

Macchine utensili: realtà e prospettive

A cura di Alessandra Russo - Funzionario tecnico Area Normazione UNI



Costruire il futuro con il supporto della normazione tecnica. Qual è la realtà attuale delle macchine utensili e quale percorso futuro possiamo prevedere per questo settore? Per rispondere a queste domande nelle prossime pagine presenteremo l'attività di normazione applicabile al settore delle macchine utensili nel quale l'industria italiana si posiziona tra i principali costruttori ed esportatori mondiali. Il dossier, in modo non esaustivo, vuole offrire al lettore una panoramica generale delle attività normative pregresse, in corso e future, affrontando tematiche che vanno dalla sicurezza delle macchine alla sostenibilità ambientale, dalle lavorazioni multitasking all'integrazione fra le macchine, dalle nuove tecnologie di produzione alle tendenze in atto. Se pensiamo ai diversi prodotti che utilizziamo nella vita quotidiana non dovremmo far fatica a capire come il campo di utilizzo delle macchine utensili sia molto vasto. Impiegate nell'industria manifatturiera e meccanica, le macchine utensili sono state progettate principalmente per la lavorazione dei metalli, materiali lapidei, vetro, legno e plastica in molteplici settori industriali: aeronautico-aerospaziale, automotive, incluse le macchine agricole e di movimento terra, ferroviario, nautico, dell'energia, dell'arredamento, nel dentale, nella produzione di beni di consumo (p.e. occhiali, orologi, penne a sfera, posateria e stoviglie, ...). La macchina utensile, primo gradino della catena produttiva industriale, serve alla realizzazione di qualsiasi prodotto, ma anche alla costruzione di altre macchine industriali, da quelle per le lavorazioni tessili a quelle per il legno o per la plastica, dalle macchine per l'alimentare a quelle per il packaging. Torni, alesatrici, fresatrici, macchine a taglio laser, macchine transfer, macchine per la saldatura, stampaggio, per il trattamento delle superfici, robot, tecnologie additive, hardware, software di automazione, assemblaggio, utensili, accessori, sistemi per la sicurezza... questo è il mondo delle macchine utensili. Macchine che, nel corso dei decenni hanno avuto una naturale evoluzione - pensiamo al passaggio

che ha visto la trasformazione delle forze motrici idrauliche in termiche con l'invenzione della macchina a vapore, per arrivare all'energia elettrica e successivamente all'avvento dell'informatica con lo sviluppo delle macchine a controllo numerico, capaci di soddisfare le crescenti esigenze di programmazione e di automazione delle lavorazioni - e che, ancora oggi sono in grado di adattarsi rapidamente alla domanda di un mercato in continua evoluzione dove flessibilità e versatilità diventano caratteristiche prioritarie. È il caso delle macchine multitasking progettate a fronte della richiesta di una linea produttiva specifica... macchine in qualche misura "personalizzate". Nelle pagine successive avremo modo di capire come molti di questi aspetti sono stati considerati dalla normativa tecnica che governa il settore delle macchine utensili. In particolare daremo uno sguardo all'attività dei Comitati Tecnici ISO/TC 39 *Machine Tools* e CEN/TC 143 *Machine tools - Safety* che si occupano di definire caratteristiche prestazionali e di efficienza energetica, requisiti di sicurezza e prescrizioni per prove e collaudi delle macchine utensili. Il fatto che una macchina utensile sia stata progettata, costruita e gestita in conformità alla normativa tecnica può essere un elemento fondamentale che influisce direttamente sul suo valore in fase di offerta. Pur essendo un settore consolidato, guardando al futuro, è possibile notare come diverse siano le innovazioni tecnologiche che si stanno sviluppando nel mercato macchine utensili, a partire dalla disponibilità di nuovi materiali, dall'applicazione di formulazioni micro e nano e dai nuovi metodi di lavorazione della materia. Elementi che obbligatoriamente influenzano l'evoluzione del settore. Se un tempo si lavoravano principalmente materiali metallici, oggi la lavorazione si è spostata su materiali sempre più resistenti (ceramiche, materiali compositi, materiali polimerici, superleghe, ...) le cui caratteristiche tecniche influenzano la scelta del metodo di lavorazione e quindi della macchina utensile e relativi utensili,

nonché la definizione dei parametri tecnologici corrispondenti e l'ottimizzazione dei cicli, sia in termini di tempo che di qualità del processo produttivo. Altra tendenza che si osserva nelle costruzioni meccaniche è quella in cui l'utilizzo di dispositivi di misura e di controllo sempre più precisi (p.e. sensori elettronici per vedere, ascoltare, misurare e generare una serie di informazioni utili per comunicare anomalie, ecc.) diventa un plus per le aziende produttrici che devono far fronte a livelli di competitività sempre più elevati, in termini di massima accuratezza e qualità del prodotto finito. Nuove prospettive emergono anche dall'applicazione di tecnologie additive alle lavorazioni "classiche" di queste macchine utensili e dalla ricerca nel campo dell'automazione con sviluppo di robot e dispositivi-sistemi robotici. La manifattura additiva sta rivoluzionando il mondo della produzione industriale, permettendo di tagliare drasticamente i tempi di sviluppo di nuovi componenti e nuovi modelli, in particolare nelle fasi di definizione del prototipo ma anche nelle reali produzioni. Sempre più frequentemente questa innovativa metodologia produttiva viene affiancata a quella delle macchine utensili con la nascita delle cosiddette macchine utensili ibride. La normativa tecnica delle macchine utensili si è sempre occupata di definire i principali aspetti tecnici di prestazione e sicurezza applicabili al settore e ciò ha indubbiamente fornito enormi benefici. Questi risultati potranno essere mantenuti anche in futuro solo se si continuerà ad aggiornare lo "stato dell'arte" definito nelle norme tecniche del settore e quindi se si riuscirà a collegare l'innovazione tecnologica delle macchine utensili alla normativa tecnica che la dovrà comprendere e includere. Sarà necessario disporre di norme tecniche a supporto del processo di internazionalizzazione del settore oggi indispensabile per il mantenimento della competitività... disporre di una normativa al passo coi tempi!

L'attività di normazione della commissione UNI Macchine utensili

Macchine utensili, robot e automazione rappresentano il cuore del sistema produttivo, per la loro capacità di innovare prodotti e processi e di sviluppare crescita economica e occupazione.

Sono tecnologie chiave per tutte le aziende del manifatturiero (dalle PMI alle grandi aziende), per tutti i settori e prodotti ad uso industriale, civile e militare e vengono utilizzate sia per la produzione di piccoli lotti, sia per produzioni di serie.

Il mercato delle macchine utensili è un mercato globale, che coinvolge paesi industrializzati e paesi emergenti e la forte competizione richiede un continuo sviluppo e capacità di innovazione. I costruttori italiani sono riconosciuti essere fra i primi nel mondo per qualità, evoluzione tecnologica e capacità di soddisfare le esigenze del mercato; dato attestato dalle posizioni a livello mondiale come costruttori e esportatori: rispettivamente quarti e terzi.

Le macchine utensili svolgono un ruolo primario, non solo per gli aspetti economici, ma anche per l'ambiente e la società; in particolare l'evoluzione tecnologica ha consentito di ridurre gli impatti ambientali e l'uso delle risorse e di migliorare le condizioni di lavoro, favorendo attività meno stressanti e a più alto contenuto di conoscenza.

Le macchine utensili sono in continua evoluzione per rispondere alle esigenze dei clienti: precisione, qualità, affidabilità, produttività, flessibilità, versatilità, multifunzionalità, sicurezza, efficienza energetica, manutenibilità, interconnettività sono alcuni dei temi su cui i costruttori devono intervenire per essere competitivi. I fornitori di macchine sono sempre più "solutori di problemi", di conseguenza l'offerta di macchine utensili e sistemi di produzione si è fatta sempre più articolata per soddisfare le varie esigenze d'uso.

Le macchine utensili sono tecnologie abilitanti per il manifatturiero ma sono anche utilizzatori di nuove tecnologie, la cui integrazione consente di sviluppare prodotti e servizi sempre più innovativi e nuovi modelli di business. Per i costruttori è quindi fondamentale essere sempre all'avanguardia nello sviluppo di nuove soluzioni, aggiornati sulle novità tecniche, attivi nei progetti di ricerca e nei lavori normativi, essenziali per l'accettazione e diffusione delle nuove tecnologie. Tutto ciò trova spazio nell'attività della Commissione Tecnica Macchine utensili dell'UNI che si occupa di seguire la normazione applicabile alle macchine utensili per la lavorazione dei metalli ad asportazione di truciolo, per deformazione, per elettroerosione (EDM). Tratta inoltre tutti quegli aspetti per l'utilizzazione e la costruzione delle macchine utensili e dei sistemi di produzione nonché dei relativi componenti destinati a fabbricare, assemblare, manipolare e misurare prodotti e manufatti. Si occupa delle prove e collaudi delle macchine utensili, della loro valutazione ambientale e degli aspetti di sicurezza. Tra i lavori futuri dei quali si occuperà la Commissione Macchine utensili figurano l'attività di interfaccia del neo costituito Comitato Tecnico ISO/TC 299 *Robots and robotic devices* e l'attività di collegamento con i lavori riguardanti le additive manufacturing del CEN/TC 438 e dell'ISO/TC 261. La Commissione UNI/CT 024 è strutturata in otto gruppi di lavoro: GL 1 Prove e collaudi delle macchine utensili, GL 2 Valutazione ambientale delle macchine utensili, GL 3 Sicurezza delle macchine utensili per asportazione, GL 4 Sicurezza delle macchine utensili per deformazione, GL 5 Utensileria, GL 6 Interfaccia ISO/TC 29/SC 5 Mole e abrasivi, GL 7 Interfaccia ISO/TC 29/SC 8 Strumenti per pressatura e stampaggio, GL 8 Interfaccia ISO/TC 29/SC 10 Strumenti per viti e dadi, pinze e tronchesi.

E' incaricata di seguire i lavori di interfaccia del comitato tecnico internazionale ISO/TC 39 Machine tools - che ha pubblicato fino ad ora circa 170 norme - e del comitato europeo



CEN/TC 143 Machine tools - Safety che ha elaborato un pacchetto di norme riguardanti i requisiti di sicurezza per alcune tipologie di macchine utensili armonizzate alla Direttiva 2006/42/EC. Tali norme si propongono come strumento che qualsiasi fabbricante può utilizzare per soddisfare i requisiti indicati dalle pertinenti Direttive (presunzione di conformità).

Elenco delle norme sulle macchine utensili armonizzate alla Direttiva Macchine 2006/42/EC:

- EN 12417 Machine tools - Safety - Machining centres;
- EN 12622 Safety of machine tools - Hydraulic press brakes;
- EN 12717 Safety of machine tools - Drilling machines;
- EN 13128 Safety of machine tools - Milling machines (including boring machines);
- EN 13218 Machine tools - Safety - Stationary grinding machines;
- EN 13736 Safety of machine tools - Pneumatic presses;
- EN 13898 Machine tools - Safety - Sawing machines for cold metal;
- EN 13985 Machine tools - Safety - Guillotine shears;
- EN 14070 Safety of machine tools - Transfer and special-purpose machines;
- EN ISO 23125 Machine tools - Safety - Turning machines;
- EN ISO 28881 Machine tools - Safety - Electro-discharge machines;
- Serie EN ISO 10218 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots.

Giulio Maria Giana
Presidente CT Macchine Utensili UNI

Alessandra Russo
Funzionario Tecnico Area Normazione UNI





PROGRAMMA DI LAVORO DELL'ISO/TC 39 MACHINE TOOLS E SUE SOTTOSTRUTTURE

ISO 14955-1:2014 Machine tools - Environmental evaluation of machine tools - Part 1: Design methodology for energy-efficient machine tools/CD Amd 1
ISO/CD 14955-2 Machine tools - Environmental evaluation of machine tools - Part 2: Methods for measuring energy supplied to machine tools and machine tool components

ISO/NP 14955-4 Machine tools - Environmental evaluation of machine tools - Part 4: Principles for testing metal forming machine tools with respect to energy efficiency

ISO/TC 39/SC 2 TEST CONDITIONS FOR METAL CUTTING MACHINE TOOLS

ISO 230-2:2014 Test code for machine tools - Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes/DAmD 1

ISO/FDIS 230-10 Test code for machine tools - Part 10: Determination of the measuring performance of probing systems of numerically controlled machine tools

ISO/DTR 230-11 Test code for machine tools - Part 11: Measuring instruments suitable for machine tool geometry tests

ISO 2407:1997 Test conditions for internal cylindrical grinding machines with horizontal spindle -- Testing of accuracy/DAmD 1

ISO/DIS 3070-2 Machine tools - Test conditions for testing the accuracy of boring and milling machines

ISO/CD 3875 Machine tools - Test conditions for external cylindrical centreless grinding machines - Testing of the accuracy

ISO 10791-7:2014 Test conditions for machining centres - Part 7: Accuracy of finished test pieces/CD Amd 1

ISO/CD 13041-1 Test conditions for numerically controlled turning machines and turning centres - Part 1: Geometric tests for machines with a horizontal work holding spindle

ISO/DIS 13041-2 Test conditions for numerically controlled turning machines and turning centres - Part 2: Geometric tests for machines with a vertical work holding spindle

ISO/CD TR 17243-2 Machine tool spindles - Evaluation of spindle vibrations by measurements on non-rotating parts - Part 2: Direct driven spindles and belt driven spindles with rolling element bearings operating at speeds between 600 min⁻¹ and 30 000 min⁻¹

ISO/DIS 17543-1 Machine tools - Test conditions for accessory spindle heads - Part 1: Horizontal spindle machines

ISO/TC 39/SC 10 SAFETY

ISO 16089 Machine tools - Safety - Stationary grinding machines

ISO/DIS 16090-1 Machine tools safety - Machining centres, Milling machines, Transfer machines - Part 1: Safety requirements

ISO/DIS 16092-1 Machine tools safety - Presses - Part 1: General safety requirements

ISO/DIS 16092-3 Machine tools safety - Presses - Part 3: Safety requirements for hydraulic presses

ISO/FDIS 16093 Machine tools - Safety - Sawing machines for cold metal

PROGRAMMA DI LAVORO DEL CEN/TC 143 MACHINE TOOLS – SAFETY

FprEN ISO 16089 Machine tools - Safety - Stationary grinding machines

prEN ISO 16093 Machine tools - Safety - Sawing machines for cold metal

prEN ISO 16092-1 Machine tools safety - Presses - Part 1: General safety requirements

prEN ISO 16092-3 Machine tools safety - Presses - Part 3: Safety requirements for hydraulic presses

prEN ISO 16090-1 Machine tools safety - Machining centres, Milling machines, Transfer machines - Part 1: Safety requirements

prEN 13743 Safety requirements for coated abrasive products

EN 13236:2010/FprA1 Safety requirements for super abrasive products

Quali norme per macchine utensili, robot e automazione

L'attività di normazione consiste nell'elaborare, attraverso partecipazione volontaria, consensualità e trasparenza, documenti tecnici che, pur essendo di applicazione volontaria, forniscano riferimenti certi per tutti gli operatori e le autorità di controllo. Le norme rappresentano e consolidano lo stato dell'arte e sono uno strumento indispensabile per definire un linguaggio comune, diffondere la conoscenza, stabilire una competizione corretta e rapporti contrattuali chiari.

Con la diffusione dell'uso delle norme è sempre più vasto il riconoscimento della loro indispensabilità e l'osservanza diventa quasi "imposta" dal mercato. La progressiva trasformazione dei mercati da nazionali, a europei e internazionali ha portato ad una parallela evoluzione della normativa, con importanti riconoscimenti anche dal WTO (*World Trade Organization*).

Ne deriva la sempre maggiore rilevanza degli Organismi normatori internazionali ISO (*International Organization for Standardization*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*) e l'importanza che le loro norme, pur essendo di libero recepimento da parte degli organismi di normazione membri, rivestono sui mercati mondiali. Purtroppo non sempre la normazione internazionale riesce a superare gli ostacoli tecnici agli scambi, dovuti alla persistenza di diverse regolamentazioni nazionali.

Particolare il caso europeo, dove l'attività normativa è strettamente correlata con un corpo sempre più completo di Direttive dell'Unione Europea e ha dovuto, quindi, darsi regole interne più rigide: gli organismi di normazione membri del CEN (*Comité Européen de Normalisation*) e del CENELEC (*Comité Européen de Normalisation en Électronique et en Électrotechnique*) sono infatti obbligati a recepire le norme europee "armonizzate" e a ritirare le proprie, se contrastanti. In ogni caso, gli elevati livelli di protezione che la normazione europea consente di garantire e l'importanza del settore manifatturiero europeo, ha favorito la diffusione delle norme europee in tutto il mondo, in particolare per gli aspetti di sostenibilità e sicurezza.

In tale contesto l'attività normativa nazionale sta sempre più organizzando le proprie risorse per contribuire alla normazione europea e internazionale, portando istanze, competenze e, in generale, un contributo attivo ai lavori normativi. Purtroppo i tagli alle risorse pubbliche destinate alla normazione compromettono la possibilità di rappresentare il nostro Paese in modo consono alla sua importanza. I costi della normazione sono un problema particolarmente sentito in tutto il settore del manifatturiero italiano, costituito in prevalenza da PMI.

L'evoluzione della normazione non si è però concretizzata solo in un allargamento di orizzonti geografici, ha infatti subito anche una sensibile evoluzione concettuale, che l'ha portata ad abbracciare significati sempre più ampi.

Oggi l'attività di normazione ha per oggetto anche la definizione dei processi, dei servizi e dei livelli di prestazione, intervenendo in tutte le fasi di vita del prodotto e nelle attività di servizio correlate.

Non solo, la normazione si occupa anche di definire aspetti di sicurezza sociale, di organizzazione aziendale, di protezione ambientale, così da tutelare le persone, le imprese e l'ambiente.



In linea con questa evoluzione, nel trattare le attività normative nel settore delle macchine e dei sistemi di produzione, robot, automazione e prodotti a questi ausiliari (Controlli Numerici, utensili, componenti accessori), si ritiene interessante adottare una chiave di lettura che tenga conto degli attuali modelli utilizzati come riferimento per la crescita del settore produttivo meccanico più avanzato e del manifatturiero in generale.

Macchine per un manifatturiero sostenibile

Sostenibilità e produzione ecocompatibile sono oggi temi di assoluto rilievo, dibattuti in tutte le sedi istituzionali e oggetto di grande attenzione mediatica, nonché di scelte politiche locali e globali. La sostenibilità si declina su tre fondamentali dimensioni: sostenibilità economica, sostenibilità ambientale, sostenibilità sociale.

Il manifatturiero si è fatto parte attiva per soddisfare le istanze di sostenibilità e trasformarle in opportunità di sviluppo, sfruttando le possibilità offerte dalle nuove tecnologie, che stanno profondamente cambiando la realtà produttiva con la cosiddetta Industria 4.0.

Il termine, nato in Germania, trova un corrispettivo più ampio nell'espressione: Fabbrica del Futuro. In sostanza si tratta di tecnologie che stanno cambiando il modo di progettare, realizzare e distribuire i prodotti in tutto il mondo e possono creare un flusso digitale in tutta la catena industriale, che permette di organizzare e gestire in modo automatico grandi quantità di informazioni (BIG DATA). Questa possibilità è correlata allo sviluppo dell'IoT (Internet delle Cose), ove gli oggetti acquisiscono un'identità e un ruolo, grazie al collegamento in rete.

Molte di queste tecnologie e strumenti avanzati sono già disponibili e utilizzate in ambito industriale, anche per via dell'abbattimento dei costi che le rende più accessibili. Le potenzialità di sviluppo sono enormi, ma persistono problemi legati alla mancanza di una visione di sistema, alla carenza di infrastrutture, alla sicurezza informatica, alla formazione.

Sostenibilità e Industria 4.0 non sono quindi concetti fra loro disgiunti, ma confluiscono in una visione comune che abbinia le istanze sociali, economiche e ambientali, le esigenze del sistema produttivo e i bisogni del mercato, con le possibilità offerte dall'evoluzione tecnologica digitale e dall'IoT. In ogni caso, per essere efficaci i nuovi modelli devono disporre di una base solida di riferimento affinché i vari sistemi siano capaci di dialogare fra loro in modo veloce e sicuro (interoperabilità), consentendo la "scalabilità" delle soluzioni (possibilità di ridurre o ampliare le capacità senza modificare le caratteristiche di base, come la sicurezza), nonché di parametri e metodi che consentano di meglio definire strategie e obiettivi e di valutare il loro raggiungimento: fondamentale risulta quindi la normazione.

Ma vediamo più nel dettaglio quali sono alcune delle attività normative di interesse per il settore delle macchine utensili, robot e automazione e la loro affinità con i temi richiamati.

Sostenibilità economica

Gli aspetti di sostenibilità economica trovano riscontro in ambito manifatturiero in quei principi guida il cui focus è sulla generazione di valore per clienti e azionisti attraverso l'eliminazione degli sprechi e nella capacità di seguire le rapide variazioni del mercato (ridurre il time to market), che oggi sempre più si sta orientando verso la "personalizzazione di massa", ovvero verso l'adozione di una "strategia di produzione di beni e servizi orientata a soddisfare i bisogni individuali dei clienti e contemporaneamente preservare l'efficienza della produzione di massa, in termini di bassi costi di produzione e quindi prezzi di vendita contenuti".

Le moderne macchine utensili e robot, in quanto cuore del sistema manifatturiero, sono essenziali per la soddisfazione degli obiettivi di sostenibilità economica dell'impresa utilizzatrice, perché consentono di ridurre i cosiddetti "costi totali di possesso" dall'acquisto fino allo smaltimento, garantendo il raggiungimento degli obiettivi di produzione previsti e l'ottenimento

della qualità richiesta e consentendo di adattare in tempi rapidi la produzione alle necessità del mercato. Proprio in questo contesto la normazione risulta fondamentale, pensiamo per esempio agli aspetti di interfacciamento tra le persone in termini di linguaggio tecnico e terminologia, segnali e simboli, modalità di comunicazione, nonché agli aspetti di connessione meccanica, fluidica, elettrica, elettronica, informatica, ecc.

È evidente come l'unificazione di: terminologia, segnaletica, dimensioni, tipi di produzione, interfacce, sistemi di connessione e fissaggio, protocolli di comunicazione, ecc. consente di ridurre i costi industriali di progettazione, realizzazione, uso e manutenzione dei prodotti e di facilitare l'interazione con fornitori e clienti. Permette inoltre l'interfacciabilità, l'intercambiabilità e l'interoperabilità all'interno di sistemi complessi di produzione ove persone, macchine, robot, sistemi di manipolazione e sistemi di movimentazione devono interagire fra loro, e con i livelli superiori, in modo sicuro e efficiente.

Vediamo ora alcune attività normative di interesse per il settore:

- Terminologia: terminologia e documentazione tecnica sono parte integrante di numerose norme per le macchine utensili elaborate dall'ISO/TC 39 Machine Tools (che tratta anche i segni grafici) e dal CEN/TC 143 "Machine tools - Safety".

NORME GENERALI DI INTERESSE PER LA DOCUMENTAZIONE TECNICA:

UNI EN ISO 12100	Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio
CEI EN 82079-1	Preparazione di istruzioni per l'uso - Struttura, contenuto e presentazione Parte 1: Principi generali e prescrizioni dettagliate
UNI 11083	Preparazione di istruzioni per l'uso - Struttura, contenuto e presentazione Parte 1: Principi generali e prescrizioni dettagliate
UNI 10893	Istruzioni per l'uso - Articolazione e ordine espositivo del contenuto
UNI 10653	Qualità della documentazione tecnica di prodotto

- Meccanica: la normazione meccanica copre un campo vastissimo, l'ISO/TC 39 tratta le dimensioni delle unità modulari delle macchine utensili e dei componenti come viti a sfere, mandrini, tavole, autocentranti, ecc. Importante è inoltre la normazione dell'utensileria seguita dall'ISO/TC 29 "Small tools".
- Tecnologie di comunicazione e scambio di segnali, dati, informazioni ai vari livelli: il comitato normativo di riferimento in ambito internazionale è l'ISO/TC 184 "sistemi di automazione e integrazione". L'ISO/TC 184 "Automation systems and integration" opera nell'ambito della normazione nel settore dei sistemi di automazione e della loro integrazione per la progettazione, approvvigionamento, produzione, consegna, supporto, manutenzione e smaltimento

dei prodotti e dei servizi associati. Le aree di normazione includono: i sistemi informatici, la robotica (in particolare i robot fissi e mobili per applicazioni nell'industria e in specifici ambienti non industriali), l'automazione e il relativo software, le tecnologie di integrazione per l'ambito industriale. In considerazione della rilevanza della robotica in ambito mondiale, ISO ha deciso di recente di avviare il nuovo ISO/TC 299 "Robots and robotic devices". Tutta questa attività è basilare per l'adozione e diffusione dell'IoT e il successo di Industria 4.0.

- Impiantistica: nel settore elettrotecnico ed elettronico l'attività normativa è di competenza degli organismi di normazione CEI, CENELEC, IEC. Data l'ampiezza della materia ci limitiamo a ricordare l'importanza del comitato IEC/TC 44 "Safety of machinery - Electrotechnical aspects" che ha pubblicato la norma base CEI EN 60204-1 Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento delle macchine - Parte 1: Regole generali. Fra gli aspetti impiantistici vi è anche la compatibilità elettromagnetica, presidiata dalle norme di famiglia di prodotti per le macchine utensili CEI EN 50370 e il tema della sicurezza funzionale, con le norme: UNI EN ISO 13849-1 Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Parte 1: Principi generali per la progettazione e CEI EN 62061 Sicurezza dei macchinari: Sicurezza funzionale dei sistemi di controllo elettrici, elettronici e programmabili.

Per eventuali approfondimenti in merito alla normazione in ambito elettrico si rimanda al sito web del CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano www.ceiweb.it

Per eventuali approfondimenti riguardanti le norme sugli impianti fluidici (pneumatici, oleodinamici/idraulici) si rimanda al sito UNI www.uni.com

La normazione non si limita però a trattare gli aspetti progettuali e costruttivi, ma entra anche nel merito della verifica delle caratteristiche/prestazioni e della qualità delle macchine utensili (e loro parti) e dei sistemi di produzione: centrale è l'attività svolta dall'ISO/TC 39/SC 2 "Test conditions for metal cutting machine tools". Questa particolare tipologia di norme tecniche svolge un ruolo fondamentale negli accordi contrattuali. Le caratteristiche tecniche, le prestazioni e i parametri di qualità, concordati contrattualmente sono infatti tipicamente oggetto di verifica congiunta fornitore-acquirente, al fine di garantire il rispetto delle condizioni pattuite.

Poter disporre di metodologie normalizzate per la prova/il collaudo delle macchine e dei sistemi consente di semplificare tale attività, di ridurre i contenziosi, di rendere facilmente ripetibili le misure e confrontabili i risultati. Ovviamente la validità di queste norme è tanto maggiore quanto più esse riescono a individuare metodologie in grado di fornire, con tempi e costi ridotti, indicazioni utili e attendibili sulle caratteristiche promesse/pattuite e in particolare su quelle di maggior interesse per l'utilizzatore al fine di garantire i risultati attesi. La crescente complessità delle macchine e dei sistemi integrati e la variabilità delle lavorazioni possibili, che comportano caratteristiche di multifunzionalità, flessibilità e

adattabilità, unite alla necessità del costruttore di qualificare al meglio la propria capacità di "solutore di problemi" (e non solo di fornitore di macchine) hanno portato a dedicare sempre maggiori risorse per portare in sede nazionale (Commissione tecnica dell'UNI Macchine Utensili) e internazionale le istanze dei costruttori italiani, al fine di individuare procedure e metodologie adatte a soddisfare in modo più efficace le esigenze delle parti contraenti. Questa attenzione si sta estendendo anche verso le altre tecnologie, diverse dall'asportazione e deformazione del metallo (ad es. elettroerosione, lavorazioni elettrochimiche, laser, water jet, fascio elettronico, ecc.), non sempre agevoli da inquadrare come attività normativa. Un ruolo rilevante stanno assumendo le tecnologie additive, il cui comitato di riferimento è l'ISO/TC 261 "Additive manufacturing". In Europa è stato da poco costituito il CEN/TC 438 "Additive manufacturing". Le macchine a tecnologia additiva usate nel manifatturiero meccanico sono anche definibili "macchine utensili del terzo tipo", perché fanno parte della stessa catena del valore della macchine utensili e hanno problematiche del tutto simili: interfacciamenti, aspetti elettrici e elettromagnetici, sicurezza, collaudo, efficienza energetica, ecc.

Sostenibilità ambientale

Per le industrie manifatturiere, la sostenibilità ambientale (eco sostenibilità) è tipicamente correlata all'uso delle risorse e alla produzione di rifiuti e emissioni dannose. L'uso delle risorse, con riferimento in particolare all'attività produttiva, può essere scomposto, in linea di massima, nelle componenti:

- materiali (e preparati/sostanze), utilizzati per la realizzazione dei prodotti e per la conduzione dei processi di produzione;
- energia, necessaria per la conduzione del processo di produzione e attività correlate.

La generazione di rifiuti e emissioni dannose si riferisce tipicamente agli scarti e agli avanzi, nonché alle emissioni in acqua e nell'ambiente derivanti dall'attività dell'azienda.

Questi aspetti sono sempre più elementari distintivi nella progettazione e costruzione dei mezzi di produzione. Data la variabilità di prodotti, processi, tecnologie, modi d'uso, settori di destinazione, ecc., non esistono soluzioni predefinite, spetta al costruttore scegliere le misure più efficaci ed efficienti da adottare. Anche in questo caso la normazione svolge comunque un ruolo importante nello stabilire i criteri di valutazione dell'impatto ambientale e particolare rilevanza riveste l'attività dell'ISO/TC 39/WG 12 "Environmental evaluation of machine tools", che si occupa dei criteri di progetto e costruzione, dei metodi di misura e dei criteri di prova per l'efficienza energetica delle macchine utensili (norme della serie UNI ISO 14955 Valutazione ambientale delle macchine utensili).

Sostenibilità sociale

La terza componente della sostenibilità è quella connessa con l'aspetto sociale, questo si correla con ergonomia, sicurezza e igiene e con la "positività" del rapporto tra le persone impiegate nelle attività del sistema produttivo e il sistema stesso. Aspetti tipicamente governati da leggi.

In generale, nelle moderne macchine utensili e

sistemi di produzione, l'adozione delle nuove tecnologie ha consentito di migliorare le condizioni di lavoro, ma l'evoluzione tecnologica comporta un continuo cambiamento dello stato dell'arte e pertanto la tendenza attuale è quella di riportare nei testi legislativi gli obiettivi/requisiti essenziali da soddisfare ai fini dell'immissione sul mercato dei prodotti e di lasciare alle norme tecniche il compito di definire le soluzioni applicabili per ottemperare ai requisiti di legge. In questo contesto le norme restano ad applicazione volontaria, ma se applicate consentono di attivare il cosiddetto principio di presunzione di conformità ai requisiti da esse coperti. Questo meccanismo, da tempo adottato in sede europea, si è dimostrato vincente, per la capacità di seguire l'evoluzione del mercato e lo stato dell'arte, anche se appare ancora molto debole l'attività di sorveglianza del mercato, che consente di garantire condizioni di base uguali per tutti, ridurre la concorrenza sleale e favorire la sicurezza dei cittadini.

Le norme tecniche relative a sicurezza e igiene svolgono quindi un ruolo fondamentale nell'ambito obbligatorio e dovrebbero trovare la più ampia diffusione in tutto il mondo con una piattaforma comune di riferimento, costituita dalle norme internazionali. Purtroppo, malgrado gli sforzi fatti e in atto, molti paesi mantengono (per ragioni storiche o di interesse) una propria legislazione e propri sistemi normativi e certificativi. Ciò vale peraltro anche per l'Europa, ove le norme internazionali, affinché possano essere riconosciute come norme armonizzate, devono soddisfare i requisiti delle Direttive di riferimento.

Tale garanzia è data, sia dalla numerosa partecipazione europea ai lavori normativi internazionali, sia dalla supervisione che viene svolta ai fini della pubblicazione dei riferimenti delle norme sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea.

Le attività svolte dagli organismi internazionali di normazione stanno trovando sempre maggior riscontro nei diversi Paesi e i rispettivi sistemi normativi tendono, seppur lentamente, ad avvicinarsi.

È interessante segnalare come molte norme armonizzate europee, in particolare quelle redatte nell'ambito della Direttiva Macchine 2006/42/CE, nel tempo sono state ricondotte a norme internazionali da parte del Comitato Tecnico ISO/TC 199 "Safety of machinery" e da parte del Comitato Tecnico ISO/TC 39, che ha costituito la sottocommissione SC 10 "Safety" che ricalca l'attività europea del CEN/TC 143 "Machine tools - Safety", articolata in gruppi di lavoro suddivisi per tipologie di macchine (centri di lavoro, torni, rettificatrici, segatrici, presse, ecc.).

La trasposizione dell'attività europea in sede internazionale non è però esente da problemi, inefficienze e interessi di parte, per tale motivo le associazioni che rappresentano il settore fra cui UCIMU - SISTEMI PER PRODURRE e STANIMUC, sono costantemente impegnate, in stretta collaborazione con gli enti normativi nazionali CEI e UNI, in azioni di partecipazione e monitoraggio delle attività, affinché siano soddisfatte le condizioni di applicabilità e sostenibilità.

La fabbrica del futuro

Parlando di fabbrica del futuro, è utile richiamare gli aspetti che stanno trovando sempre più attenzione nell'ambito della ricerca e innovazione:

- Interoperabilità, ossia la capacità dei sistemi di essere connessi e comunicare fra loro via IoT.

- Virtualizzazione, ossia la creazione di un modello virtuale della fabbrica che utilizzi dati derivanti dai sistemi fisici.
- Decentralizzazione, ossia la capacità dei sistemi di adattarsi alle varie situazioni e di decidere autonomamente.
- Capacità di operare in real-time, ossia la capacità di raccogliere, analizzare e reagire in tempo reale.
- Modularità (riconfigurabilità), ossia la capacità di adattarsi in modo flessibile alle richieste di cambiamento e di reagire sostituendo o espandendo i vari moduli.
- Orientamento ai servizi via web, ossia ampliare l'offerta di servizi tramite l'IoT.

I notevoli sviluppi attesi dalle attività di ricerca dovrebbero procedere, per quanto possibile, contestualmente con l'attività normativa, per consentire una più rapida diffusione e assimilazione dei risultati raggiunti.

Tuttavia occorre procedere con cautela, è necessario che il vantaggio offerto dalle nuove tecnologie dia luogo/si configuri in soluzioni comprovate e consolidate, che assicurino/mantengano quei livelli di sicurezza già raggiunti senza introdurre situazioni di rischio che potrebbero essere non adeguatamente considerate. La scelta di muoversi su questa linea di prudenza trova riscontro anche in ambito normativo dove i Comitati tecnici hanno deciso di adottare inizialmente delle specifiche tecniche, cioè documenti il cui scopo è quello di diffondere la conoscenza e di stimolare la discussione su un determinato argomento.

In questo contesto, di grande interesse sono gli studi volti a trovare soluzioni in grado di garantire sempre più flessibilità e produttività, in particolare nelle applicazioni di difficile o impossibile automatizzazione oppure, soluzioni dove è necessario agevolare i compiti dell'operatore umano mantenendone destrezza e versatilità, con l'ausilio di robot. In questo ambito l'ultima nata nella famiglia della sicurezza dei robot è la Specifica Tecnica ISO/TS 15066 *Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Collaborative operation*, cui ha collaborato in sede nazionale CNR ITIA (Istituto di Tecnologie Industriali ed Automazione del CNR), che raccoglie linee guida e requisiti di sicurezza dei robot collaborativi.

NORME SULLA SICUREZZA DEI SISTEMI ROBOTIZZATI	
UNI EN ISO 11161	Sicurezza del macchinario - Sistemi di fabbricazione integrati - Requisiti di base
UNI EN ISO 10218-1	Robot e attrezzature per robot - Requisiti di sicurezza per robot industriali - Parte 1: Robot
UNI EN ISO 10218-2	Robot e attrezzature per robot - Requisiti di sicurezza per robot industriali - Parte 2: Sistemi ed integrazione di robot
ISO/DTS 15066	Robots and robotic devices - Collaborative robots

Fra i temi di sviluppo delle moderne macchine utensili citiamo la multifunzionalità che porta alla realizzazione di macchine ibride in grado di operare su vari materiali abbinando diverse tecnologie. Aspetto ancora più complesso quello della riconfigurabilità che porta a soluzioni e funzionalità variabili in base alle esigenze

produttive. Altri temi che si collegano alle potenzialità offerte dalle tecnologie informatiche sono i comandi e i sensori wireless e le attività di tele diagnosi e telemanutenzione che possono comportare problemi di *security* (cyber sicurezza) e di *safety* (sicurezza operatore). Continuo confronto fra tutte le parti in causa, comprensione delle reali esigenze e possibilità, capacità innovativa, formazione adeguata, sono gli elementi che consentono di trovare le soluzioni ottimali, nella piena garanzia della salute e sicurezza delle persone. Alla luce di quanto sopra esposto risulta pertanto evidente come il settore delle macchine utensili e dei sistemi integrati sia un settore complesso nel quale entrano in gioco diverse tecnologie: meccanica, elettrotecnica, elettronica, fluidica, automazione e robotica, informatica.

Conclusioni

La normazione svolge un ruolo di primaria importanza perché costruisce un sistema di re-gole condiviso ed efficace, capace di ridurre l'incertezza e la complessità che caratterizza i sistemi economici e sociali attuali e di rispondere alle esigenze di sostenibilità. Perché ciò succeda le norme devono essere valorizzate e diffuse nel modo più ampio possibile a tutti i livelli e in tutti i contesti.

Nel settore delle macchine, robot, sistemi di produzione e dell'automazione industriale, l'attività normativa appare complessa e di difficile presidio, stante le molteplici problematiche che vengono ad essere coinvolte e i diversi livelli normativi esistenti (nazionali, europei, mondiali). Le associazioni e le imprese che rappresentano il settore in Italia sono costantemente impegnate a garantire la partecipazione attiva presso gli Enti di normazione, contribuendo con ciò a creare un'immagine positiva e evoluta del paese Italia.

La rapida evoluzione tecnologica e le mutevoli esigenze del mercato richiedono un legame sempre più stretto fra i diversi mondi, quali ricerca, industria, normazione e formazione, in grado di ridurre le situazioni di criticità e insuccesso, in particolare nell'applicazione delle nuove tecnologie e per favorire al massimo le potenzialità di crescita e sviluppo sostenibile.

È comunque importante sottolineare come macchine utensili, robot e in generale mezzi e sistemi di produzione siano sempre più personalizzati sulle esigenze dei vari utilizzatori e settori d'uso, e come di conseguenza l'abilità, la competenza, la capacità del singolo costruttore continuo a fare la differenza consentendo di rispondere nel miglior modo possibile alle diverse istanze degli utilizzatori. La normazione deve facilitare questa attività e favorire l'evoluzione dello stato dell'arte per rispondere alle rapide variazioni del mercato, sempre nel pieno rispetto della tutela delle persone.

In quest'ambito l'offerta italiana è riconosciuta per la capacità di dare risposte ottimali a tutte le esigenze del mondo produttivo più avanzato, nonostante la competizione risulti sempre più agguerrita. Il vantaggio tecnologico può essere mantenuto solo con adeguati investimenti in ricerca, innovazione, formazione e anche nella normazione, aspetto che in Italia non sempre è stato considerato con la dovuta importanza, anche dalle istituzioni, ma che è essenziale per la competitività.

Bruno Maiocchi

Coordinatore del GL 3 Sicurezza delle macchine utensili per asportazione UNI
Membro CT Macchine utensili UNI

Valutazione ambientale delle macchine utensili

Dopo anni di analisi e dibattiti, oggi è unanimemente riconosciuto come l'attività dell'uomo abbia impattato sull'ambiente naturale. Uno di tali effetti è il "riscaldamento globale", dovuto all'utilizzo di energia e al rilascio di anidride carbonica nell'atmosfera. La crescente preoccupazione per le probabili conseguenze ha portato allo sviluppo di varie iniziative, tra cui la recente conferenza COP21 di Parigi. Oltre ad utilizzare fonti energetiche rinnovabili, una notevole riduzione dell'emissione di CO₂ può derivare da un miglioramento dell'efficienza energetica, sia degli edifici che dei macchinari. Queste decisioni politiche e strategiche, per produrre effetti concreti, devono essere articolate in prescrizioni che abbiano effetto sull'attività industriale. Il primo passo, per l'Unione Europea (UE), è stata la definizione delle linee guida tramite la Direttiva "Energy Using Products" del 2005¹, ampliata poi con la "Energy Related Products" del 2009². Esse prescrivono la definizione, per ogni categoria di prodotto che abbia un consumo energetico significativo a livello europeo, di standard che impongano un'adeguata attenzione agli aspetti energetici da parte dei progettisti e costruttori. Le macchine utensili, e più in generale i beni strumentali, rientrano tra tali prodotti, per cui l'UE ha prescritto uno Studio preliminare³ per valutare la situazione e possibili politiche di regolamentazione del settore. In questo panorama l'ISO (International Organization for Standardization) ha ritenuto necessario definire uno standard, destinato sia ai costruttori sia agli utilizzatori, che guidasse ed uniformasse la valutazione energetica di una macchina utensile. Nel 2010 il Comitato Tecnico ISO/TC 39 "Machine Tools" ha quindi avviato il WG 12 "Environmental evaluation of machine tools" - al quale partecipano diversi Paesi fra i quali Austria, Francia, Germania, Giappone, Italia, Iran, Portogallo, Regno Unito, Repubblica Ceca, Spagna, Svizzera - che sta elaborando una serie di norme focalizzate sul consumo di energia delle macchine utensili (in termini di energia elettrica, aria compressa, olio in pressione, gas, ecc.), in quanto si ritiene che l'energia utilizzata durante la lunga vita operativa di una macchina utensile produca un impatto maggiore rispetto a quello legato alla sua costruzione e dismissione, data anche la buona riciclabilità dei materiali utilizzati. La norma ISO 14955 *Environmental evaluation of machine tools* è suddivisa in due parti generali (1, 2) e tre parti specifiche (3, 4 e 5) per diverse tipologie di macchine, come illustrato nella figura 1:

Parte 1: Design methodology for energy-efficient machine tools

Parte 2: Methods for measuring energy supplied to machine tools and machine tool components

Parte 3: Principles for testing metal-cutting machine tools with respect to energy efficiency

Parte 4: Principles for testing metal-forming machine tools with respect to energy efficiency

Parte 5: Principles for testing woodworking machine tools with respect to energy efficiency

Parte (i): Principles for testing ...

Figura 1 - Struttura della norma ISO 14955

Stato avanzamento lavori:

- ISO 14955-1, 2nd Edition *Design methodology for energy-efficient machine tools* (pubblicata nel 2014, prevista una nuova versione nel 2016): la norma vuole fornire un metodo per integrare le valutazioni energetiche nella progettazione di una nuova macchina. L'appendice fornisce un'utile elenco di possibili soluzioni tecniche migliorative, con particolare attenzione alle periferiche quali centralina idraulica, frigoriferi, circolazione fluido da taglio. Si propone come check list da utilizzare nella progettazione di una nuova macchina.
- ISO 14955-2 *Methods for measuring energy supplied to machine tools and machine tool components* (attualmente in fase di Committee Draft): fornisce indicazioni per effettuare misure energetiche su una macchina (per es. l'energia assorbita dal compressore per fornire aria in pressione alla macchina) e documentarne i risultati.

Indicazioni per misure su motori elettrici e componentistica idraulica. Non specifica il ciclo di test, cioè cosa fa la macchina durante le misure, che sarà definito per le diverse tipologie di macchine nelle parti successive.

- ISO 14955-3 *Principles for testing metal-cutting machine tools with respect to energy efficiency*: è stata elaborata una prima bozza che verrà proposta come nuovo argomento di sviluppo in primavera (New Work Item).
- ISO 14955-4 *Principles for testing metal-forming machine tools with respect to energy efficiency*: recentemente approvata come NWI, verrà integrata con una parte sulle macchine piega tubi e laser e successivamente proposta come *Draft International Standard* all'ISO/TC 39, ad inizio 2016.
- ISO 14955-5 *Principles for testing woodworking machine tools with respect to energy efficiency*: recentemente approvata come NWI.

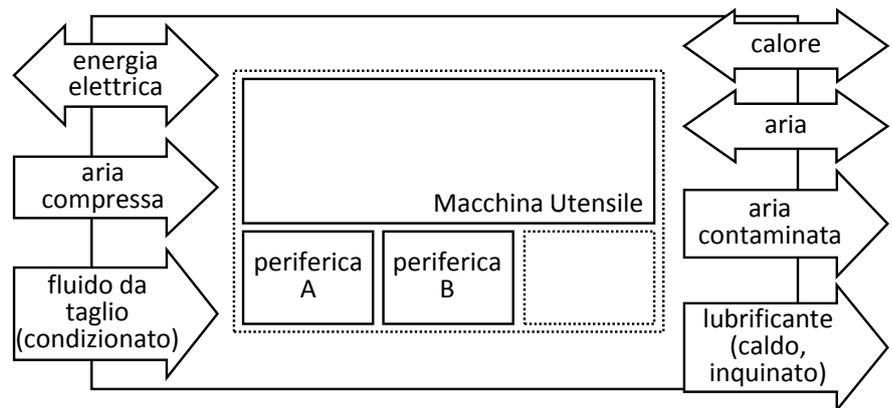


Figura 2 - Flussi energetici che attraversano i confini di una macchina utensile, secondo la ISO 14955





Per analizzare la norma ISO 14955 è utile far riferimento a diversi scenari applicativi:

- A) un utilizzatore sta esplorando il mercato per acquistare una nuova macchina per realizzare una produzione completamente definita, il cosiddetto sistema "chiavi in mano", e vuole sapere quanta energia essa consuma. La norma deve allora prescrivere come eseguire e documentare le misure di consumo di energia, tipicamente elettrica e pneumatica. Questa situazione è descritta, nella ISO 14955-2, come "task based testing scenario", in quanto le misure sono specifiche per la missione produttiva ("task") considerata dal cliente.
- B) un utilizzatore sta consultando diversi costruttori di macchine per acquisirne una, avendo definito che tipologie di pezzi vuole lavorare ma non un singolo caso produttivo. In questo caso la norma può indicare ai costruttori come fornire indicazioni generiche sui consumi energetici di diversi modelli di macchine utensili, analogamente ai "litri/100km" indicati dai costruttori automobilistici per spostamenti urbani/extra-urbani/combinati. Questa situazione è descritta, nella ISO 14955-2, come "machine based testing scenario", in quanto la modalità di misura andrà definita per la singola tipologia di macchina, nelle rispettive parti 3, 4, e 5, e non per uno specifico caso produttivo.
- C) un costruttore di macchina vuole mostrare di aver adottato scelte progettuali mirate all'efficienza energetica, per quanto permesso dalla miglior tecnologia disponibile (le cosiddette "Best Available Technologies"). Questo è lo scenario di interesse per azioni di marketing che vogliono evidenziare le qualità, anche in termini ambientali, della macchina. Questo è anche il caso che dovrebbe verificarsi in Europa quando la Commissione Europea richiederà di assicurare una "qualità energetica" per la concessione del marchio CE, come previsto dalla Direttiva Ecodesign (2009/125/EC).

Per lo scenario C il riferimento è la ISO 14955-1, mentre gli scenari A e B richiedono, in aggiunta, la ISO 14955-2

e la parte specifica per la tipologia di macchina considerata: per esempio, per una macchina a deformazione occorre fare riferimento alla ISO 14955-4. L'aspetto più delicato è in generale la definizione di procedure di test "machine based", data l'estrema variabilità delle diverse tipologie di macchine utensili considerate dalla norma. Ad oggi, le parti 3, 4 e 5 stanno adottando approcci diversi, legati alla diversa complessità e variabilità delle macchine analizzate e delle rispettive lavorazioni eseguite:

- per le macchine per il legno (parte 5) la tendenza è definire completamente dei cicli di prova, per ogni famiglia di macchine, in termini di corse, velocità, durata. In genere non è richiesto di effettuare l'asportazione del materiale: è prescritto il cosiddetto "taglio in aria". Tale approccio è reso possibile dalla limitata variabilità delle geometrie lavorate (in genere si tratta di pannelli) e dal valore modesto delle forze di taglio sul legno.
- per le macchine a deformazione plastica (parte 4) la norma definisce cicli di test prescrivendo valori dei parametri in proporzione alla capacità della macchina (per es. la slitta di una pressa idraulica deve raggiungere, durante la prova, il 70% della forza nominale ed il 100% della velocità di rapido). Con riferimento ad uno scenario di tipo B, la norma propone cicli di test generici senza richiedere l'utilizzo di uno specifico stampo (in genere costoso e non disponibile, se la produzione non è ancora stata avviata): se possibile, le forze di processo vengono simulate utilizzando i cilindri idraulici del premilamiera o degli estrattori, in opposizione al movimento della mazzetta.
- per le macchine ad asportazione per metalli, la parte 3, ancora in fase iniziale di sviluppo, non propone cicli di test "Machine based", a causa della grande variabilità di macchine (torni, centri di lavoro, rettifiche, ecc.) e delle rispettive lavorazioni (lavorazioni a 3-5 assi, fresature, forature, alesature, ecc.). La norma, in questo caso, parte dal considerare uno scenario di tipo A, "Task based", lasciando ai costruttori ed utilizzatori la definizione, per il caso specifico, di procedure di testing concordate.

Chiaramente, per i costruttori ed utilizzatori europei è importante capire cosa potrebbe prescrivere la CE nell'ambito dello scenario normativo C. L'associazione europea dei costruttori di macchine utensili, CECIMO, ha proposto alla Commissione Europea un'ipotesi di autoregolamentazione (la cosiddetta "Self Regulatory Measure", prevista dalla Direttiva). Ciononostante la Commissione Europea ha indetto un bando per lo sviluppo di una misura implementativa della Direttiva 2009/125/EC per diverse tipologie di prodotti, tra cui le macchine utensili, suggerendo l'adozione di un metodo "a punti". Tale approccio richiederebbe ai costruttori di macchine, per poter commercializzare il prodotto in Europa, di raggiungere un punteggio minimo grazie all'adozione di misure migliorative dal punto di vista energetico, quali quelle riportate nell'appendice A della ISO 14955-1.

Si nota, dalle brevi note esposte, come lo sviluppo della norma ISO 14955 stia richiedendo un notevole lavoro, non solo per trattare la grande varietà di macchine considerate, ma anche per definire e consolidare la metodologia generale, data la novità della tematica energetica per il settore delle macchine utensili. È quindi importante che le aziende interessate partecipino attivamente ai lavori normativi, fornendo il loro punto di vista e le loro esperienze.

Per chi fosse interessato è possibile contattare UNI al seguente indirizzo normazione@uni.com.

Giacomo Bianchi

Coordinatore GL 2 Valutazione ambientale delle macchine utensili UNI
Membro CT Macchine utensili UNI

NOTE

¹ eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0029:0058:IT:PDF

² <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:en:PDF>

³ <http://www.ecomachinetools.eu/typo/>

Sicurezza delle macchine utensili multimodali

Il mercato delle macchine utensili si sta evolvendo sempre di più verso forme di macchine complesse, multimodali, con possibilità di lavorazione combinate. Allo stato attuale si incontrano sovente sul mercato macchine multi mandrino che, partendo da configurazioni "standard", già difficilmente inquadrabili all'interno di normative di tipo C specifiche, permettono al costruttore la veloce riconfigurazione degli assi principali per adattarsi alle più svariate esigenze dell'utilizzatore finale.

Sono inoltre molto richieste macchine costruite per risolvere particolari problemi produttivi. In questo ultimo caso il costruttore, pur partendo da una soluzione tecnica standard (ad esempio un centro di tornitura o di fresatura) ha bisogno di effettuare una analisi dei rischi specifica per la macchina che deve essere progettata.

La richiesta di macchine progettate per lavorazioni speciali è altresì affiancata dall'esigenza di disporre di interfacce uomo macchina avanzate, connessione al web per telediagnosi-tele manutenzione, facilmente riconfigurabili.

Nel presente articolo verranno trattati alcuni aspetti strettamente correlati con la sicurezza di macchine speciali-multimodali:

- possibilità reali di introduzione del cosiddetto modo speciale (MSO3) per risolvere problemi correlati con particolari esigenze produttive;
- possibilità realistiche di condurre analisi dei rischi mirate per l'ottenimento dei PI, (Performance Level Richiesto) per queste macchine utensili partendo da quanto si trova nelle normative armonizzate.

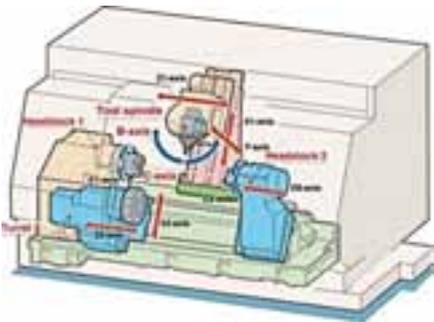


Figura 1 – Esempio macchina multi mandrino ed assi principali

Modalità di funzionamento sicuro (MSO) e modalità speciale opzionale (MSO3)

Da qualche anno i rappresentanti del settore macchine utensili dei diversi Paesi che partecipano all'attività normativa del Comitato Tecnico internazionale ISO/TC 39/SC 10 "Machine Tools - Safety" hanno iniziato a definire l'utilizzo del cosiddetto "modo speciale" nelle macchine utensili da produzione (MSO3 - *optional special mode for manual intervention under restricted operating condition*). Nel mondo delle macchine utensili per la lavorazione dei materiali metallici infatti si avevano delle situazioni storicamente differenti, ad esempio nei centri di fresatura questa modalità era già stata introdotta

ed utilizzata, mentre nei centri di tornitura, sebbene fosse definita già nella UNI EN ISO 23125 Macchine utensili - Sicurezza - Torni, veniva raramente utilizzata.

Il nome stesso, MSO3, fa presagire il compromesso raggiunto fra Paesi che storicamente sono sempre stati contrari all'implementazione semplicistica di tale modo (molti Paesi del nord Europa in primis) e Paesi che già in passato lo utilizzavano sotto differenti forme (Germania in primis).

Gli esperti del settore macchine utensili che partecipano al Comitato ISO/TC 39/SC 10 hanno stabilito che il "modo speciale" potrà essere utilizzato con le seguenti restrizioni:

1. potrà essere utilizzato soltanto per la risoluzione di specifici problemi produttivi per limitarne l'uso improprio;
2. potrà essere utilizzato solo per quelle tipologie di macchine in cui la particolare normativa di tipo C lo preveda esplicitamente;
3. non sarà possibile derogare in alcun modo dal metodo a tre fasi della UNI EN ISO 12100 Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio.

Compito della normazione, in particolare per le norme di tipo C sulle macchine utensili, sarà quello di sviluppare documenti di carattere normativo in grado di fornire precise indicazioni sulle modalità di implementazione del "modo speciale" (una generica indicazione all'analisi dei rischi non è ritenuta sufficiente), inclusi degli esempi applicativi relativamente ad ogni tipologia di macchina.

Un primo punto di partenza riguarda la revisione delle norme nelle quali è stata concordata una nomenclatura comune a tutte le macchine utensili per le modalità di funzionamento sicuro (MSO) riportata nella tabella 1.

TABELLA 1 - MSO SECONDO QUANTO STABILITO DALL'ISO/TC 39/SC 10

NOME	ACRONIMO	NOME PER ESTESO
Mode 0	MSO0	Manual Mode
Mode 1	MSO1	Automatic Mode
Mode 2	MSO2	Setting Mode
Mode 3	MSO3	<i>Optional Special Mode for Manual Intervention Under Restricted Operating Condition</i>
Service Mode	MSO Service	Service Mode

Tali MSO dovranno essere utilizzati, per uniformità, nella prossima redazione delle normative di sicurezza di una qualsiasi macchina utensile del ISO/TC 39/SC 10.

Al momento della fornitura della macchina il costruttore dovrà fornire il "modo speciale" per risolvere un particolare problema produttivo (1) senza che le condizioni di sicurezza della macchina durante l'utilizzo siano ridotte. Il costruttore dovrà specificare chiaramente nel manuale d'uso e manutenzione le specifiche misure da utilizzare per la produzione. Tali informazioni risulteranno molto importanti per tutti i soggetti che si dovranno occupare della sicurezza di questa "macchina speciale". La mancanza di queste indicazioni specifiche nel libretto di istruzioni si configurerà

come un uso improprio del "modo speciale" da parte del costruttore.

Risulta infatti opinabile la strategia fino ad oggi spesso utilizzata per risolvere particolari problemi produttivi cioè fornire macchine standard con ripari aggiuntivi utili a fornire un grado di protezione addizionale in talune condizioni. Anche alla luce dei risultati del recentissimo 8° rapporto biennale INAIL sulla Sorveglianza del mercato per la direttiva macchine, si ritiene che questa strategia sia da rivedere. Nel rapporto recentemente presentato a Milano emergono chiaramente almeno 2 problemi relativamente alla sicurezza sulle macchine utensili. Da una parte sono presenti nel mercato alcune macchine con livelli di sicurezza assolutamente inadeguati che vengono immesse principalmente attraverso alcuni paesi che tradizionalmente sono produttori marginali. D'altra parte la difficoltà di pervenire a soluzioni tecniche condivise ha portato ad una proliferazione a volte incomprensibile di schermi di protezione e barriere quale "barriera" ad ogni possibile contestazione sulla sicurezza.

Gli evidenti limiti di questo metodo sono evidenziati dal fatto che, ad esempio, nell'ambito della sicurezza macchine, il 54% delle non conformità sono relative alle protezioni e ai dispositivi di protezione. Risulta chiaro come l'applicazione miope di dispositivi di protezione che fungano da barriera alle parti mobili in lavorazione può portare effettivamente all'impossibilità di lavorare adeguatamente con la macchina portando giocoforza a manomissioni pressoché necessarie.

Si capisce come, in assenza di linee guida e documenti normativi condivisi, l'introduzione di questo citato MSO3 potrebbe generare ulteriore confusione ed interpretazioni fuorvianti.

Dal punto di vista del costruttore di queste macchine speciali sarà necessario evidenziare che l'utilizzo di questo "modo speciale" non equivale ad una volontaria riduzione della sicurezza della macchina in determinate condizioni ma al contrario potrebbe essere un utile strumento progettuale per prevenire una manomissione necessaria per l'esecuzione di particolari operazioni. Ancora più importante sarà nel caso delle macchine multi-modali dove, essendo le possibilità operative della macchina molto evolute, esiste spesso la possibilità che la macchina possa essere utilizzata non conformemente a quanto previsto dal progettista, senza neppure manomettere la macchina stessa.

Un esempio applicativo molto semplice e universalmente conosciuto per la sua pericolosità riguarda i centri di tornitura spesso utilizzati per carteggiare i pezzi manualmente con lo scopo di velocizzare tale operazione. Attualmente il costruttore può limitarsi ad indicare nel manuale d'uso e manutenzione quali sono gli usi non consentiti e fra questi la carteggiatura manuale dei pezzi. In alternativa potrebbe adoperarsi per fornire soluzioni esistenti sul mercato che permettano di effettuare la superfinitura senza rischi per l'operatore (si veda la figura 2). In questo caso specifico il problema produttivo non risulta essere risolvibile tramite la fornitura di un modo speciale utile a finire il pezzo manualmente. Se il modo speciale venisse implementato per carteggiare manualmente esso sarebbe probabilmente fonte di problemi di sicurezza/segnalazione di non conformità.

Qualora ci fosse la necessità di avere una superfinitura il costruttore deve fornire una soluzione equivalente a



Figura 2 - Esempio di attrezzatura per la superfinitura dei pezzi [1]

quelle già esistenti allo stato attuale della tecnica (in figura 2) ed ugualmente l'utilizzatore deve accettare i costi maggiori della macchina inerenti a questa attrezzatura.

Quando quindi si può configurare l'utilizzo corretto di un MSO3?

Secondo il documento ISO/PDTR 23125-2 *Machine tools - Safety - Part 2: Examples for the application of an alternative mode of operation for turning machines*, ancora in via di discussione iniziale presso il WG 3 "Turning machines" dell'ISO/TC 39/

SC 10, il MSO3 può essere efficacemente implementato quando sono ipotizzabili una manomissione o un errato utilizzo della macchina per ottenere una specifica lavorazione su uno specifico pezzo, non ottenibile con macchine standard e senza pericolo l'operatore.

Un esempio nel quale questa necessità può essere prevista è quello dei centri di tornitura dove potrebbe esserci la necessità di lavorare pezzi flessibili o di forma inizialmente irregolare (ad esempio alcuni tipi di forgiati).

Nelle macchine multimodali in cui sia presente un modo manuale o di setup è sempre possibile per l'utente avviare il mandrino ed accedere alla parte prospiciente il mandrino con utensile per cercare di sbavare queste parti, si veda la figura 3.



Figura 3 - Esempio di sbavatura di pezzo irregolare estremamente pericoloso

Altro esempio è quello dei torni di grossa taglia dove non è necessario prevedere la carenatura completa della

macchina che, nello specifico risulterebbe essere di grosso impedimento per operazioni di mera osservazione qualora si utilizzi il modo manuale. In questo caso, vista la pericolosità di tale operazione la corretta implementazione di un MSO3 potrebbe dare un efficace innalzamento della sicurezza reale della macchina sotto determinate condizioni operative.

Al contrario la sola operazione di riportare nel libretto di istruzioni il divieto a compiere queste lavorazioni o il considerare che questa esigenza non esista per lo specifico produttore non può essere la risposta sistematica in questo caso.

Alla luce del fatto che attualmente non sono ancora disponibili riferimenti normativi specifici sul MSO3, si può evidenziare come, eventuali responsabilità del costruttore e dell'utilizzatore scaturite dall'implementazione di questo modo, risulterebbero reciproche, qualora il modo venisse sviluppato o utilizzato in modo non conforme.

In futuro è auspicabile che, con la pubblicazione di riferimenti normativi in grado di definire il modo MSO3, tali situazioni possano essere chiarite: è presumibile che, il costruttore che progetterà la sua "macchina speciale" secondo quanto richiesto dalle norme e senza deroghe sostanziali dalla UNI EN ISO 12100, potrà non essere chiamato in causa per eventuali utilizzi scorretti della macchina. Nello specifico caso dovrà essere chiaro che la sorveglianza sul corretto utilizzo della macchina in modalità MSO3 ricade totalmente sull'utilizzatore della stessa.

Performance level per le macchine multi-modali

La valutazione del Livello di Prestazione Richiesto (Pl_r) per una specifica funzione di sicurezza (SF) anche per una macchina standard richiede una serie di

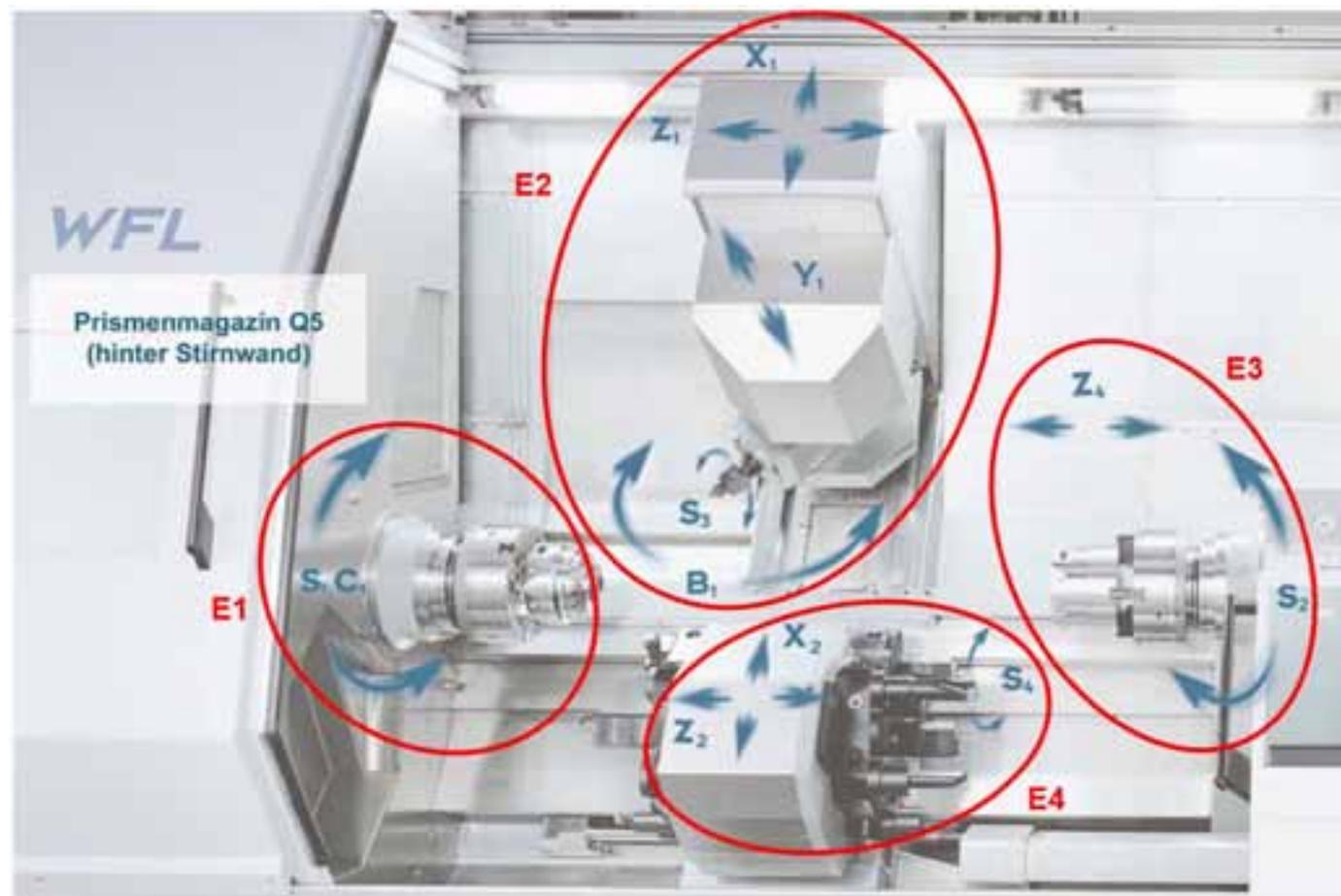
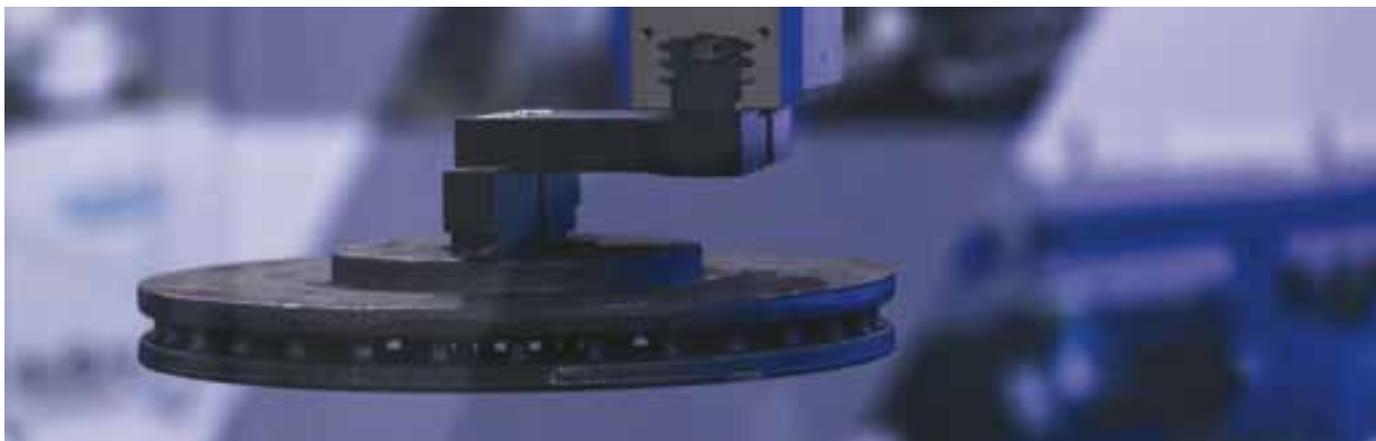


Figura 4 - Esempio di rischio simultaneo di collisione con parti in movimento in macchina multi-mandrino



conoscenze che non sono bagaglio comune di un ufficio tecnico di piccole/medie dimensioni. Alcuni studi hanno nuovamente portato alla luce alcune incongruenze insite nello stesso sistema comunemente usato per la valutazione del rischio dell'appendice A della ISO 13849-1 (informativa). In estrema sintesi è ormai riconosciuto che il metodo proposto in questa appendice, non tenendo conto della possibilità di accadimento dell'evento pericoloso (Occurrence) porta spesso a risultati troppo cautelativi e di difficile implementazione pratica.

Il progettista che deve sviluppare differenti SF per una macchina multi-modale si trova di fronte ad alcuni problemi rilevanti nella fase di stima del rischio dovuti alla carenza o alla difficile reperibilità di informazioni, in particolare per la stima del PL_r delle SF tipiche anche per i centri di lavoro e delle macchine multi-mandrino "standard".

Ad oggi le normative di tipo C per le macchine utensili forniscono essenzialmente una lista delle SF principali con il risultato del PL_r tipico, senza però integrare nessun tipo di spiegazione, utile per lo sviluppo di una conoscenza adeguata di queste problematiche - di recente introduzione nel mondo delle macchine utensili - da parte di tutte le parti coinvolte (costruttori-utilizzatori-sorveglianza). Per tale motivo, a livello normativo, sono già in fase di attuazione almeno due azioni correttive: una relativamente alla norme di tipo B e una sulle norme di tipo C.

La pubblicazione della nuova versione della ISO 13849-1 *Safety of machinery - Safety-related parts*

of control systems - Part 1: General principles for design che ha portato alla soluzione di alcuni problemi:

- possibilità reale di integrare sistemi comprendenti parti valutate con SIL e PL;
- possibilità di testare l'integrità dei sistemi di categoria prima della richiesta della funzione di sicurezza e non con l'elevatissimo test rate della versione precedente della norma che li rendeva spesso irrealizzabili in pratica;
- introduzione di un nuovo metodo per la determinazione del PFH₀ per la parte di output del sistema senza dover effettuare complicati calcoli se vengono utilizzati componenti prove in use e/or well tried. In questo modo si cerca di dare una soluzione al noto problema del calcolo affidabilistico degli output dei sistemi di comando quando vengono utilizzati componenti idraulici-meccanici-pneumatici che sono correntemente utilizzati con successo da decenni per alcune applicazioni;
- possibilità di ridurre il PL_r trovato con il grafico dell'appendice A di un livello qualora l'Occurrence sia bassa (low);
- indicazioni quantitative per la scelta della frequenza di esposizione: ad esempio deve essere scelto F2 se l'operatore si espone per più di una volta ogni 15 minuti o se si espone per più di 1/20 del tempo operativo globale della macchina;
- possibilità di localizzare il rischio per le singole SF, in determinate condizioni, ad esempio quando

nelle macchine multi-mandrino esistono più SF di afferraggio che possono essere ora considerate separatamente (si veda la figura 4 estratta da [2]).

La seconda azione è quella intrapresa dal Comitato Tecnico ISO/TC 39/SC 10 che ha deciso di introdurre nelle norme di tipo C indicazioni e linee guida sui PL_r e sulle SF; ad esempio, per i centri di tornitura è stato previsto lo studio di un rapporto tecnico TR che fornirà esempi di calcolo dei PL, mentre per i centri di lavoro-fresatrici l'elaborazione di appendici informative e/o normative utili al calcolo ed alla comprensione delle SF, come nel caso del progetto di norma ISO/DIS 16090-1 *Machine tools safety - Machining centres, Milling machines, Transfer machines - Part 1: Safety requirements* (vedere tabella 2). Questi valori potranno essere anche utilizzati come guida nello sviluppo di macchine speciali o di applicazioni particolari. In questo modo, in mancanza di informazioni differenti, la normativa fornirà un guida certa per l'individuazione dello "stato dell'arte" condiviso.

Luca Landi
Membro CT Macchine utensili UNI
Membro GL 2 e 3 della CT

BIBLIOGRAFIA

- ¹ http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/AbrasiveSystems/-/Applications/Superfinishing/
² http://www.dguv.de/medien/ifa/en/prg/en13849/safety_functions

Illustration				
Machine group:	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
No.	Function:	Number of operations	Number of operations	Number of operations
1	Mean operating time in days per year (dop)	300	300	300
2	Mean operating time in hours per day (hop)	8	8	16 NOTE: At automatically operated machines that are in operation 24 hours a day, the security is usually just as often requested as a hand-loaded machine with an average operating time of 16 h.

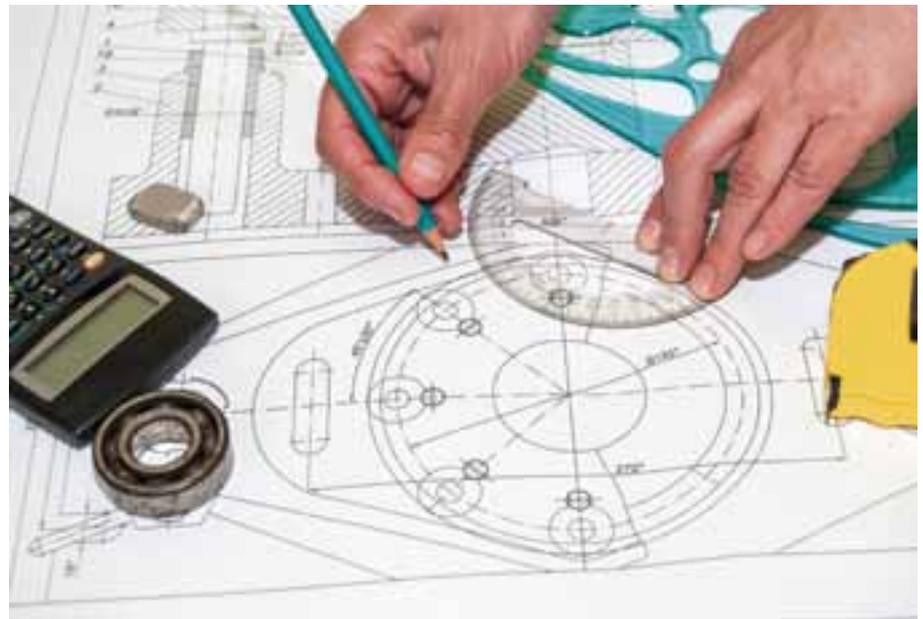
Tabella 2 – Operatività tipica per SF di centri di lavoro

Processi di produzione: metrologia, verifica del prodotto e strumenti di misura

Concetti di metrologia

La misura è alla base della conoscenza. Ogni qual volta abbiamo bisogno di informazioni su prodotti o processi al fine di prendere decisioni, dobbiamo effettuare delle misure. Il risultato della misurazione è quindi un'informazione e, come tale, va valutata la sua attendibilità prima di usarla nel processo decisionale. Misurare significa determinare il valore di una grandezza incognita (quello che il metrologo chiama il misurando) e cioè il valore numerico del rapporto tra la grandezza incognita e quella omogenea scelta come unità di misura. Se ad esempio proviamo a misurare con un calibro a corsoio il diametro di un albero e ripetiamo la misura un certo numero di volte ci accorgiamo che il valore indicato dallo strumento non è sempre lo stesso ma può cambiare ripetendo la misura (figura 1). Ciò può dipendere dalla nostra capacità di leggere il valore sul nonio dello strumento (operatore e strumento) o dal fatto che ripetendo la misura tocchiamo in punti diversi il pezzo (misurando) o dalle condizioni termiche del sistema di misura che possono essere cambiate tra una misura e l'altra (ambiente) o da altri fattori (metodo di misura). In altre parole, ci rendiamo conto che il risultato della misurazione non è univoco ed anche se perfezioniamo il processo di misurazione non riusciremo mai a conoscere il valore "vero" del diametro del nostro albero. Come facciamo allora ad esprimere il risultato della misurazione?

Una buona soluzione è quella di stimare il valore del diametro dell'albero utilizzando la media



aritmetica di tutti i valori rilevati; questa stima però nulla ci dice sulla variabilità delle nostre misure.

Il risultato di una misurazione, essendo come già detto una stima, è pertanto completo solamente quando è accompagnato da un parametro che quantifica il grado di approssimazione di questa stima: a questo parametro viene dato il nome di "incertezza di misura". Possiamo dire che l'incertezza di misura è la quantizzazione del "dubbio" sulla stima del valore di misura. Un parametro molto utile per valutare l'incertezza di misura, e quindi la dispersione dei valori nell'intorno del valore stimato, è lo scarto tipo σ (o deviazione standard). La valutazione dell'incertezza di misura è ampiamente trattata nella norma UNI CEI ENV 13005.

La metrologia nei processi di produzione

Il progettista, quando disegna un pezzo, lo immagina sempre come un oggetto ideale e perfetto. Nell'idea del progettista quindi le dimensioni e la forma del pezzo (caratteristiche) sono riferite a geometrie ideali, esenti da errori geometrici e con superfici perfettamente lisce. La realizzazione dei pezzi comporta però degli errori dimensionali e geometrici originati dalle condizioni di lavoro tipiche delle lavorazioni meccaniche; quindi i pezzi prodotti presentano dimensioni e forme reali, che si discostano da quelle ideali, e superfici che non sono mai perfettamente lisce. Inoltre se, partendo dallo stesso disegno, si producono tanti pezzi, generalmente ogni pezzo è diverso dall'altro. Quindi il risultato finale del processo di produzione è un prodotto reale e non un oggetto ideale: gli errori introdotti dal processo di produzione rappresentano quindi lo scostamento del manufatto realizzato dall'idea originale del progettista.

Per questo motivo occorre precisare nel disegno i requisiti entro i quali sono accettabili tali errori, in relazione alla funzione che il pezzo deve assolvere; tali requisiti prendono il nome di "tolleranze". Se si è in grado di misurare le caratteristiche del pezzo reale, è possibile che il pezzo possa essere considerato accettabile purché rientri nei requisiti definiti dalle tolleranze. Ma come è ormai noto il valore di misura è sempre affetto da una incertezza che caratterizza il processo di misurazione adottato e di cui occorre tener conto quando si paragona il valore di misura con i limiti di tolleranza.

La norma UNI EN ISO 14253-1 *Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) - Verifica mediante misurazione dei pezzi e delle apparecchiature per misurazioni - Regole decisionali per provare la conformità o non conformità rispetto alle specifiche* stabilisce le regole decisionali per verificare, attraverso un processo di misurazione, la conformità o la non conformità di un prodotto alle specifiche, considerando l'incertezza che inevitabilmente è associata al risultato di misura. La conoscenza dell'incertezza di misura è quindi fondamentale per esprimere una decisione

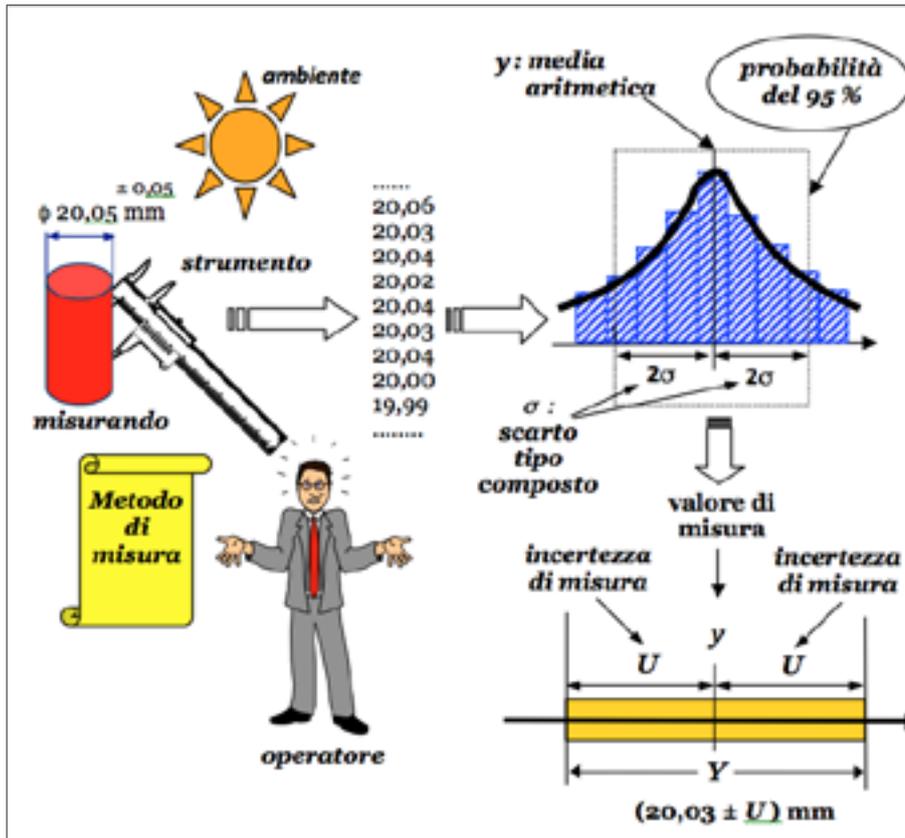


Figura 1 - Processo di misurazione

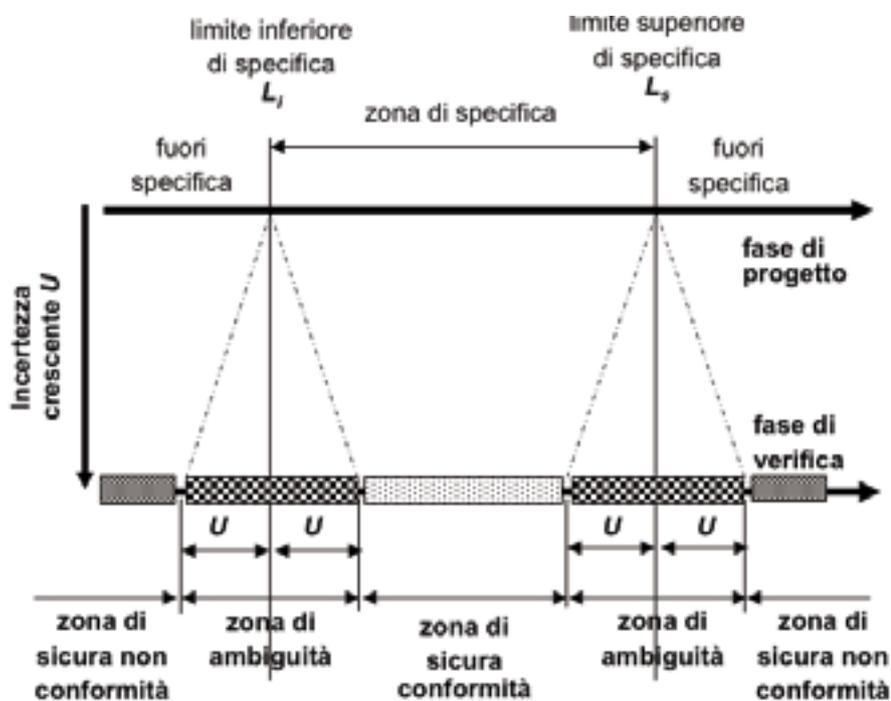


Figura 2 - Le zone della UNI EN ISO 14253-1

oggettiva circa la conformità di una caratteristica misurabile in relazione ad una determinata specifica: la figura 2 illustra come tener conto dell'incertezza di misura nella definizione delle zone di sicura conformità, sicura non conformità e di ambiguità.

Gli strumenti e le cause più comuni di errore nei processi di misura

Nel settore delle macchine utensili l'attività di misurazione comprende misure dimensionali, misure di caratterizzazione meccanica dei materiali (durezza, resistenza, resilienza ecc.), misure di forza, di pressione, di temperatura e di tutte quelle grandezze fisiche che intervengono nell'ambito specifico delle macchine utensili. Per ovvie ragioni di spazio limiteremo la nostra analisi al campo delle misure dimensionali relative alle verifiche delle specifiche geometriche dei prodotti e precisamente alle seguenti grandezze:

- lunghezze che possono riferirsi a quote esterne, interne e di profondità;
- angoli che normalmente si riferiscono ad angoli tra piani o assi;
- forme che riguardano generalmente la planarità, rettilineità, cilindricità, rotondità, rugosità, profili ecc.



Generalmente gli strumenti di misura utilizzati per la verifica delle specifiche geometriche dei prodotti hanno diverse prestazioni chiamate "caratteristiche metrologiche". Per ogni caratteristica metrologica devono essere definiti opportuni requisiti che possono derivare dai requisiti sulle caratteristiche dei prodotti oggetto della misura. Generalmente il requisito su una caratteristica metrologica viene espresso in termini di "errore massimo ammesso" (denominato MPE, acronimo del termine inglese "Maximum Permissible Error"): questo requisito deve essere ben conosciuto e messo in relazione ai requisiti delle caratteristiche che si andranno a misurare. Gli strumenti di misura sono utilizzati nei processi di controllo e collaudo specialmente in officina ove la cultura della misura è ancora carente e spesso si notano errori grossolani nei processi di misura. Di seguito riportiamo le principali problematiche riscontrate nella metrologia industriale e le possibili cause:

PROBLEMATICHE	CAUSE
Uso improprio della strumentazione:	<ul style="list-style-type: none"> - lo strumento non è adeguato alle esigenze della misura stessa; - lo strumento non è in condizioni di conservazione e funzionamento perfette; - lo strumento non è sottoposto al processo di conferma metrologica e quindi non è in stato di taratura valido;
Scarsa preparazione degli operatori:	<ul style="list-style-type: none"> - molti concetti di metrologia sono spesso confusi dagli operatori; - non è compresa la differenza tra errori ed incertezze (e non si sa valutarle), tra unità di formato e risoluzione, tra taratura e verifica;
Procedure di misura inadeguate:	<ul style="list-style-type: none"> - specie nel settore delle macchine utensili, ove si controllano pezzi meccanici di dimensioni medio-grandi, non vi è una corretta definizione del piazzamento del pezzo e delle condizioni di vincolo; - in strutture di medio-grandi dimensioni, la geometria del pezzo si modifica in funzione delle condizioni di piazzamento al momento del controllo e misura; ad esempio la rettilineità e planarità di una guida di un basamento può cambiare sensibilmente in base ai punti di appoggio del basamento.
Scarsa valutazione delle condizioni termiche:	<ul style="list-style-type: none"> - le misure non sono riferite alla temperatura di 20 °C (UNI EN ISO 1) anche se ciò non significa che le misure debbano essere fatte alla temperatura ambiente di 20 °C; - le misure dovrebbero essere eseguite in condizioni tali che le temperature degli elementi da misurare, degli strumenti di misura e dell'ambiente in cui si effettuano le misure siano stabili e conosciute durante il processo di misura.

È quindi importante che in azienda si applichi un corretto sistema di gestione della misurazione che garantisca che gli strumenti di misura ed i processi di misurazione siano idonei per l'utilizzo previsto; la norma UNI EN ISO 10012 *Sistemi di gestione della misurazione - Requisiti per i processi e le apparecchiature di misurazione* specifica i requisiti generali di tale sistema e fornisce una guida per la gestione dei processi di misurazione e della conferma metrologica degli strumenti di misura.

Le deformazioni geometriche delle macchine utensili

La parte meccanica delle macchine utensili, seppur frutto della migliore lavorazione immaginabile, porta con sé delle imperfezioni geometriche che devono essere identificate, e qualora fosse possibile o conveniente, corrette al fine di eliminarne l'effetto sul risultato della lavorazione.

Una macchina che lavora per asportazione con utensile rotante e con il pezzo da lavorare fissato su un piano di lavoro è solitamente composta di tre carri che corrono su apposite guide, che, a loro volta, generano tre assi fra loro ortogonali che materializzano un sistema di riferimento cartesiano ortogonale. La funzione dei carri è generare un moto puramente lineare dell'asse che sia perpendicolare a quello di ciascuno degli altri due. Le tre guide su cui scorrono i carri di movimentazione solo teoricamente sono rettilinee e ortogonali tra loro; nella realtà le loro imperfezioni generano diciotto movimenti parassiti tanti quanti sono i gradi di libertà del sistema. Una loro semplice descrizione è possibile studiando la cinematica del sistema ed assumendo che ciascuna parte si comporti come un corpo rigido. Sotto quest'assunzione, la completa descrizione del moto di un carro è possibile specificando i suoi sei gradi di libertà che includono tre moti di traslazione e tre di rotazione. Ciascuno di questi parametri è funzione unicamente della posizione del carro lungo l'asse.

Storicamente le prestazioni delle macchine utensili sono aumentate riducendo meccanicamente gli errori che portavano ad allontanarsi dall'ipotesi di corpo rigido mediante l'elevata qualità di manifattura e assemblaggio della struttura della macchina.



Oggi è possibile un approccio alternativo noto come error mapping, che consente la correzione software degli errori. Secondo questo metodo, ogni errore di corpo rigido è misurato, e, per mezzo di un calcolatore, elaborato matematicamente per determinare l'errore di posizionamento della macchina in ciascuna zona del volume di lavoro. Pertanto conoscendo gli errori della macchina in ogni

parte del volume, ogni posizione può essere corretta.

Il modello, che ha avuto la sua origine e applicazione nella compensazione delle Macchine di Misura a Coordinate dal 1980, si fonda sull'identificazione parametrica della macchina partendo da un certo numero di misure e data la sua natura, è denominato delle diciotto funzioni cinematiche d'errore.

Nel modello a ogni carro competono sei funzioni d'errore (si veda la figura 3).

La modellizzazione degli errori si ottiene sfruttando una semplice osservazione: la distanza fra due punti di uno stesso oggetto deve restare costante al variare della posizione dell'oggetto all'interno dello stesso volume di lavoro; eventuali differenze registrate sono attribuibili a errori sistematici e alla ripetibilità della macchina utensile.

La compensazione degli errori di natura geometrica equivale a "raddrizzare" lo spazio euclideo della Macchina Utensile che nella realtà è distorto dalle imperfezioni strutturali. La figura 4 mostra il volume di lavoro di una macchina utensile non compensato e quello dello stesso compensato.

La definizione degli errori di geometria e la convenzione di segno, tenendo conto che è applicata a un sistema di riferimento ortogonale destrorso, ha implicitamente definito una convenzione per rappresentarli.

Nel caso in cui si vogliono separare gli effetti delle quadrature, per esempio nei metodi di determinazione diretta, si aggiungono altri tre errori portando a 21 gli errori di geometria.

La trattazione di queste simbologie è ampiamente descritta nell'appendice A della ISO 230-1:2012 *Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions*.

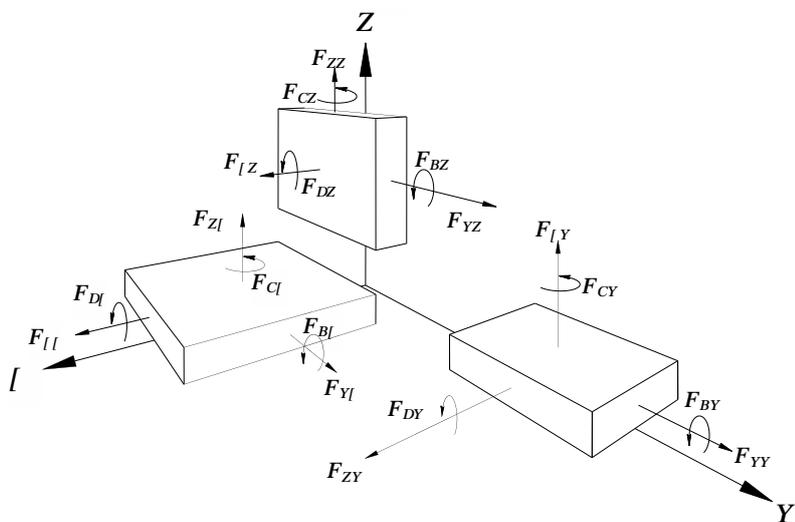


Figura 3 - Rappresentazione della macchina utensile composto di tre corpi rigidi aventi sei gradi di libertà ciascuno e quindi sei movimenti parassiti ciascuno.

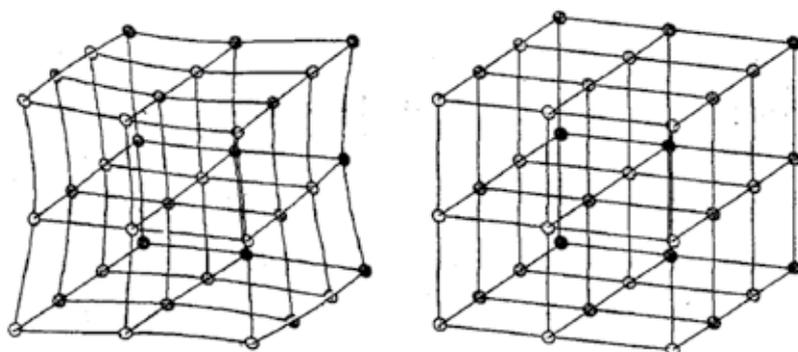


Figura 4 - Volume di lavoro della macchina utensile non compensato e compensato

Carlo Chiavassa

Membro GL 1 Prove e collaudi delle macchine utensili UNI

Gianfranco Malagola

Membro UNI CT 24 Macchine Utensili

BIBLIOGRAFIA

G. Malagola, A. Ponterio, "La metrologia dimensionale - Teoria e procedure di taratura" - Società editrice Esculapio -2013

Sfide future per la normazione: macchine ibride, un mix di tecnologie per avere il meglio

Nel campo delle macchine utensili, sia a livello tecnico che commerciale, è sempre più frequente sentir parlare di "macchine ibride". Tuttavia, questo concetto non trova una definizione univoca, in quanto le molteplicità di aspetti coinvolti possono dare origine ad un vastissimo numero di combinazioni, riguardanti gli aspetti di topologia della macchina, ma anche le tecnologie messe in atto dalla macchina, i materiali che questa va a trattare, le modalità di controllo e come essa viene inserita nel processo produttivo. Numerosi sono i vantaggi che si vanno a rapportare con il concetto di macchina ibrida. In particolare, quelli che maggiormente giustificano la loro sempre maggiore diffusione sono:

- la riduzione dei tempi di produzione, grazie all'eliminazione dei tempi morti necessarie a trasferire il pezzo da una macchina "mono-scopo" ad un'altra;
- il miglioramento della precisione, grazie alla possibilità di svolgere i processi mantenendo invariati i fissaggi e gli "zero pezzo" tra le varie fasi;
- i vantaggi finanziari ed organizzativi, derivanti dalla riduzione di scorte e magazzini, del numero di macchine installate, di attrezzature speciali, eccetera;
- una maggior flessibilità del sistema, che può quindi meglio adattarsi alle variazioni della produzione in termini di numerosità e/o di composizione dei lotti, nonché alle sempre più frequenti necessità di customizzazione del prodotto.

Cosa si intende per macchine utensili "ibride"

Premesso che non esiste una definizione univoca di "macchina ibrida" riconosciuta a livello internazionale (cioè derivante da attività di normazione, pubblicazioni scientifiche, ecc..), si possono ipotizzare le seguenti opzioni:

- *Macchine ibride per cinematica*, ossia macchine che combinano diverse tipologie di cinematica, operanti in interpolazione tra loro, al fine di ottenere una maggior precisione, velocità o destrezza.
- *Macchine ibride per principio di funzionamento*, ossia che derivano dalla "fusione" di due o più macchine utensili di concetto tradizionale, con la condizione che esse possano operare anche in cooperazione, permettendo lavorazioni che interpolano i rispettivi assi. A tale proposito, va notato come queste macchine, utilizzando numerosi assi in contemporanea, richiedano particolari cautele nella loro programmazione (abituamente svolta per mezzo di appositi software che svolgono anche la simulazione dei movimenti) e nel loro utilizzo. A causa della complessa cinematica, queste due fasi sono "anti-intuitive" e possono comportare rischi di collisioni o di rotture utensili durante la lavorazione, con le immaginabili conseguenze in termini di sicurezza.
- *Macchine ibride per tecnologia*, che utilizzano in contemporanea due o più principi tecnologici, al fine di svolgere lavorazioni non possibili (o ottenibili con difficoltà) con le singole tecnologie). Esempi di queste lavorazioni sono quelle che

realizzano trattamenti termici mediante il calore che si sviluppa durante la rettifica, la tornitura o la fresatura assistite da laser, oppure la foratura assistita da ultrasuoni. Molte di queste applicazioni sono comunque ancora allo stadio sperimentale, oppure legate a specifiche nicchie di applicazione. Di particolare attualità sono anche quelle macchine che vanno ad unire le tecnologie di asportazione di truciolo (fresatura, foratura,...) con quelle additive (generalmente condotte con la modalità del "direct energy deposition"). Questo al fine di creare feature geometriche del pezzo mediante addizione di materiale, poi destinate ad essere finite mediante le attività di asportazione.

Si possono ipotizzare ulteriori tipologie di "ibrido", sempre a condizione che materiali, azionamenti o controlli assicurino il funzionamento corretto della macchina e/o il compimento delle operazioni grazie alla loro cooperazione in parallelo:

- *Ibrido per materiali*: macchine che utilizzano nelle loro strutture (fisse e mobili) materiali differenti, al fine di ottenere migliori performance statiche e dinamiche. Esempi: macchine con slitte in lega leggera o composito, utilizzo di ghisa e cementi polimerici, eccetera;
- *Ibrido per tipologia di azionamento*: per esempio, macchine che impiegano su alcuni assi dei motori lineari combinati con azionamenti basati su motori brushless;
- *Ibrido per tipologia di controllo*: macchine che combinano nella struttura di controllo parti analogiche e parti digitali, macchine a controllo distribuito.

Macchine multifunzionali, combinate e linee transfer

Se la condizione basilare per la definizione di macchina ibrida è la combinazione di cinematiche o processi diversi tra loro, ma cooperanti al fine del compimento della specifica fase tecnologica, allora non è possibile considerare ibride le macchine che, pur in una unica struttura, svolgono sequenzialmente varie fasi tecnologiche dando così vita ad un processo.

Si vengono così a definire:

- *Macchine multifunzionali*, ossia in grado di compiere sequenzialmente diverse operazioni tecnologiche combinate in un processo. Esempi di questo sono i centri di lavoro (che compiono forature, fresature, filettature, lamature, ecc.) e, più in generale, la maggior parte delle moderne macchine utensili a controllo numerico, che possono lavorare impiegando utensili di varia natura, variando i programmi di lavorazione.
- *Macchine combinate* che abbinano al loro interno diverse tecnologie di lavorazione, svolgendole in maniera sequenziale, utilizzando però un sistema di movimentazione del pezzo comune. Esempi: macchine combinate punzonatrice e taglio laser (plasma), sistemi combinati taglio laser su tubi e piastre.
- *Linee transfer e sistema di produzione flessibile (FMS)*: sono composte da stazioni (aventi un basamento comune come nelle transfer o indipendenti come negli FMS) unite da un sistema di trasporto che permette lo spostamento tra di esse. In ciascuna di queste vengono svolte una o più operazioni tecnologiche. Da notare che le stazioni dell'FMS possono essere disposte in

parallelo (pur compiendo, ciascuna, la medesima operazione), per migliorare la cadenza produttiva e limitare la capienza di magazzini inter-operazionali.

Aspetti normativi

Dal punto di vista normativo, la crescente ibridizzazione del concetto di macchina utensile porta a confrontarsi con una serie di sfide. Tra queste si possono citare le necessità di:

- Adattare un parco normativo, nato per le macchine mono-scopo, a macchine utensili sempre più complesse e in grado di svolgere compiti nuovi. Ciò può essere realizzato con norme rese più "flessibili", mediante enunciati di natura trasversale complementati da technical report che permettano ai costruttori ed agli utilizzatori una adozione rapida e tailor-made della normativa a macchine customizzate e in continua evoluzione.
- Compiere analisi dei rischi sempre più complesse e che vanno ad indagare sistemi sempre più articolati, sia dal punto di vista tecnologico che per modalità di controllo e di tipologie tecnologiche utilizzate, prendendo poi le più opportune misure di prevenzione dei pericoli, tenendo conto del variegato ventaglio di tecnologie presenti a bordo delle macchine ibride/multifunzionali.
- Una crescente integrazione con le tecnologie informatiche e di comunicazione, specie a livello sensoristico, previste dalla filosofia di Industria 4.0 e che portano ad una crescente integrazione tra operatore umano e macchine di produzione. Da ciò deriva la necessità di avere sistemi produttivi complessi e interconnessi, che operano con standard condivisi a livello di comunicazione e controllo. È quindi fondamentale, dal punto di vista della sicurezza, il dover gestire situazioni dove l'operatore umano entra a far parte del sistema ibrido non solo con scopi di controllo, ma anche operativi (p.e. sistemi con robot cooperativi). Inoltre, dal punto di vista produttivo diventa vitale assicurare la qualità di tutte le operazioni svolte e dei prodotti realizzati, mediante protocolli di collaudo che sono necessariamente molto più complessi ed articolati di quelli delle macchine tradizionali.

Conclusioni

Lo scostamento (sempre più marcato) del manifatturiero dal paradigma basato sulla produzione di massa richiede mezzi di produzione più flessibili e in grado di compiere funzioni non più tese alla sola produttività e/o riduzione di tempi e costi. La mass customization (questo è il termine che invece va ad identificare il modello verso cui tendere attualmente) richiede infatti delle macchine che possano adattarsi a lotti piccoli o addirittura unitari, senza avere la necessità di fasi di set-up complessi e di essere integrate in reti dove i flussi di materiali e di informazioni viaggiano in parallelo. Il concetto di macchina ibrida e multifunzionale, nato dagli archetipi dei centri di lavoro e di macchina a controllo numerico, è destinato ad evolvere verso soluzioni meccatroniche ed informatiche di grande complessità e sofisticatezza. Esse, se da un lato offriranno nuove e sofisticate soluzioni produttive, dall'altro porranno sfide molto pesanti dal punto di vista della qualità e della sicurezza, andando certamente a toccare l'approccio normativo classico.

Enrico Annacondia

Membro CT Macchine utensili UNI

Tecnologie additive: il nuovo modo di fare manifattura

Le macchine basate su tecnologie additive per metalli, pur essendo presenti sul mercato dei beni strumentali da svariati anni, solo oggi stanno assumendo un ruolo di assoluta importanza per il settore manifatturiero meccanico, andando ad affiancare, in qualità di "macchine utensili del terzo tipo", i tradizionali dispositivi lavoranti per asportazione/deformazione. Questo grazie al fatto che esse vanno a sposare la massima flessibilità sulla forma del pezzo da lavorare (poiché non necessitano di attrezzature di fissaggio e di utensili "fisici") e danno vita a una catena di manifattura digitale, che mette in contatto diretto la fase di progettazione e simulazione del prodotto con quella della produzione fisica.

Fattori molto apprezzati nei settori ad alta tecnologia (aerospace, racing, biomedicale). Proprio per favorire la diffusione di queste tecnologie, è necessario compiere un'azione di natura normativa che vada ad investigare le implicazioni connesse con gli aspetti elencati di seguito.

Classificazione e terminologia

Considerando il fatto che le tecnologie additive rappresentano una novità per molti attori del settore manifatturiero, si rende necessaria un'azione tesa a costruire un "vocabolario" comune e condiviso tra tutti i player del settore (utilizzatori, produttori di macchine, progettisti, ecc.), a livello di materiali, prodotti e tecnologie. In particolare, è stata recentemente pubblicata una norma di validità mondiale, la ISO/ASTM 52921-1 "Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies". Secondo questo documento, le tecnologie additive vanno intese come "quei processi che aggregano materiali, al fine di creare oggetti partendo dai loro modelli matematici tridimensionali, solitamente per sovrapposizione di layer e procedendo in maniera opposta a quanto avviene nei processi sottrattivi (o ad asportazione di truciolo)". Come sinonimo di questo termine, è spesso utilizzato quello di stampa 3D, molto popolare sui media e nel mondo dei maker e della personal manufacture condotta con macchine low-cost. Il Joint Working Group ISO/TC 261 - ASTM F42 identifica come "stampa 3D" quei processi additivi che realizzano prodotti mediante la deposizione di materiale con una testa di stampa, ugelli o altre tecnologie di stampa), mentre nel passato molte di queste applicazioni erano contraddistinte dalla definizione di "prototipazione rapida", ormai obsoleta dato che, con le tecnologie additive, vengono sempre più spesso realizzati parti funzionali e non solo pezzi prototipali/dimostrativi.

La normativa ASTM F2792-08 definisce anche quali sono i processi additivi che, allo stato dell'arte, vanno a definire il ventaglio a disposizione degli utilizzatori:

- *estrusione* - il materiale (solitamente polimero), portato allo stato pastoso, è

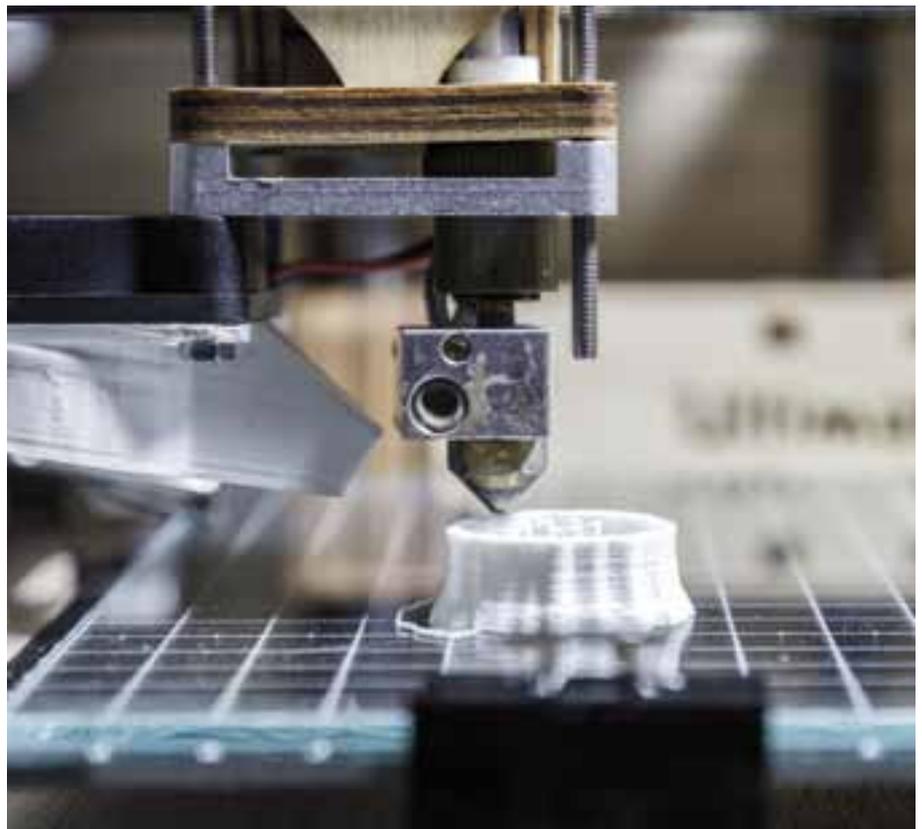
distribuito selettivamente mediante un orifizio; questo processo è tipicamente quello usato nelle macchine low-cost per la stampa 3D;

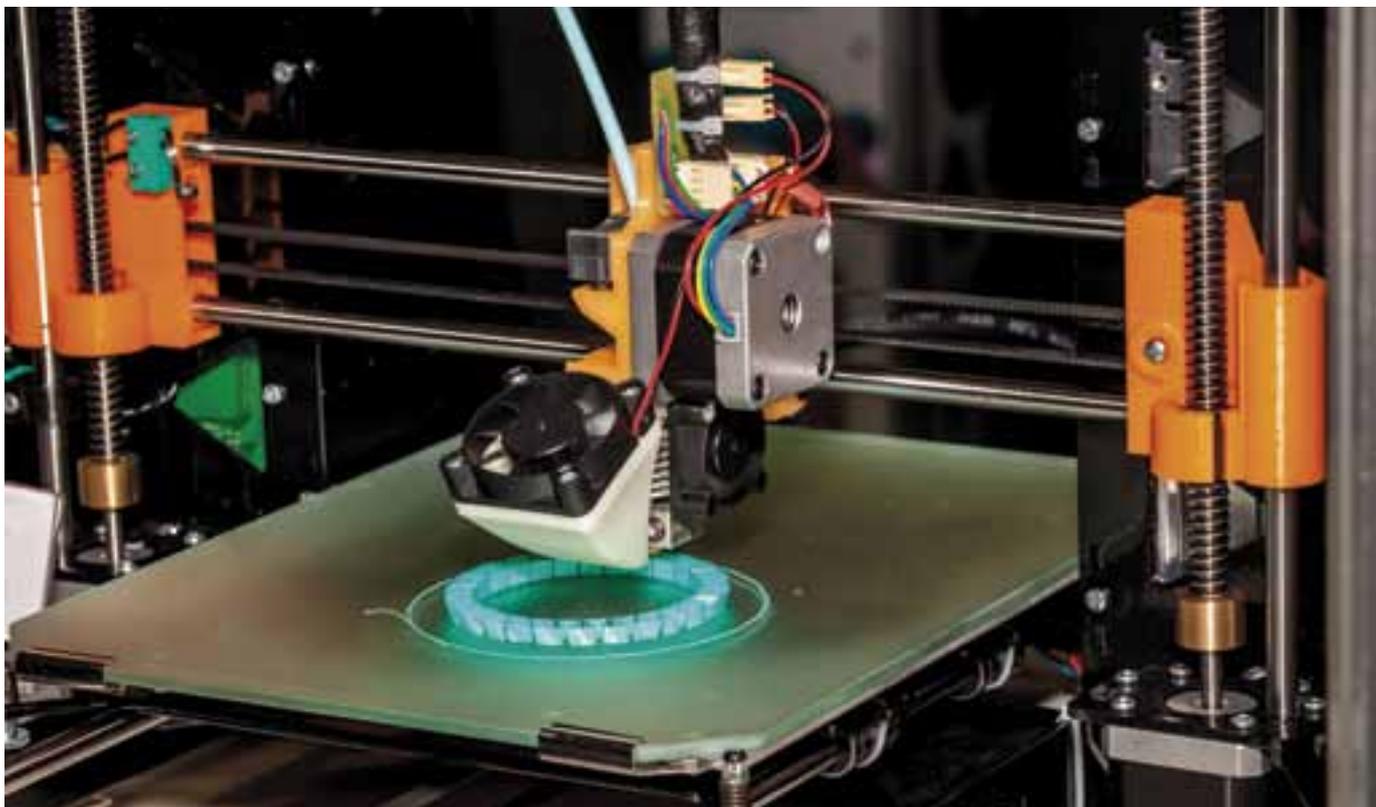
- *jetting* - "goccioline" di materiale vengono spruzzate selettivamente per creare i layer (di polimeri, cera o metalli);
- *binder jetting* - un agente legante allo stato liquido viene spruzzato su uno strato di polvere (polimerica, ceramica, terre da fonderia, eccetera);
- *sheet lamination* - si va a creare il manufatto mediante l'unione di fogli sagomati (solitamente di carta ma anche metallici);
- *fotopolimerizzazione* - si basa sulla solidificazione selettiva di un polimero liquido mediante radiazioni elettromagnetiche (fornite da un laser o similare); in questa categoria rientra il noto processo di stereolitografia;
- *power bed fusion/sintering* - un flusso di energia opportunamente concentrato, fornito solitamente da laser o fasci di elettroni, va a fondere/sinterizzare localmente uno strato di polvere (metallica o polimerica);
- *direct energy deposition* - un flusso di energia, fornito da un laser, fonde il materiale (tipicamente sotto forma di polvere metallica, convogliata nella zona di lavoro da un apposito erogatore) nel momento in cui esso viene depositato per costituire il pezzo.

Vi sono ulteriori aspetti che non vanno trascurati, trovandoci a trattare una famiglia di processi di natura industriale (e quindi legati a qualità, performance e sicurezza, a livello di prodotto, processo e sistema). Questi vanno affrontati in maniera integrata da chi intende operare con le soluzioni produttive basate sull'additivo, mentre una azione normativa, in buona parte lanciata in ambito della cooperazione tra ISO e ASTM, non potrà che essere benvenuta.

Più in dettaglio, gli aspetti che andranno considerati sono:

- **Tecniche di progettazione:** il processo di fabbricazione mediante processi additivi trae origine da un modello matematico 3D, teoricamente generabile da un qualsiasi CAD tridimensionale. Questo si lega alla:
 - possibilità di generare parti con geometrie virtualmente slegate dai vincoli di "design for manufacturing" e feature geometriche "atipiche" per i software tradizionali, come, ad esempio, strutture trabecolari, foam-like, a nido d'ape, eccetera, che né la progettazione tradizionale né la maggior parte degli strumenti di modellazione sono in grado di gestire efficientemente. Tuttavia, iniziano ad essere disponibili strumenti software che permettono di governare, da un lato, queste problematiche e, dall'altro, le fasi di progettazione, integrando la definizione delle geometrie con la simulazione;
 - necessità di definire linguaggi di descrizione dei modelli che vadano oltre il formato STL (*STereo Lithography interface format* oppure *Standard Triangulation Language*) ereditato dalla prototipazione rapida, ma poco adatto a descrivere gli attuali prodotti ad elevata complessità e poco integrato con i CAD moderni;
 - revisione dei tradizionali approcci progettuali, al fine di sfruttare i gradi di libertà offerti dalla nuova tecnologia.
- **Post-processing:** le parti metalliche realizzate mediante tecnologie additive hanno livelli di finitura e tolleranze geometriche e dimensionali comparabili con quelli ottenibili mediante le tecniche di fonderia tradizionale. Questo richiede





una rilavorazione mediante macchine utensili che deve essere svolta considerando, da un lato, le caratteristiche dei materiali lavorati (spesso di difficile truciolabilità), dall'altro le geometrie non convenzionali permesse dalle tecnologie additive. Inoltre, in alcune applicazioni è necessario svolgere post-trattamenti per migliorare le caratteristiche metallografiche e meccaniche del manufatto.

- Caratterizzazione dei processi: necessaria sia per attività "in-process" che garantiscano una costanza qualitativa dei manufatti generati (specie quando questi andranno a svolgere compiti "mission critical" come nel racing, nell'aerospaziale o nel biomedicale) sia per caratterizzare i materiali entranti ed uscenti dal processo.
- Generazione delle materie prime, il cui costo, disponibilità e qualità possono influenzare le performance tecnologiche ed economiche dei processi e le cui caratteristiche (a livello di composizione chimica, granulometria nel caso delle polveri, reattività agli agenti atmosferici, ecc...) vanno attentamente valutate nei vari step del processo additivo.
- Caratterizzazione del prodotto, a sua volta influenzata:
 - dalle geometrie non standard tipiche delle parti realizzate in additivo (strutture che "mimano" quelle biologiche, trabecolari, frattali, honeycomb di vario genere, ecc.), che rendono difficoltoso o impossibile il collaudo dimensionale con tecniche tradizionali
 - dalle caratteristiche dei materiali che, nella maggior parte dei processi additivi, vengono creati localmente e, quindi, possono avere caratteristiche chimico/fisiche o meccaniche non misurabili a priori.

Regolamentazione

Gli aspetti di regolamentazione delle macchine operanti con le tecnologie additive si vanno a collegare con l'applicazione di Direttive già esistenti per le macchine utensili tradizionali (come la Direttiva Macchine, la Direttiva Bassa Tensione, l'ATEX) nonché agli aspetti legislativi connessi con la salute e sicurezza dei luoghi di lavoro dove sono applicate queste nuove tecnologie.

L'implementazione di quanto sopra è comunque facilitata dal fatto che le macchine additive, in generale, sono caratterizzate da una catena meccatronica del tutto simile a quella delle macchine utensili di tipo tradizionale, così costituita:

- **Sistema di controllo**, rappresentato da una scheda a microprocessore sulle macchine più semplici o da un controllo numerico su quelle più sofisticate, che si incarica dell'interpretazione del codice ISO (o "codice G", simile a quello utilizzato dalle macchine utensili a Controllo Numerico) e della gestione dei parametri di processo (temperature, pressioni, velocità,...) svolti dalla macchina.
- **Azionamenti** (motori passo-passo nei casi più semplici, motori brushless con controllo in anello chiuso per le macchine complesse) che assicurano i movimenti degli assi della macchina.
- **End effector**, che realizza il processo additivo (laser, ugello spray, estrusore,...).
- **Dispositivi accessori per il processo**: racla per la creazione del letto di polveri, dispositivi per il vuoto/gas inerti, eccetera.

La topologia, oltre a giustificare lo slogan "macchine utensili del terzo tipo" attribuito alle macchine operanti con le tecnologie additive, porta alla considerazione che tali macchine, qualora vengano impiegate in

ambito industriale, debbano rispettare le stesse regolamentazioni cui sono sottoposte le altre macchine manifatturiere (per esempio le macchine utensili).

Alcuni aspetti specifici appaiono essere meritevoli di attenzione sotto questo aspetto:

- **Alte temperature**: nelle macchine additive possono essere presenti superfici calde. Questo può essere affrontato dalle norme di sicurezza dei prodotti, nonché dagli obblighi giuridici relativi all'uso delle apparecchiature.
- **Possibili rischi durante la manutenzione** dovuti alla presenza di elementi alimentati con tensioni elevate, sorgenti laser, ...
- **Emissioni nell'aria e qualità del microclima** - alcune lavorazioni additive potrebbero emettere, durante l'utilizzo, quantità significative di particelle ultrafini (come nel caso delle polveri metalliche) o di sostanze volatili per le macchine operanti con polimeri o simili.

Proprio per gestire i potenziali rischi sottostanti all'applicazione industriale delle tecnologie additive e delle relative attrezzature, è fondamentale svolgere preventivamente un'analisi dei rischi (auspicabile comunque negli ambiti hobbistici o dei maker), sulla base della quale vanno prese in considerazione varie normative di sicurezza e tipicamente impiegate in ambito industriale. Non va inoltre dimenticato che, a causa della «novità» del tema, esistono ancora degli aspetti non completamente coperti dagli standard o dalle Regolamentazioni.

In tal caso, è sempre auspicabile un approccio "conservativo" e cautelativo, che metta in primo piano la sicurezza e la salute degli operatori delle macchine e degli utilizzatori dei prodotti.

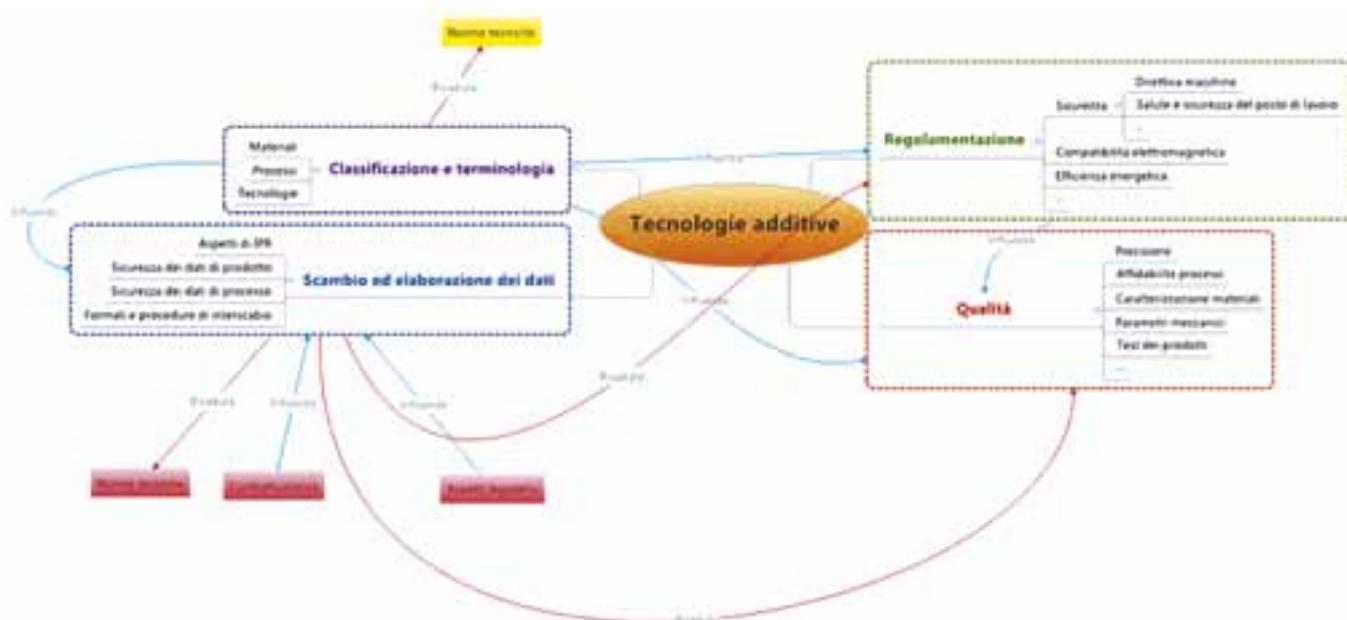


Figura 1 - Relazioni tra i vari aspetti normativi delle tecnologie additive

Aspetti di qualità

La qualità dei prodotti e dei processi, correlata a sua volta con la misura e la valutazione della corrispondenza dei manufatti alle specifiche di progetto, è un ambito che va a interessare gli aspetti contrattualistici che regolano i rapporti tra i vari stakeholder coinvolti.

Questo rappresenta un'altra analogia tra macchine per la manifattura additiva e macchine «classiche» per il manifatturiero.

È pertanto necessario agire dal punto di vista:

- tecnico, garantendo al processo adeguati livelli di precisione, prestazioni, affidabilità e ripetibilità;
- gestionale, andando a valutare correttamente e poi misurare aspetti quali il costo del prodotto e il total cost of ownership del sistema produttivo;
- commerciale, garantendo l'aderenza del prodotto/servizio basato sulle tecnologie additive alle clausole di contratto concordate coi clienti.

Per permettere agli stakeholder di gestire anche questi aspetti, sono in corso (o sono previste) numerose attività normative. In particolare, ISO e ASTM hanno intrapreso un'attività di normazione congiunta proprio per affrontare in maniera unitaria un tema nuovo e complesso come quello dell'additivo e di aumentare la conoscenza su tecnologie e processi. Questo mediante documenti normativi/guide che forniscono panoramiche e raccomandazioni per definire i relativi aspetti connessi con il prodotto, il processo e il sistema basato sulle tecnologie additive. Grazie a questa azione, sarà possibile eliminare le incertezze su possibilità ed opportunità offerte dai processi additivi, aumentandone

l'affidabilità e la conoscenza per renderli, da un lato, più sicuri e affidabili e, dall'altro, per favorirne la diffusione e la commercializzazione. Per quanto riguarda l'attività normativa, nel 2011 a livello internazionale è stato creato il Comitato Tecnico ISO/TC "Additive manufacturing" specifico sulle Tecnologie Additive, che opera parallelamente al comitato F24 di ASTM e comprende 4 Working Group: *Terminology, Method, processes and materials, Test methods, Data design*. Attualmente i Paesi partecipanti attivi sono 20, tra cui l'Italia, Germania, Francia, Gran Bretagna e Olanda. Inoltre, nella primavera del 2015, anche il CEN ha dato vita ad un comitato tecnico sulle tecnologie additive (CEN/TC 438), al fine di creare un set di norme europee armonizzate.

Ulteriori temi legati alla regolamentazione

Tra le varie tematiche che caratterizzano gli aspetti di qualità e sicurezza delle applicazioni basate sulle tecnologie additive, si possono segnalare quelle derivanti dal "trapianto" di soluzioni per la deposizione di materiale metallico su macchine principalmente concepite per svolgere asportazione di truciolo. Queste applicazioni, di recentissima apparizione sul mercato (circa un anno), si basano sull'installazione di un sistema di direct energy deposition sulla base costituita da un centro di lavoro per fresatura. Grazie a questa soluzione, la macchina può essere in grado di generare feature geometriche su un pezzo base (per esempio: una nervatura su una piastra) mediante la tecnica additiva, per poi procedere alla sua finitura per asportazione di truciolo.

Questa "ibridizzazione tecnologica" pone una serie di sfide che riguardano aspetti:

- tecnologici, per esempio connessi alla qualità del prodotto realizzato da tali macchine, legati ad aspetti metallurgici (dato che la parte ibrida deve avere caratteristiche affini a quelle della base) e di caratteristiche meccaniche (la parte aggiunta in additivo non subisce trattamenti termici prima di essere lavorata) che, in ultima analisi, possono andare ad impattare con la qualità del prodotto finale;
- normativi, dato che sussiste la necessità di conciliare l'approccio normativo delle macchine utensili tradizionali con aspetti legati alla parte additiva, con il potenziale rischio di approcci differenti. Proprio per affrontare questa situazione, a livello nazionale è stata avviata una liaison tra la Commissione Tecnica dell'UNI "Macchine utensili" e UNINFO - Tecnologie Informatiche e loro applicazioni (Ente Federato all'UNI) a cui partecipano esperti del settore che auspicano ad una coordinazione anche a livello internazionale, tra il Comitato ISO/TC 39 "Machine tools" e il Comitato ISO/TC 261 "Additive manufacturing".

Conclusione

Le tecnologie additive rappresentano certamente una grande opportunità per il settore manifatturiero, con enormi margini di sviluppo che le porteranno a diventare un fattore di crescita e competitività, anche fuori dalle nicchie ad alta sofisticazione che occupano attualmente (aerospazio, biomedicale, racing, ecc.). Tuttavia, esse pongono una serie di sfide a livello normativo che, se non opportunamente gestite rischiano di annullare i vantaggi acquisibili.

Enrico Annacondia
Membro CT Macchine utensili UNI

Sicurezza dei robot

Nel mondo della robotica industriale, le esigenze di flessibilità, riorganizzazione e ottimizzazione degli spazi e snellezza operativa delle applicazioni sono fattori prioritari per competitività e produttività. A questo si aggiunge la necessità di risposte tecnologiche a problematiche di invecchiamento della popolazione produttiva, mantenimento di capacità produttiva, valore aggiunto e competenza nelle lavorazioni, in condizioni di ritorno del manifatturiero da produzioni a basso costo (*reshoring*). Una risposta, valida soprattutto per le molte attività manifatturiere manuali, è data dalla robotica collaborativa in cui robot dedicati all'interazione con l'uomo possono offrire assistenza e supporto alle operazioni. Il supporto operativo può essere di diverso tipo: preparazione e movimentazione materiale, miglioramento dell'ergonomia, sollievo da operazioni *labour-intensive*, riduzione errori. Tale supporto è dato da soluzioni ibride uomo-robot che risultano molto promettenti nel combinare produttività e capacità di gestire la variabilità dei lotti. Il segreto è, in quasi tutti i casi, una prossimità con l'operatore, un lavoro fianco a fianco. Le barriere di separazione vengono rimosse e trasformate in controlli più sofisticati, adatti ad una fruizione diretta del sistema robotizzato. Nuove opportunità introducono in questo caso nuovi rischi che, proprio in questo momento storico dove il tema della sicurezza risulta essere sempre di più oggetto di una crescente attenzione e dove gli elementi di protezione dell'operatore sono un valore sia sociale che tecnologico, devono essere valutati. Le soluzioni di robotica collaborativa sono inserite, nel contesto della sicurezza dei robot

industriali, nelle norme della famiglia UNI EN ISO 10218, sia in relazione ai robot come quasi-macchine sia come sistemi robotizzati. La presenza di opzioni collaborative è riconosciuta sin dagli inizi degli anni 2000 ed è stata introdotta in normativa come nozione abbozzata nella seconda metà dei 2000, soprattutto in Europa e Giappone, soltanto nel 2012 negli Stati Uniti e in Canada. Dalla versione del 2011, nella UNI EN ISO 10218 è presente il riferimento alla specifica tecnica ISO/TS 15066 *Robots and robotic devices - Collaborative robots*, documento di supporto all'integrazione sicura di applicazioni collaborative di sistemi robotizzati.

Nata principalmente dall'impulso del BGIA/IFA (Germania), è stata approvata a livello ISO nel Dicembre 2015 al termine di una lunga fase di elaborazione e di una recente accelerazione imperativa di chiusura lavori, principalmente dovuta al fatto che la lunga gestazione stava rischiando di non supportare adeguatamente le ormai evidenti esigenze ed offerte di mercato riguardanti le soluzioni tecnologiche collaborative. In un contesto di velocissimo sviluppo, la redazione di specifiche tecniche e la revisione delle norme tecniche corre il concreto rischio di mantenere dei margini di incompletezza. Nel caso specifico della ISO/TS 15066, un generale consenso delle parti interessate ha fatto sì che il documento sia sicuramente perfettibile ma di utilità assoluta.

I punti salienti della specifica tecnica sono:

- la definizione precisa dello spazio collaborativo, utile alla definizione degli spazi e delle modalità in cui applicare i requisiti di norma corretti;
- la proposta di linee guida per una progettazione sicura inclusa la definizione di pericoli specifici per le modalità collaborative;
- la redazione dei requisiti di dettaglio da rispettare nel caso di adozione di modalità

collaborative come forma di riduzione del rischio. In questo elemento sono presenti i principi di calcolo e alcuni dei fenomeni da considerare nella interazione uomo-robot.

Come norma armonizzata la UNI EN ISO 10218 fornisce le clausole funzionali a produrre elementi di adeguamento ai Requisiti Essenziali di Sicurezza e Salute espressi nella Direttiva Macchine 2006/42/CE secondo una metodologia di analisi e riduzione del rischio. Come per la UNI EN ISO 12100 "*Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio*", il primo passo determinante in ambito metodologico è la definizione dello spazio ai fini dei limiti d'uso e l'individuazione dell'uso scorretto del sistema robotizzato. I limiti d'uso sono principalmente destinati ad individuare il tipo di interazione con l'operatore umano. Qualora non siano previste interazioni, infatti, il meccanismo di *safeguarding* in modalità non collaborativa (separazione fisica dal sistema robotizzato) rimane la soluzione principale. Si possono sfruttare le modalità collaborative quando sono invece previste interazioni di qualsiasi tipo: compresenza nello stesso spazio e/o contatto fisico con la macchina. Se l'impostazione della applicazione prevede (dal risultato dell'analisi dei rischi) che sia necessario evitare i contatti e preservare uno spazio protetto intorno al robot, la modalità collaborativa adeguata sarà quella dove un eventuale accesso diretto al robot o un eventuale contatto avvengano a robot fermo. Sarà possibile per esempio mantenere la movimentazione del sistema robotizzato durante la presenza dell'operatore nello spazio di lavoro utilizzando sensori e controllo del robot in grado di mantenere una distanza minima ed eventualmente riducendo la velocità (fino allo stop) nel caso questa condizione non venga rispettata (Monitoraggio della Separazione e della Velocità, SSM, secondo ISO/TS 15066 §5.5.3). In alternativa il sistema robotizzato dovrà essere già in modalità di arresto in coppia (pronto alla ripartenza) prima dell'accesso dell'operatore allo spazio collaborativo (Stop Monitorato in Sicurezza, SMS, secondo ISO/TS 15066 §5.5.1). In entrambi i casi, pur con gradi diversi di flessibilità e ottimizzazione dello spazio di lavoro, il contatto con il robot in movimento è evitato, eliminando così i rischi connessi agli urti col sistema energizzato. Qualora invece, l'applicazione necessiti di una vicinanza funzionale, ad esempio un montaggio cooperativo uomo-robot o il passaggio di materiale, in cui non è possibile ridurre la velocità e/o la macchina continua il movimento in contemporanea con l'operatore, la modalità collaborativa da scegliere richiederà la limitazione dell'energia trasferita all'operatore in caso di impatto (Limitazione della Forza e della Potenza, PFL secondo ISO/TS 15066 §5.5.4). Normalmente i contatti non desiderati (impatti) sono prevenuti dal progetto della routine di lavoro e dal disegno del layout, tuttavia esiste una probabilità non trascurabile che accadano, proprio in funzione della condizione estremamente fluida della collaborazione uomo-robot. In tal caso, l'analisi dei rischi deve farsi carico dell'individuazione





delle condizioni di urto, delle zone del corpo esposte a tale pericolo, della conformazione (forma, materiale, ecc.) della parte impattante, da cui ne deriva una energia trasferita dal sistema robotizzato all'uomo. Nel caso di impatto con schiacciamento, dove per esempio una mano resta intrappolata tra robot e attrezzaggi, l'energia trasferita si esprime in termini di pressione, ovvero di forza impressa sulla superficie di contatto. La pressione risulta tanto minore quanto più arrotondata e soffice è la parte a contatto. Grandezze simili (pressioni, forze, quantità di moto) associate ai contatti possono essere messe in relazione al dolore percepito dall'operatore nel contatto. I requisiti di modalità collaborativa PFL sono stati elaborati, infatti, in forma di sensazione di dolore, attestando i limiti di sicurezza a valori assai inferiori all'insorgere di lesioni, anche lievi, in osservanza di un principio di tutela della salute. Chiaramente il contatto accidentale in grado di provocare dolore deve avere carattere di occasionalità, allo scopo di non determinare effetti cumulati a lungo termine che farebbero invece salire di molto il rischio associato, configurando una situazione di lesione cronica. Per tali motivi la definizione dei valori di riferimento proposti nella specifica tecnica ISO/TC 15066 ha richiesto un maggiore impegno in termini di tempo e di analisi - non senza perplessità, cautele, dibattito - nella redazione del documento. Tali valori rappresentano in ogni caso un termine informativo, e non normativo, l'analisi dei rischi nella definizione dei requisiti di riduzione del rischio adeguati resta prioritaria.

Con l'affermarsi delle applicazioni collaborative è auspicabile che l'esperienza risultante dall'utilizzo di tali sistemi, unitamente alla disponibilità di dati sperimentali derivanti da studi scientifici dedicati alla maggiore comprensione dei fenomeni biomeccanici legati all'interazione fisica uomo-robot, possa consentire una maggiore

confidenza nella trattazione di tali valori riguardanti i limiti di sicurezza.

Un aspetto importante, particolarmente evidente nell'analisi della modalità collaborativa di contatto (PFL) è la dipendenza dei limiti di sicurezza dalle caratteristiche di tutto il sistema, soprattutto dagli organi terminali e, quasi sempre, dal carico trasportato. Risulta chiaro come la sicurezza non sia, infatti, una caratteristica del robot, bensì un risultato del sistema completo in una particolare applicazione. Un robot sicuro, che trasporta un carico estremamente pericoloso con end effector non controllato, risulta chiaramente parte di una applicazione non sicura. Il principio è valido anche per le altre modalità collaborative.

Un esempio di questo principio si può osservare in una applicazione tipica di asservimento macchina (ad es. caricamento semilavorato in attrezzaggio macchina utensile) in condizioni di cella aperta - ovvero non dotata di ripari fissi e mobili - adatta all'ispezione occasionale da parte del personale senza interferenza con il ciclo di lavoro. In tal caso, possono essere previste due modalità: nella prima, viene preservata sempre una distanza dall'operatore attraverso una sensoristica adeguata a misurarne la prossimità (ad esempio scanner di sicurezza o gate ottici a distanza calcolata secondo le modalità ISO/TS 15066 §5.5.3) fino allo stop protettivo in caso di avvicinamento, oppure nella seconda viene ridotta la velocità o la coppia al robot al punto da produrre un dolore minimo in caso di contatto con il semilavorato e/o l'organo di presa, che normalmente presentano parti affilate o appuntite (bave incluse). La soluzione in tal caso può essere una combinazione di monitoraggio della distanza, allo scopo di mantenere elevate velocità di lavoro, e di limitazione della velocità in fase di presenza ravvicinata.

Dal punto di vista del sistema di comando e

controllo, le caratteristiche di sicurezza funzionale dedicate al monitoraggio della velocità e/o coppia del robot e dell'azionamento dell'organo terminale devono rispondere a requisiti adeguati al pericolo generato. Le indicazioni per i robot, intesi come quasi-macchina singola da utilizzare in applicazioni collaborative, sono contenute nella UNI EN ISO 10218-1 e richiamate nella UNI EN ISO 10218-2 per l'intero sistema. L'automazione di sistema, quindi, si deve dotare di un livello di sicurezza dedicato (*safe I/O*, logica *safe* cablata semplice o da software con *safe controller*, ecc.) la cui intera catena di comando (sensore - logica - output) sia di livello ISO 13849-1 PLd, cat.3, o IEC 62061 SIL 2 (toll. 1, test 20 anni) o inferiore in dipendenza da pericoli di gravità minore potenzialmente causati in caso di guasto delle funzioni di sicurezza. È cura quindi del costruttore della macchina, ovvero della soluzione robotizzata, unitamente a tutto il sistema in cui trova applicazione, inteso quantomeno come ambiente e limite d'uso oppure come piena integrazione a livello ISO 11161, determinare accuratamente in sede di analisi e ponderazione del rischio tutte le caratteristiche di sicurezza funzionale cui devono rispondere le misure di riduzione del rischio individuate per l'applicazione. In questo processo la ISO/TS 15066 fornisce una importante fonte di indicazioni circa le modalità di integrazione di sistema, proponendo linee guida e requisiti di presunzione di conformità alla Direttiva Macchine, cui è soggetta una cella robotizzata come qualsiasi altro macchinario. La fonte di informazioni contenuta nella specifica tecnica offre, pertanto, un impulso potenzialmente importante, e a lungo atteso, alle applicazioni collaborative.

Federico Vicentini

*Esperto italiano ISO/TC 184/SC 2/WG 3
Industrial safety*