma anche la Fonderia e la Deformazione Plastica, di cui vengono date le basi fisiche e teoriche e vengono forniti i modelli di base per la previsione delle grandezze fisiche principali (es. forza, coppia, energia, potenza, temperatura, ecc.) e dei parametri di performance sul

pezzo (rugosità, accuratezza, produttività, ecc.) in funzione dei parametri di processo.

Nel percorso Propedeutico del terzo anno della Triennale non ci sono insegnamenti di Machining, mentre nei PSPA (Piani di Studio Preventivamente Approvati) del percorso Professionalizzante ne troviamo diversi. La Figura 2 rappresenta i PSPA professionalizzanti.

Nel **PSPA VA4 – Processi tecnologici** (Campus Bovisa) si trovano gli insegnamenti di **Gestione industriale della qualità con elementi di statistica** (7 CFU) e di **Studi di fabbricazione** (5 CFU). Il primo riguarda la statistica e la qualità, applicati allo Statistical Process Control (SPC) (carte di controllo, capacità di processo, piani di accettazione, normativa e certificazione).

Studi di fabbricazione si occupa dello studio dei vincoli tecnici ed economici imposti dal progetto allo scopo di individuare i processi adeguati alla produzione. L'insegnamento di Gestione industriale della qualità con elementi di statistica è presente anche nel **PSPA VA3 – Impiantistica industriale** (Campus Bovisa). Sempre nel terzo anno, ma nel **PSPA VA2 – Macchine e impianti di produzione** (Polo di Piacenza), è presente un insegnamento importante per il settore e per il territorio in cui si tiene, **Macchine utensili** (6 CFU).

L'insegnamento fornisce le conoscenze di base per la selezione, la gestione e, almeno parzialmente, la progettazione delle macchine utensili utilizzate nei moderni sistemi produttivi. A tale scopo, viene trattata l'architettura generale delle macchine utensili, sia in termini di componenti sia in termini di configurazioni in funzione delle esigenze produttive. Viene trattato il controllo numerico (e la relativa programmazione ISO e CAM) e l'automazione gestita mediante PLC. Altri temi trattati sono le prestazioni della macchina utensile (capacità del processo e precisione, con le relative procedure di valutazione e collaudo) e i problemi di sicurezza (trattati nell'ambito della Direttiva Macchine).

Nel terzo anno del Corso di Studi in Ingegneria della produzione industriale di Lecco (**PSPA PPF – Applicativo** e **PPM – Propedeutico a indirizzo meccanico**) abbiamo l'insegnamento di **Sistemi di produzione intelligenti** (10 CFU), composto dai due insegnamenti, **Sistemi di produzione** (il sistema di produzione e la sua dinamica, metodi per la valutazione del-

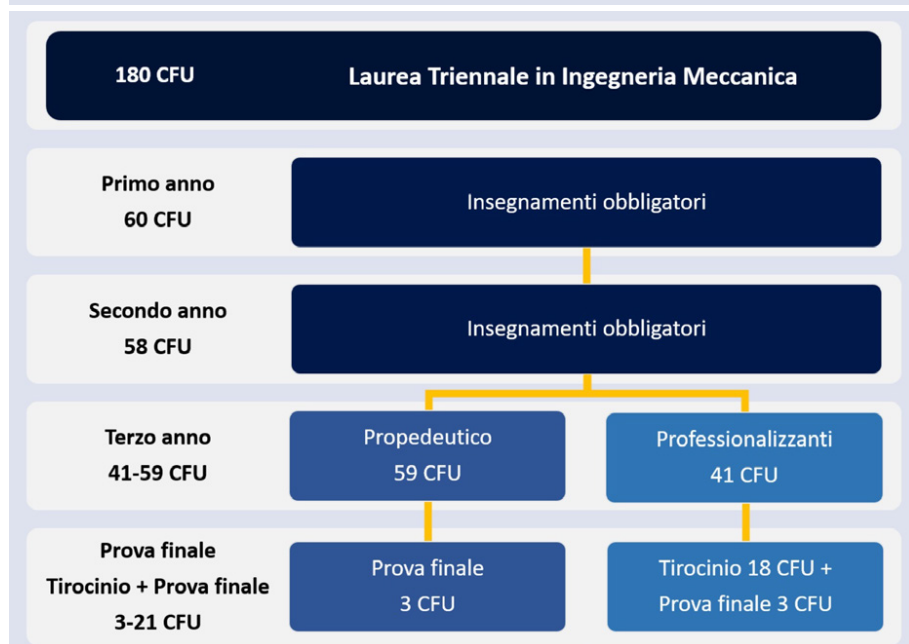


Figura 1: Struttura del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica (a sinistra)

Figura 2: Piani di Studio Preventivamente Approvati (PSPA) del Percorso Professionalizzante della Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica (Campus Milano Bovisa e Polo Territoriale di Piacenza) (in alto)

la prestazioni dei sistemi di produzione, simulazione di un sistema di produzione, con laboratorio) e **Produzione assistita dal calcolatore** (pianificazione assistita dei processi di lavorazione mediante CAD/CAM, con laboratorio), entrambi da 5 CFU.

Una nota importante riguarda il **Tirocinio Curriculare**, obbligatorio per gli studenti che seguono il Percorso Professionalizzante. Il Tirocinio è un'esperienza di grande successo per il corso di Studi in Ingegneria Meccanica in quanto permette allo studente di passare un periodo di 3 mesi full-time in un'azienda che abbia attivato un'offerta di tirocinio con il Career Service del Politecnico di Milano (2). Lo studente è seguito da un tutor aziendale e da un tutor universitario nello svolgimento di un progetto aziendale ben definito dove ha sia la possibilità di apprendere dall'esperienza aziendale, sia quella di fornire all'azienda le conoscenze ma-

turate grazie al percorso di studi. Si tratta quindi di un'opportunità per lo studente, ma anche per l'azienda ospitante, che può trarre vantaggio dallo svolgimento del progetto assegnato, ma anche dalla possibilità di venire in contatto con futuri giovani ingegneri. Sul sito del corso di studi si trovano ulteriori indicazioni (3)

Il Machining nella Laurea Magistrale

Innanzitutto è bene sottolineare che la differenza fondamentale tra un ingegnere (o una ingegnera) triennale e un ingegnere (o una ingegnera) magistrale risiede nel fatto che nel primo caso si tratta di una figura professionale chiamata a usare e gestire conoscenza ingegneristica allo stato dell'arte, mentre nel secondo caso il professionista sarà in grado di sviluppare nuove conoscenze grazie alle discipline e ai metodi acquisiti nella Laurea Magistrale. Nella Figura

3 si può osservare la struttura della Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica. Si tratta di un percorso formativo di due anni.

I requisiti di ammissione si trovano sul sito del Corso di Studi in Ingegneria Meccanica (4). È utile menzionare il fatto che anche gli studenti che abbiano seguito il percorso Professionalizzante della Laurea Triennale possono accedere alla Magistrale previo il superamento di alcuni esami aggiuntivi, utili per fornire le conoscenze non maturate precedentemente a causa dei 18 CFU dedicati al tirocinio.

Con la riforma della Laurea Magistrale, il Corso di Studi in Ingegneria Meccanica ha voluto creare nuovi PSPA che meglio soddisfacessero le richieste attuali dell'industria e del lavoro. Per lasciare più spazio alla specializzazione, lo studente inizia già nel primo anno a frequentare corsi legati all'argomento selezionato (20 CFU), mentre in passato il primo anno era completamente dedicato alla formazione di base.

I PSPA della Laurea Magistrale, detti Track in inglese (si ricorda infatti che la Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica è in inglese al Politecnico di Milano) sono rappresentati nella Figura 4.

Entriamo ora in dettaglio dei corsi di Machining alla Magistrale. A questo scopo, è utile concentrare l'analisi sul track **CM4 – Green design and sustainable manufacturing** (Figura 5).

Nel primo anno (Figura 6), abbiamo l'insegnamento di **Advanced manufacturing proces-**

TORNOS

MultiSwiss 6x32

La MultiSwiss 6x32 è realizzata sulla stessa base della MultiSwiss 8x26. Dotata di 6 mandrini indipendenti con cuscinetto idrostatico, è in grado di lavorare barre fino a 32 mm di diametro. Il motore da 11 Kw ha una coppia aumentata a 27 Nm (S6) che consente condizioni di lavorazione eccellenti anche con pezzi dal diametro massimo. La velocità massima dei mandrini è di 6000 g/min e la lunghezza massima di pezzo è di 65 mm. Nella versione optional, è possibile anche dotare la macchina di tre assi Y.

tornos.com



*32 mm, 27 Nm:
tutto ciò che è necessario
per i grandi diametri*

MultiSwiss 6x32

We keep you turning

ses A (10 CFU). Questo insegnamento fornisce competenze sui processi di lavorazione non convenzionali: principi fisici, modellazione meccanica e termica avanzate, applicazioni industriali. Vengono trattate la tecnologia laser, la tecnologia waterjet, le microlavorazioni meccaniche e le lavorazioni di fresatura su materiali avanzati (leghe aeronautiche, materiali ceramici) mediante utensili speciali (diamante, ceramica, taglio criogenico), il Flexible Forming, tra cui l'idroformatura, l'elettroerosione, il taglio al plasma e le lavorazioni a ultrasuoni.

Per ogni tecnologia, si studia il principio fisico alla base della lavorazione, le macchine, gli utensili, i parametri di processo e il loro effetto sulla qualità finale, le applicazioni.

Sempre il primo anno abbiamo altri insegnamenti obbligatori di Manufacturing come **Manufacturing systems engineering II** (5 CFU) e **De-manufacturing** (5 CFU). Il primo fornisce una visione d'insieme, le metodologie quantitative e le competenze per la valutazione delle performance di sistemi produttivi tenendo conto della loro configurazione (flow shops, job shops, sistemi flessibili di produzione, linee di produzione, sistemi di produzione riconfigurabili) e controllo. Diversi modelli analitici sono introdotti e applicati ai vari casi consentendo di comprendere la natura dei fenomeni che avvengono nei sistemi produttivi (blocking, starvation, colli di bottiglia, guasti, riparazioni, degrado delle prestazioni, qualità a livello di sistema) e definendo le fondamenta per l'ottimizzazione dei sistemi. Gli strumenti e le metodologie studiati nell'insegnamento sono anche applicati ad un caso realistico nell'ambito di un laboratorio progettuale. De-manufacturing tratta la "De-produzione" e la produzione sostenibile, tema portante per l'intero track, introducendo il paradigma di de-produzione e una visione integrata dei processi di disassemblaggio, remanufacturing, riciclo e recupero. Vengono forniti metodi per la modellazione, l'analisi, la scelta, la progettazione, il sequenziamento, la valutazione delle prestazioni, la simulazione e la gestione dei processi di deproduzione, unitamente a esempi di pratiche industriali orientate alla de-produzione, disassemblaggio e rigenerazione per prodotti high-tech.

Nel secondo anno del track CM4 – Green design and sustainable manufacturing, troviamo, tra gli altri, un buon numero di insegnamen-

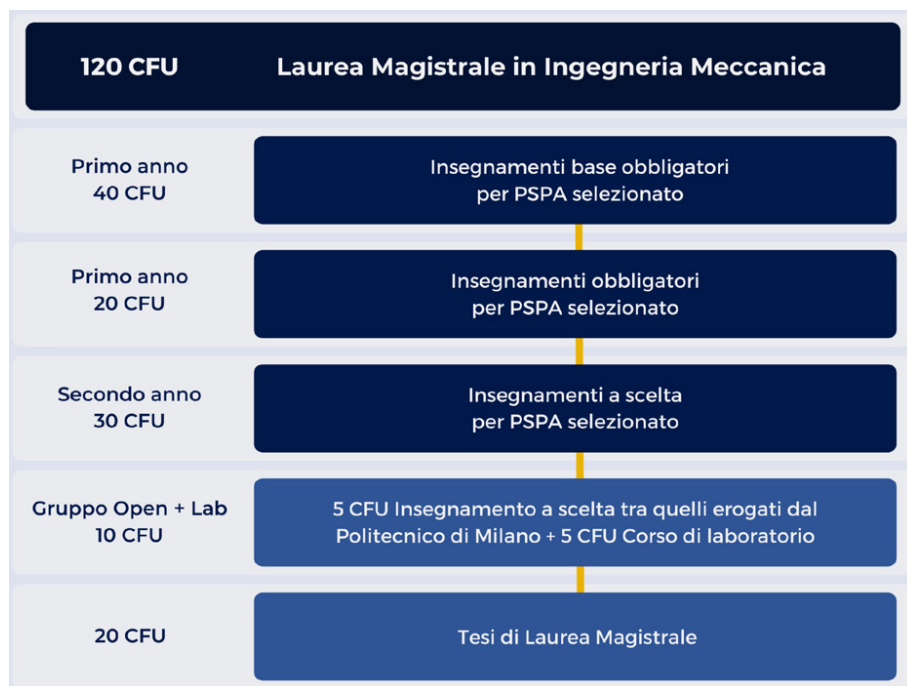


Figura 3: Struttura del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

ti di Manufacturing, alcuni dei quali trattano specificatamente il Machining, come **Digital machining A** (10 CFU), composto dagli insegnamenti **Digital machining B** e **Edge-device based measurements and industry internet of things**, entrambi da 5 CFU. Digital machining A ha lo scopo di fornire le competenze per progettare e implementare un flusso di produzione manifatturiera compatibile con i principi di Industria 4.0 (e Industria 5.0), con particolare focus sulle lavorazioni meccaniche automatiche. Gli argomenti trattati riguardano l'asportazione di truciolo (fresatura, tornitura, foratura), categoria di processi rappresentativi come esempi per la digitalizzazione data la loro rilevanza, diffusione e complessità, la simulazione di questi processi, la verifica dei loro risultati sul pezzo e l'integrazione di sensoristica avanzata. L'insegnamento fornisce competenze nello sviluppo di sistemi di misura di tipo edge e Industrial Internet of Things (IIoT) per supportare la sensorizzazione delle macchine che operano a livello di officina. Agli studenti vengono fornite indicazioni su come selezionare i sensori e i sistemi embedded più adatti a specifiche applicazioni industriali. Vengono di-

scusse le principali tecnologie di comunicazione (BLE smart, WiFi, LoRa, ecc.) e i protocolli più usati in ambito Industria 4.0 (MQTT, OPC-UA, ecc.), nonché le principali architetture che gestiscono il trasferimento di dati e informazioni dal livello OT (Operational Technology) a quello IT (Information Technology)(es., sensori-gateway-cloud). Questi concetti sensibilizzano gli studenti su come progettare, sviluppare e implementare soluzioni IIoT.

Nel secondo anno del track CM4 – Green design and sustainable manufacturing, ci sono poi altri insegnamenti rilevanti per il settore manifatturiero, di cui viene fornita una sintesi:

- **Additive manufacturing A** (10 CFU). L'insegnamento presenta il panorama delle tecnologie di additive manufacturing con attenzione alle sfide e alle opportunità che si aprono in quest'ambito per designer, progettisti, ingegneri, "makers" e più in generale per tutti gli end-user di questi processi di manifattura avanzata.
- **Digital factory** (5 CFU). Negli scenari industriali reali, la capacità di identificare e gestire eventi imprevisti in funzione del loro impatto sul sistema di produzione sono fattori chiave. L'obiettivo del corso è fornire conoscenze e competenze sui modelli digitali dei sistemi produttivi tenendo in considerazione la

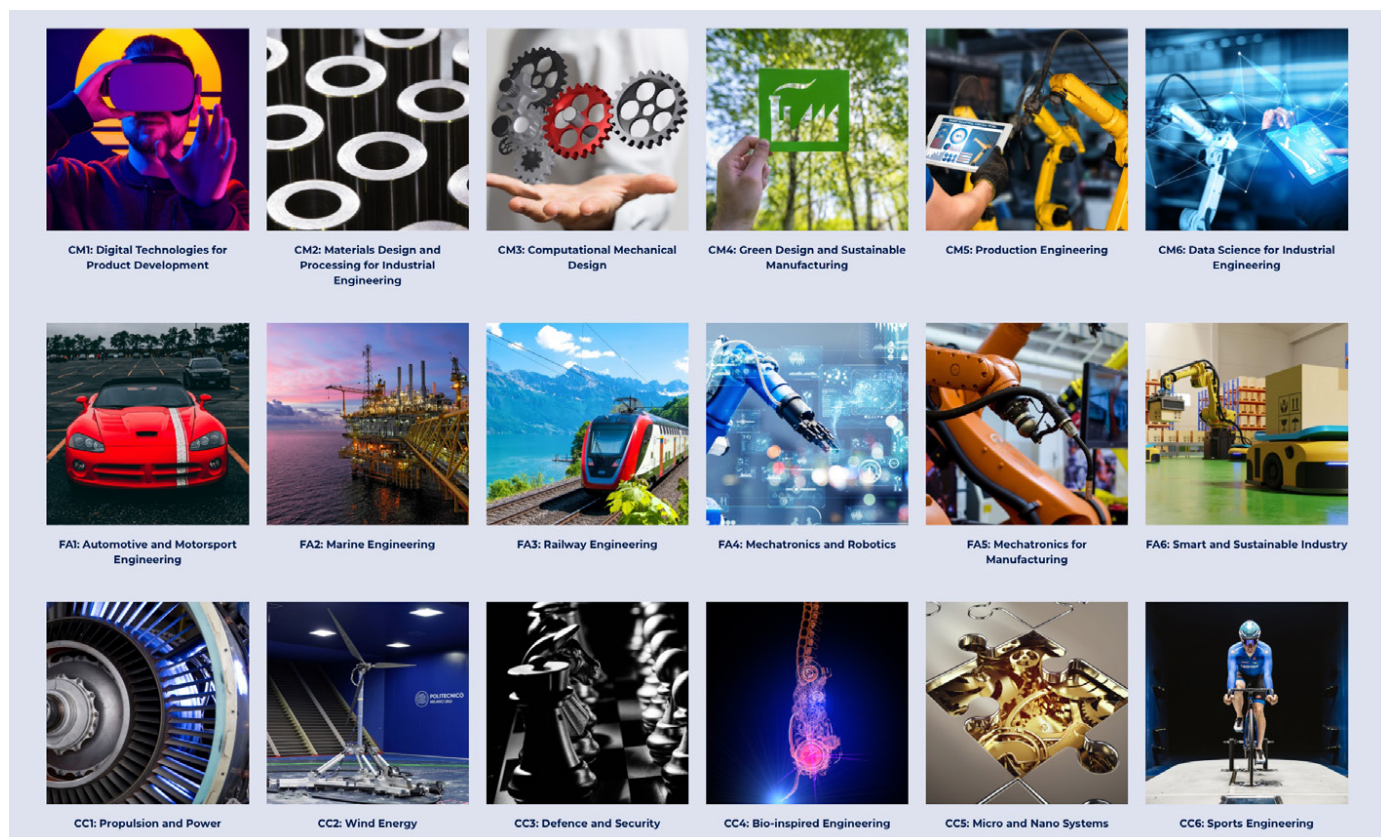


Figura 4: Piani di Studio Preventivamente Approvati (PSPA), detti anche Track, della Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica (Campus Milano Bovisa, Polo Territoriale di Piacenza e Polo Territoriale di Lecco)

presenza di operatori umani. Attraverso questi modelli (Digital Twin, VR/AR) è possibile la gestione ed il controllo di sistemi di produzione complessi considerando le sorgenti di variabilità e incertezza. Le attività dell'insegnamento prevedono lo sviluppo di un progetto da parte degli studenti.

- **Geometry assurance** (5 CFU). La raccolta di dati geometrici di prodotto durante la produzione e la capacità di giudicare la sua conformità alle specifiche sono passaggi essenziali per controllare la qualità del prodotto e del processo in un ambiente di produzione intelligente e sostenibile, soprattutto in presenza di grande evoluzione nei processi di produzione (si veda ad esempio l'additive) e nell'uso dell'ottimizzazione topologica, di struttu-

re lattice e di materiali functionally graded. L'insegnamento si propone di fornire allo studente le conoscenze necessarie per definire le specifiche geometriche di prodotto appropriate e per scegliere e integrare tecnologie e approcci per la loro verifica in un ambiente produttivo.

- **Repairing and remanufacturing** (5 CFU). Questo insegnamento esplora tecniche avanzate di riparazione e saldatura attraverso i metodi di deposizione di energia diretta, utilizzando fasci termici e materiali di alimentazione a filo/polvere. Gli argomenti includono i principi fisici, le applicazioni e la sostenibilità.
- **Additive manufacturing for space and aerospace applications** (5 CFU). L'insegnamento fornisce agli studenti la conoscenza dei diversi processi additive con applicazione industriale nel settore spaziale e aerospaziale. Si trattano svariati materiali, da metalli convenzionali e non, a polimeri, ceramici e geopolimeri (come la regolite lunare), fino a cellule viventi e organi umani. Vengono trattati casi reali provenienti dal settore aerospaziale che

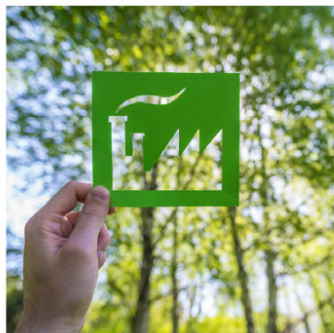
includono il design, l'applicazione nel volo in orbita, fino alla failure analysis di componenti reali.

- **Quality data analysis B** (5 CFU). L'insegnamento si occupa dei metodi quantitativi per modellare, monitorare e migliorare la qualità di prodotti e servizi nei sistemi produttivi reali caratterizzati da indicatori di qualità multidimensionali. L'estrazione delle informazioni rilevanti, l'identificazione dei modelli per prevedere i trend di qualità attesi e la loro implementazione in uno scenario industriale sono lo scopo dell'insegnamento.

La Nuova Magistrale di Meccanica si caratterizza anche per altri due aspetti rilevanti: la possibilità per lo studente di scegliere un corso da 5 CFU dall'intera offerta del Politecnico di Milano e dei suoi partner internazionali ("Gruppo Open" nella Figura 3) e la presenza di un insegnamento di laboratorio espressamente prevista nel piano degli studi ("Lab" nella Figura 3).

L'idea del laboratorio è completare la preparazione dello studente nei temi specifici del track

CM4: Green Design and Sustainable Manufacturing



L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile e il Green Deal europeo definiscono un percorso per la prospettiva futura del pianeta e dei suoi abitanti, divenuto particolarmente attuale alla luce delle principali emergenze (sociali, energetiche e ambientali). Un fattore fondamentale per ottenere questi ambiziosi traguardi è il cambio di paradigma nella progettazione del prodotto e nella produzione industriale, per favorire la transizione verso una nuova generazione di prodotti verdi e una produzione circolare e sostenibile. Obiettivo di questo indirizzo è l'istruzione e la formazione di una nuova generazione di professionisti, con competenze radicate nell'ingegneria meccanica e industriale e specializzate nello sviluppo sostenibile e nella digitalizzazione, che stanno rapidamente diventando una delle prime esigenze delle aziende industriali. Dopo aver completato con successo questo indirizzo, gli studenti avranno una prospettiva olistica combinando una solida competenza in metodi e strumenti per la progettazione di prodotti ecologici e leggeri riducendo al minimo il loro impatto sul ciclo di vita grazie a una conoscenza approfondita di nuove soluzioni per la produzione sostenibile (ad esempio, lavorazione digitale, manifattura additiva) e de-/re-manufacturing (ad es. smontaggio, processi e sistemi di riciclaggio che riducono l'impronta ambientale di prodotti e materiali). Viene inoltre offerta un'ampia varietà di corsi complementari e laboratori dedicati per espandere la prospettiva degli studenti su tutte le diverse dimensioni delle molteplici vite dei prodotti, per acquisire le competenze e le capacità di base necessarie per guidare la nostra economia e società verso nuovi obiettivi sostenibili. L'indirizzo offre anche insieme di corsi incentrati su argomenti specifici, i.e. green design, produzione intelligente sostenibile e produzione additiva.

- CM4: presentazione video
- CM4 – student's guide & course list

Figura 5: Track CM4 – Green design and sustainable manufacturing (Campus Milano Bovisa (5))

tramite un'esperienza progettuale pratica in cui vengano utilizzate le macchine, i software, gli strumenti, gli approcci tipici del settore grazie a un'attività appositamente progettata per essere svolta in presenza nei laboratori, di cui il Corso di Studi in Ingegneria Meccanica va assolutamente fiero.

Il track CM4 – Green design and sustainable manufacturing offre un'ampia scelta di laboratori:

- **LAB – Digital Machining** (5 CFU). Questo laboratorio è la normale prosecuzione del percorso iniziato con Tecnologia Meccanica al secondo anno della Triennale, proseguito con Advanced Manufacturing Processes A al primo anno della Magistrale (track CM4 – Green design and sustainable manufacturing) e con Digital Machining A al primo semestre del secondo anno della Magistrale. Il laboratorio permette allo studente di implementare un workflow digitale per la realizzazione di un ciclo di fabbricazione di un componente meccanico mediante fresatura. IL workflow è completamente digitalizzato grazie all'uso di software allo stato dell'arte industriale: CAM (Computer Aided Manufacturing), scelta utensili, simulazione del ciclo di fresatura a scopo di verifica anticollisione, verifica delle forze di taglio e previsione della qualità sul pezzo (digital twin), progettazione di un ciclo di verifica geometrica su una macchina di misura. Nuove applicazioni di intelligenza artificiale fanno parte del workflow digitale. Il ciclo di fabbricazione viene poi implementato su un centro di lavoro (il laboratorio PoliMill, in cui si svolgerà l'insegnamento, conta su una YASDA YMC650+RT20 e su una KERN Evo), dove sensori adeguati effettuano la misura di grandezze rilevanti (temperatura, forze, acce-

lerazione, ecc.) e sistemi tipo edge e Industrial Internet of Things (IIoT) gestiscono i dati ottenuti, che vengono trasmessi mediante tecnologie di comunicazione adeguate (BLE smart, Wi-Fi, LoRa, ecc.) e protocolli usati in ambito Industria 4.0 (MQTT, Opc-UA, ecc.) nell'ambito di architetture che gestiscono il trasferimento di dati e informazioni dal livello OT a quello IT (es., sensori-gateway-cloud).

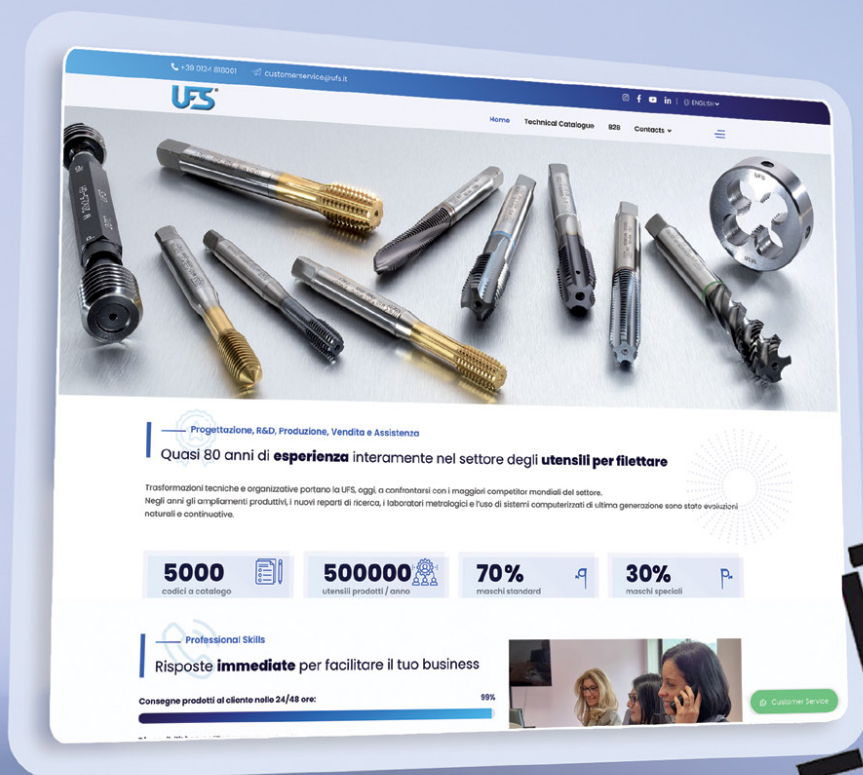
- **LAB – Remanufacturing** (5 CFU). Il laboratorio fornisce competenze pratiche relative ai processi industriali alla base dell'implementazione di business case di economia circolare (settore automotive e elettronica di consumo), con focus orientato al recupero delle funzioni da prodotti post-uso attraverso remanufacturing process-chain. Le diverse tecnologie presenti nel laboratorio CIRC-eV e nell'hub EcoCirc (ispezione, disassemblaggio robotizzato e manuale, cleaning, rigenerazione di componenti meccanici, rifinitura di lamiere) vengono dimostrate in modo integrato per supportare la risoluzione del problema. L'impatto ambientale del processo di re-manufacturing viene valutato e si confrontando criticamente le possibili soluzioni tecnologiche disponibili.
- **LAB – Additive manufacturing for the green transition** (5 CFU). L'obiettivo principale di questo laboratorio è guidare gli studenti nella progettazione e produzione di una nuova generazione di prodotti eco-sostenibili che enfatizzino caratteristiche come leggerezza e durabilità, utilizzando materiali biobasati o riciclati.
- **LAB – Robotic manufacturing** (5 CFU). Lo scopo di questo laboratorio è fornire agli studenti gli strumenti per sviluppare applicazioni robotiche per il settore manifatturiero. Gli

studenti progettano digitalmente la cella di lavorazione comprensiva di robot, end effector, sensori e controllo, si occupano della programmazione del percorso utensile scegliendo opportunamente i parametri di processo stabili e ripetibili per rispettare le specifiche del pezzo e validano il progetto sul campo. Ogni anno viene scelto un caso diverso, tra cui la saldatura di lamiere sottili per la produzione di batterie, polishing e grinding di superfici complesse, machine tending.

Esistono poi altri insegnamenti di Manufacturing in altri track della Laurea Magistrale. Di seguito una breve panoramica:

- **Manufacturing process and technology selection for automotive** (5 CFU)(primo anno del track FA1 – Automotive and motorsport engineering, Campus Milano Bovisa). L'insegnamento presenta delle metodologie per analizzare componenti automotive e proporre i processi di lavorazione e di assemblaggio più adatti considerando fattori tecnologici, economici e di sostenibilità. Particolare attenzione è dedicata alla firma tecnologica, alla capacità di processo, ai costi del ciclo di vita del prodotto e ai requisiti di design.
- **Manufacturing and demanufacturing of sports equipment** (5 CFU)(primo anno del track CC6 – Sports engineering, Polo di Lecco). L'insegnamento tratta i processi di lavorazione avanzati (additive, assemblaggio, formatura) usati per produrre, disassemblare (meccanicamente e termicamente), applicare il remanufacturing e riciclare le apparecchiature sportive. L'approccio è mirato alla soluzione, come testimoniato dal lavoro d'anno svolto dagli studenti.
- **Sustainable manufacturing processes** (10 CFU)(primo anno del track FA6 – Smart and

online
il nuovo
sito!



WWW.UFS.IT



RICHIEDI IL NOSTRO CATALOGO A:
CUSTOMERSERVICE@UFS.IT

DAL 1947



PRODUTTORE ITALIANO
DI UTENSILI PER FILETTARE

Una piattaforma completamente rinnovata per offrire ai nostri clienti una navigazione ottimale e tutte le informazioni sui nostri prodotti e servizi. Contenuti aggiornati, layout intuitivo e accattivante. Un **nuovo Form** per inviare richieste o chiarimenti. Il nostro team è pronto ad assistervi rapidamente. **Spazio Social e News:** post aggiornati con le ultime novità, gli eventi e le promozioni.

- ✓ PROGETTAZIONE
- ✓ RICERCA E SVILUPPO
- ✓ PRODUZIONE
- ✓ ASSISTENZA



WWW.UFS.IT

sustainable industry, Polo di Lecco). L'insegnamento tratta i principali processi di lavorazione avanzata (additive, assemblaggio, formatura e machining) in riferimento a diversi settori di interesse, tra cui l'automotive, e con un focus sulla sostenibilità ambientale. Gli studenti sviluppano un progetto per migliorare la loro esperienza sul campo.

- **Finite element based optimisation of manufacturing processes** (5 CFU)(secondo anno del track FA6 – Smart and sustainable industry, Polo di Lecco). Questo insegnamento di laboratorio pratico ha lo scopo di fornire le competenze per pianificare in maniera ottimale, sia in termini economici sia in termini di sostenibilità ambientale, un processo di deformazione plastica dei materiali, tramite simulazione agli elementi finiti e metamodellazione.
- **Digital and advanced manufacturing** (10 CFU)(primo anno del track FA5 – Mechatronics for manufacturing, Polo di Piacenza). Questo insegnamento mira a fornire agli studenti una visione concreta dell'evoluzione che caratterizza il settore delle macchine utensili e dei sistemi di produzione attraverso l'esperienza dei costruttori di macchine utensili del territorio.
- **Mechatronics for sustainable manufacturing** (10 CFU)(primo anno del track FA5 – Mechatronics for manufacturing, Polo di Piacenza). L'insegnamento riguarda i sistemi meccatronici per il manufacturing, le loro performance e i componenti principali. L'interazione con il processo è modellata per analizzare la stabilità del sistema e le possibili vibrazioni. Vengono fornite le basi per sviluppare sistemi di monitoraggio e prognostica, nonché di verifica della qualità. Concetti di sostenibilità sono introdotti attraverso numerosi casi industriali, come l'additive di materiali termoplastici rinforzati con fibra di carbonio riciclata. L'insegnamento include una vasta esperienza di laboratorio.
- **Cyber-physical manufacturing systems** (5 CFU)(secondo anno del track FA5 – Mechatronics for manufacturing, Polo di Piacenza). L'obiettivo del corso è fornire allo studente la capacità di progettare, costruire e gestire modelli interconnessi che collegano il mondo fisico con quello digitale, al fine di garantire l'efficienza, la flessibilità e la

Bibliografia



1 - <https://www.mecheng.polimi.it/laurea-triennale/percorso-propedeutico/>



2 - <https://cm.careerservice.polimi.it>



3 - <https://www.mecheng.polimi.it/laurea-triennale/percorso-professionalizzante/tirocinio-curricolare>



4 - <https://www.mecheng.polimi.it/laurea-magistrale/>



5 - <https://www.mecheng.polimi.it/laurea-magistrale/piani-di-studio>



6 - <https://www.polimi.it/formazione/corsi-di-laurea/dettaglio-corso/ingegneria-meccanica>



7 - <https://www.polimi.it/formazione/corsi-di-laurea-magistrale/dettaglio-corso/mechanical-engineering-ingegneria-meccanica>



8 - <https://www.polimill.polimi.it/eventi-download/>

1°Anno											
Codice	SSD	Denominazione Insegnamento	Num Sez	Lingua	Sede d'erogazione	Tipo	Sem	CFU	CFU Gruppo		
062565	ING-IND/13	DYNAMICS OF MECHANICAL SYSTEMS		EN	BV	M	1	5.0			
059165	ING-IND/16	ADVANCED MANUFACTURING PROCESSES A		EN	BV	M	1	10.0			
059173	ING-IND/21	ADVANCED MATERIALS FOR MECHANICAL ENGINEERING		EN	BV	M	1	5.0			
059227	ING-IND/12	MEASUREMENTS FOR MECHANICAL ENGINEERING		EN	BV	M	2	5.0			
097485	ING-IND/14	MACHINE DESIGN		EN	BV	M	2	5.0			
059189	ING-IND/17	DESIGN AND MANAGEMENT OF PRODUCTION SYSTEMS		EN	BV	M	2	10.0			
062572	ING-IND/14	METHODS AND TOOLS FOR CIRCULAR MECHANICAL DESIGN		EN	BV	M	2	10.0	10.0		
054952	ING-IND/16	MANUFACTURING SYSTEMS ENGINEERING II		EN	BV	M	1	5.0			
097314	ING-IND/16	DE-MANUFACTURING		EN	BV	M	1	5.0		10.0	

Figura 6: Primo anno del track CM4 – Green design and sustainable manufacturing (Campus Milano Bovisa)

resilienza dei sistemi manifatturieri. Il corso fornisce metodi quantitativi e competenze rilevanti nell'ambito dei sistemi di produzione cyber-fisici, in base alle sorgenti di informazione disponibili, ai dati di produzione attuali e agli obiettivi identificati. Vengono analizzati casi reali da varie applicazioni manifatturiere.

- **LAB - Machinery mechatronic design**, (5 CFU)(secondo anno del track FA5 – Mechatronics for manufacturing, Polo di Piacenza). L'insegnamento di laboratorio mira a fornire allo studente le conoscenze necessarie per padroneggiare gli strumenti utilizzati per la progettazione e lo sviluppo di digital-twin di sistemi meccatronici e ad illustrarne l'utilità all'interno della catena del valore tramite lo sviluppo di opportuni progetti applicativi.

Conclusioni

Questo articolo funge da guida sia per studenti che vogliano intraprendere una carriera nel settore manifatturiero attraverso la Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria Meccanica, sia per le aziende interessate a conoscere i percorsi universitari del Politecnico di Milano in grado di fornire ai futuri ingegneri competenze utili per la loro attività. Si rimanda al sito del Politecnico di Milano per ulteriori informazioni (6,7). Le aziende che invece fossero interessate a fornire ai propri dipendenti conoscenza nel settore della digitalizzazione del Machining, possono usufruire dei corsi di **Digital Machining** offerti dal laboratorio PoliMill del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano e MADE – Competence Center Industria 4.0 (8). La prossima edizione si terrà il 19, 20 e 21 novembre 2024.