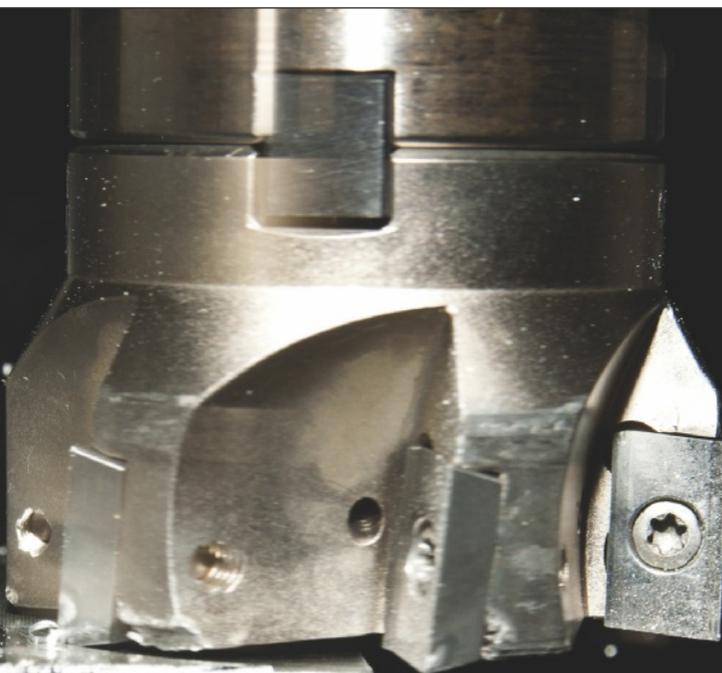


PROCESSI DI PRODUZIONE

Autori: Michele Surico (FIDIA), Raffaele Ricatto (FIDIA),
Mauro Comoglio (DIAD Group), Sergio Durante (DIAD Group Motorsport)



MC-SUITE È UNA "SUITE" DI APPLICAZIONI VOLTE A RIDURRE LA DISTANZA TRA LA SIMULAZIONE VIRTUALE DI UNA FRESATURA ED IL REALE PROCESSO DI PRODUZIONE CHE TROVERÀ APPLICAZIONE NEI SISTEMI PRODUTTIVI DI PROSSIMA GENERAZIONE.

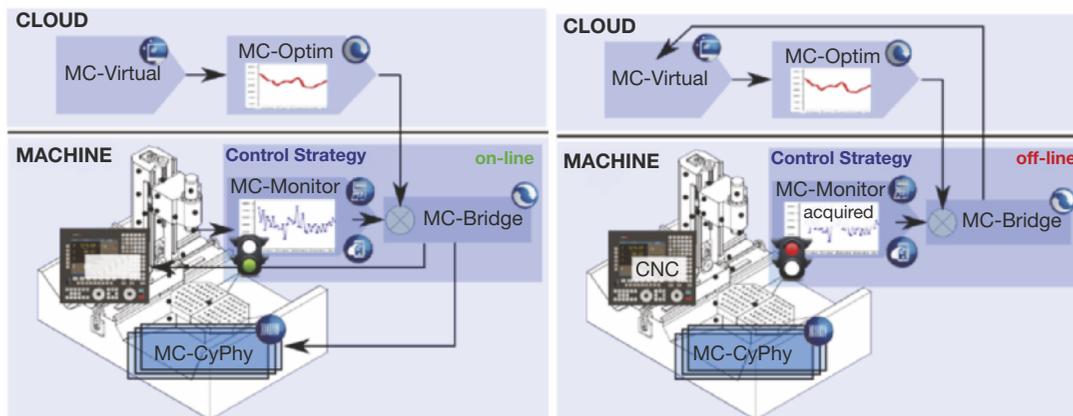
MC-SUITE:

SOLUZIONI INNOVATIVE per le lavorazioni di domani

La suite è stata sviluppata in un progetto di ricerca della durata di 3 anni, finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del Programma Horizon 2020 con un budget di circa 4 milioni di euro, che ha visto collaborare attivamente diversi costruttori di macchine utensili, specialisti di processi di taglio, analisti e sviluppatori del settore ICT, utilizzatori finali dei settori aerospaziale/energia, automotive/motorsport e sistemi produttivi. Il progetto è coordinato dal centro ricerche basco IK4-Ideko, e vede l'Italia coinvolta con due aziende: FIDIA, produttore di centri di fresatura e sistemi di controllo per macchine utensili, e DIAD Group, produttore di componenti automotive/motorsport in materiali innovativi.

Di seguito sono illustrati i sei diversi moduli su cui è basata la suite sviluppata dal progetto:

- ▶ **MC-Virtual:** predice il percorso reale dell'utensile, la qualità della superficie finale, le forze di taglio e la stabilità del processo, superando i limiti dei CAM convenzionali.
- ▶ **MC-Optim:** migliora il processo di fresatura ottimizzando obiettivi multipli quali la produttività, la qualità ed il consumo energetico.
- ▶ **MC-CyPhy:** include tre diversi sistemi cyberfisici collegati al modello virtuale e al sistema di monitoraggio per aumentare la produttività.
- ▶ **MC-Monitor:** è un sistema basato su cloud in grado di memorizzare dati eterogenei, compresi i segnali provenienti dai sensori interni della macchina, dai sistemi addizionali installati e i dati creati dall'operatore.
- ▶ **MC-Analytics:** è una piattaforma che elabora le informazioni del cloud permettendo l'analisi



Interazione dei diversi moduli di MC-SUITE

di processi e macchine e il miglioramento della produttività.

► **MC-Bridge:** confronta i risultati del modello virtuale con quelli reali ottenuti dal sistema di monitoraggio. Questo permette di eseguire ottimizzazioni on-line e off-line del processo di lavorazione reale.

Nel presente articolo ci focalizzeremo sui moduli MC-Virtual, MC-CyPhy e MC-Monitor, che sono pronti per l'impiego industriale.

Casi di studio

Lo sviluppo di MC-SUITE è stato totalmente guidato dalle esigenze definite dagli utilizzatori finali attraverso tre casi di studio, che rappresentano i tre settori di maggiore impatto per le lavorazioni meccaniche: aerospaziale/energia, automotive/motorsport e sistemi produttivi.

► Il caso di studio aerospaziale/energia di Aeromec è costituito da un tipico involucro di turbina, detto "drum", utilizzato nelle turbine a gas aeroderivate per la produzione di energia. Poiché sono necessari lunghi tempi di lavorazione per realizzare questo componente in acciaio inossidabile, l'obiettivo principale di MC-SUITE è la riduzione della durata del ciclo produttivo.

► Il caso di studio automobilistico di Diad Group è la flangia in lega speciale di alluminio di un cambio sequenziale a 6 rapporti per macchine da corsa. Questo componente, "customizzato" per i clienti (team, piloti privati o aziende), viene prodotto in piccoli lotti o prototipi, quindi l'obiettivo di MC-SUITE è di garantire elevatissimi standard qualitativi sin dal primo componente lavorato, first time right, riducendo al massimo scarti produttivi e riprese. La dimostrazione viene effettuata su macchine, sistemi hardware e software, FIDIA.

► Il caso di studio del settore sistemi produttivi è rappresentato dalla colonna delle macchine utensili di Soraluca. La colonna è un elemento verticale portante che sostiene il mandrino, e che viene

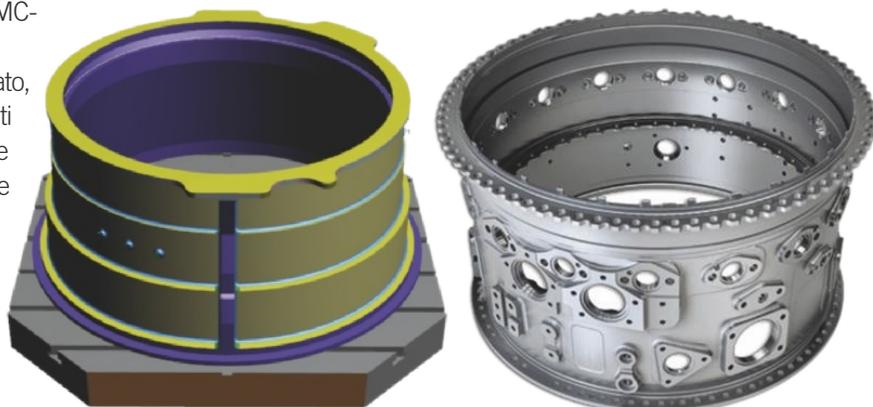
realizzato in ghisa perlitica grigia stabilizzata. A causa dei lunghi tempi di taglio, questa lavorazione presenta un'alta variabilità di usura degli utensili (fino a 5 volte) a parità di materiale lavorato ed utensileria. L'obiettivo di MC-SUITE è in questo caso il monitoraggio costante del processo di taglio e l'elaborazione di strategie atte a minimizzare il consumo energetico della lunga lavorazione.

Analizziamo ora più in dettaglio alcune delle funzioni della suite per mostrare meglio il grande potenziale dello strumento MC-SUITE.

MC-Virtual

L'obiettivo di MC-Virtual è di simulare in dettaglio il processo di lavorazione per poter prevedere i parametri di processo più importanti, come le forze di taglio e la finitura superficiale. Simulazioni geometriche dell'asportazione di materiale e dei movimenti della macchina utensile sono già disponibili ed utilizzati nell'industria, con lo scopo di ridurre o addirittura eliminare prove di esecuzione del pezzo. Tuttavia, solo recentemente la simulazione virtuale della lavorazione ha cominciato a tenere in considerazione la fisica dei processi di lavorazione, che riguarda principalmente gli utensili, i materiali lavorati e la macchina utensile. Il primo passo in tal senso è la valutazione delle interazioni tra utensile e grezzo lungo il percorso macchina per prevedere le forze di taglio e la stabilità della lavorazione. A tal fine sono stati considerati

Applicazione aerospaziale/energia di Aeromec: involucro di turbina



IL CONSORZIO

Il consorzio MC-SUITE è costituito da 12 partner di 7 differenti paesi dell'UE:

- ☐ IK4-Ideko (ES), ICT / Manufacturing, Istituto di ricerca
- ☐ Cedrat Technologies (FR), fornitore di tecnologie ICT, SME
- ☐ Tagueri (DE), fornitore di tecnologie ICT, SME

- ☐ Aeromec (ES), utilizzatore finale per il settore aerospaziale/energia, SME
- ☐ Gamax (HU), fornitore di tecnologie ICT, SME

☐ ActiveEon (FR), fornitore di tecnologie ICT, SME

☐ Diad Group (IT), utilizzatore finale per il settore automobilistico/motorsport, SME

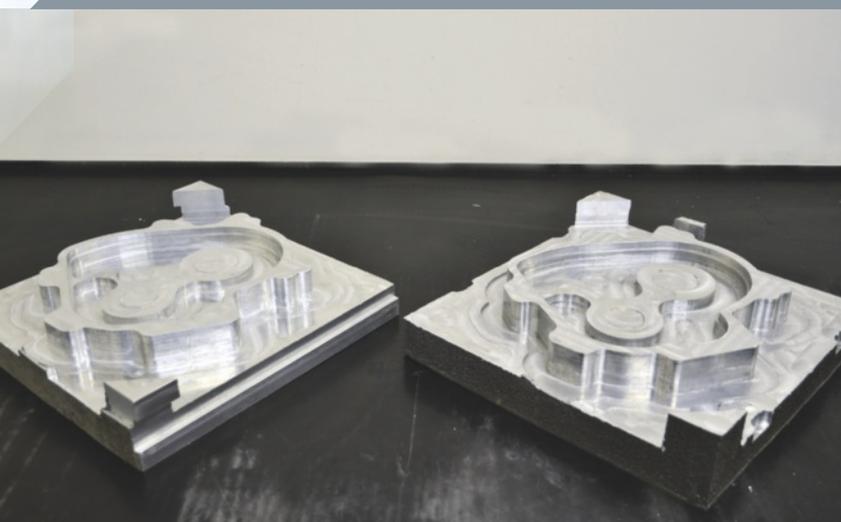
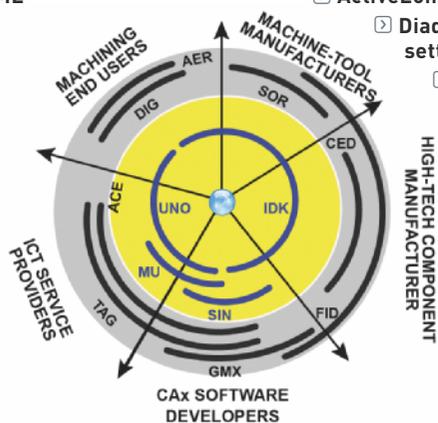
☐ Soraluze (ES), produttore di macchine utensili, LE

☐ Fidia (IT), produttore di macchine utensili / CNC / CAM, LE

☐ Mondragon University (ES), ICT e Produzione, Istituto di ricerca

☐ Sintef (NO), ICT, Istituto di ricerca

☐ Università di Nottingham (UK), ICT, Istituto di ricerca



Applicazione automotive di DIAD Group: flangia cambio sequenziale motorsport

modelli dettagliati della geometria reale degli utensili e sono state realizzate prove di taglio ortogonali per modellare le forze di taglio nelle operazioni di fresatura. Inoltre, sono state studiate le dinamiche reali della macchina utensile degli utilizzatori finali per fornire indicatori di stabilità e determinare il movimento reale dell'utensile durante il taglio, inclusa la sua vibrazione autoindotta (chatter). I modelli fisici sono stati inoltre predisposti per includere dati provenienti dal mondo reale, al fine di migliorare le previsioni grazie al modulo MC-Bridge.

Il flusso di lavoro di MC-Virtual gestisce l'esecuzione sequenziale dei singoli componenti software che consentono la simulazione del processo, partendo dalla generazione automatica del percorso utensile (tramite il CAM FIDIA HiMill), per poi passare alla simulazione delle interazioni tra l'utensile e la parte grezza e finire con la predizione (e successiva visualizzazione) della superficie finale. Questo processo aiuta il pianificatore di processi a garantire una corretta realizzazione fin dal primo pezzo. Vale la pena di sottolineare che sebbene la qualità superficiale del componente lavorato sia un parametro fondamentale per l'accettazione da parte cliente, tuttavia questa non viene correntemente simulata dagli strumenti attualmente in commercio. Usando la realtà virtuale e gli strumenti di rendering di superfici, MC-Virtual fornisce una visualizzazione molto realistica del pezzo. In effetti, la combinazione di precisione di calcolo della geometria generata e la considerazione dei fenomeni fisici (come le vibrazioni) consentono di prevedere anche eventuali segni sulla superficie. Alte prestazioni di calcolo sono ottenute grazie al partizionamento del volume totale in sotto elementi distinti.

MC-CyPhy

Il progetto MC-SUITE propone tre sistemi cyber-fisici per aumentare la produttività: (a) un algoritmo di variazione della velocità del mandrino, (b) un sistema di smorzamento attivo, (c) un sistema rompi-truciolo. La scelta del sistema cyber-fisico da introdurre nella macchina utensile dipende dal processo che dev'essere ottimizzato e consente di modificare i parametri di processo o di controllare lo smorzatore attivo. Per collegare tali sistemi alla macchina è stata sviluppata un'interfaccia eseguita su un PC industriale, che permette di raccogliere dati in tempo reale da CNC Fidia, Siemens e Heidenhain e dal controller MC-SUITE. Quest'ultimo è un sistema che, una volta aggiunto alla macchina, consente di analizzare il processo di lavorazione sfruttando i dati dei sensori aggiuntivi installati e le informazioni provenienti dal CNC. I dati raccolti vengono poi inviati ad un cloud per consentire a MC-Analytics di effettuare l'elaborazione e l'analisi offline dei dati. L'algoritmo di variazione della velocità del mandrino e il sistema di smorzamento attivo sono stati sviluppati allo scopo di migliorare la stabilità della lavorazione, mentre il sistema rompi-truciolo è stato sviluppato per ridurre la lunghezza dei trucioli e consentire una tornitura ininterrotta di componenti di grandi dimensioni. Al verificarsi della vibrazione durante il processo di taglio, un algoritmo dedicato considera il chatter e la frequenza di eccitazione generata dall'utensile e supera il problema proponendo la strategia più adatta affinché la vibrazione venga eliminata (SST

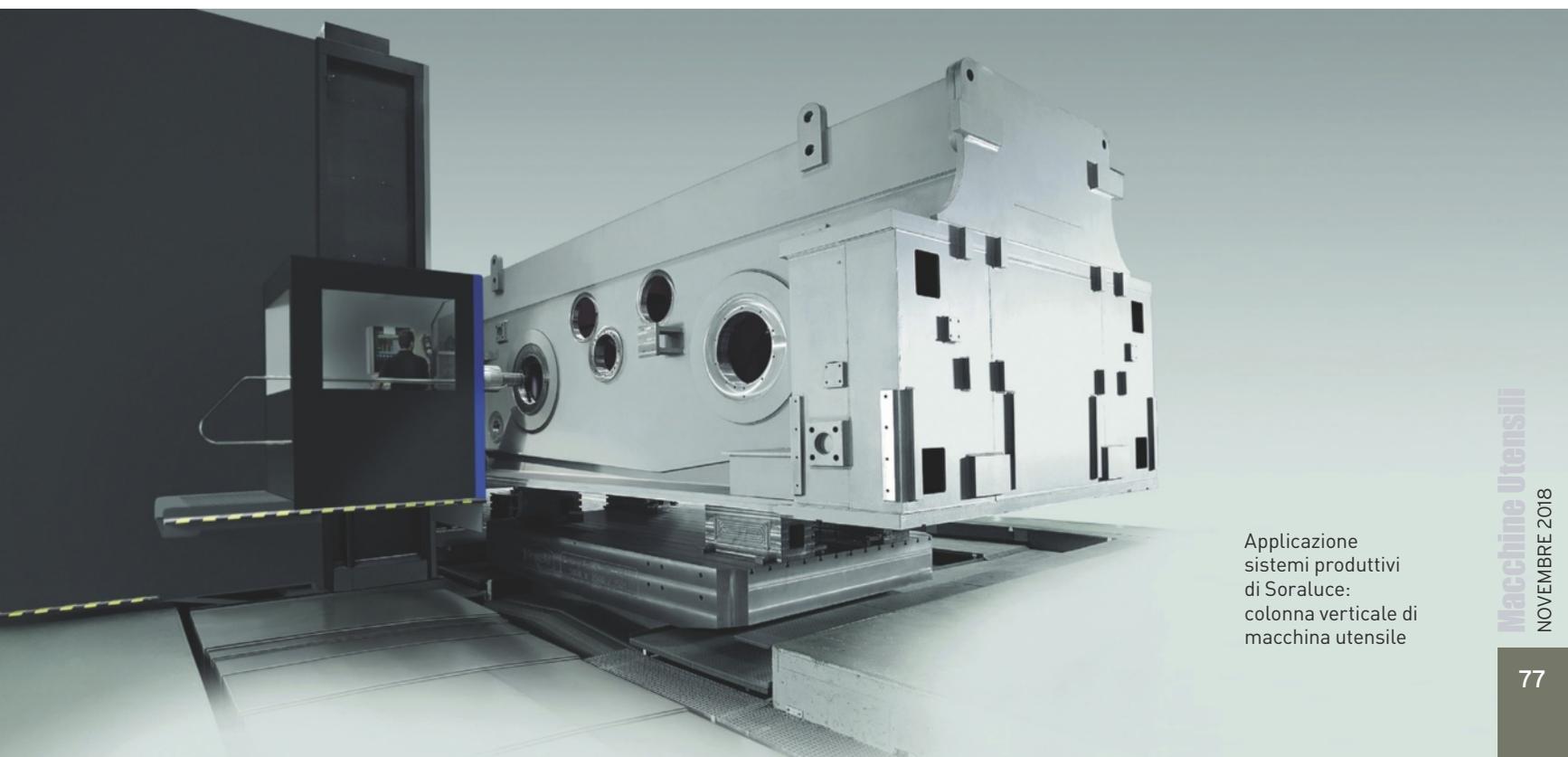
o SSV, in base ai lobi del diagramma di stabilità) o applicando una oscillazione armonica continua al mandrino al fine di compensarla (Smorzatore attivo).

SST/SSV

La variazione discreta della velocità del mandrino (Spindle Speed Tuning, SST) e la variazione continua della velocità del mandrino (o Spindle Speed Variation, SSV) sono due tecniche implementate in MC-SUITE per sopprimere il chatter. Entrambe si avvalgono di un tool di analisi dei segnali che, grazie all'interfaccia con accelerometri e CNC, permette di verificare l'insorgenza del chatter.

La SST risolve il problema del chatter spostando le condizioni di lavoro del mandrino al di fuori di una zona di instabilità. La velocità stabile che viene temporaneamente impostata può essere determinata attraverso la valutazione teorica del diagramma a lobi o in base alla conoscenza delle dinamiche della macchina ottenuta in lavorazioni analoghe.

La SSV è una tecnica che consiste nel sommare alla velocità del mandrino un segnale variabile nel tempo. In letteratura, sono considerate prevalentemente modulazioni sinusoidali o triangolari. Gli esperimenti dimostrano che, a parità di parametri di frequenza e ampiezza, la forma sinusoidale è più efficace della forma triangolare. Ma se consideriamo il limite imposto dalla dinamica mandrino, la forma sinusoidale ha bisogno di più accelerazione rispetto alla forma



Applicazione sistemi produttivi di Soralue: colonna verticale di macchina utensile



Il chatter

Le vibrazioni possono distinguersi in vibrazioni forzate e vibrazioni autoindotte. Le prime sono dovute principalmente al taglio discontinuo o alla non uniformità dei taglienti (es. usurati o danneggiati). Le vibrazioni autoindotte (o chatter) sono dovute al fatto che lo spessore reale del truciolo è influenzato dalla posizione relativa tra l'utensile e il grezzo durante il passaggio del tagliente precedente. Questo fa sì che le vibrazioni di questo tipo tendano ad incrementare la loro ampiezza fino al punto da degradare pesantemente la qualità della superficie lavorata. Già nel 1907, Frederick W. Taylor descriveva le vibrazioni di lavorazione come il più oscuro e delicato di tutti i problemi che il macchinista deve affrontare, un'osservazione vera ancora oggi, come dimostrato dalle molte pubblicazioni sulla lavorazione. I modelli matematici consentono di simulare le vibrazioni di lavorazione in modo abbastanza accurato, ma in pratica è sempre difficile evitare le vibrazioni autoindotte.

Soppressione del chatter e miglioramento della finitura superficiale attivando il sistema SST

triangolare. Per tale ragione generalmente la forma triangolare è quella proposta all'operatore, anche se l'implementazione del CNC FIDIA permette comunque entrambe le opzioni.

Smorzatore attivo

Il prototipo di smorzatore attivo è stato progettato e testato da Soraluze mentre Ideko ha curato lo sviluppo di uno strumento per semplificarne il controllo. Il sistema consiste essenzialmente di un rilevatore di vibrazioni/chatter, un attuatore ed un controller dedicato. All'insorgere di una vibrazione durante il taglio, il sistema genera (e implementa grazie all'attuatore) delle oscillazioni armoniche in grado di contrapporsi ad essa, riducendone drasticamente l'effetto. Esperienze sul campo hanno mostrato la possibilità di incrementare la produttività delle lavorazioni fino al 200%, quindi il sistema è stato introdotto come opzione nelle macchine di Soraluze.

Rompi-truciolo (opzione software)

Il rompi-truciolo, "CHIP BREAKER" è un'opzione software che può aiutare a ridurre la lunghezza dei trucioli durante le operazioni di tornitura. Per rompere il truciolo, si impone all'inserto di taglio un movimento oscillatorio in senso assiale che porta ad una generazione discontinua del truciolo, dato che il tagliente smette periodicamente di tagliare (moto di alimentazione nullo). L'oscillazione, generata nella direzione di avanzamento dell'inserto, consente di ottenere una variazione del flusso di materiale asportato (periodicamente nulla), senza che ciò influisca sul tempo totale di lavorazione e quindi sulla produttività del processo.

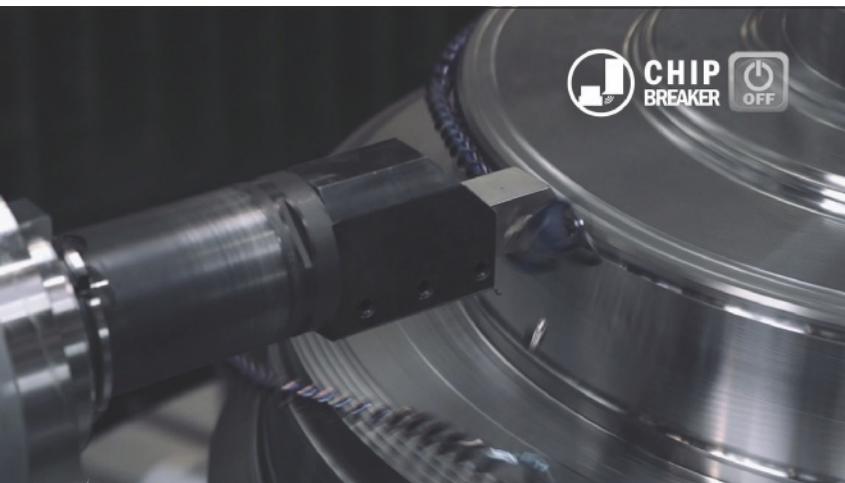


MC-Monitor

Il modulo MC-Monitor permette di raccogliere dati (a) dalle macchine, (b) dall'operatore e (c) dai vari sensori nell'officina, fornendo agli altri componenti di MC-Suite l'accesso a tali dati. Inoltre, MC-Monitor esegue operazioni di pre-elaborazione come la pulizia, la formattazione e il filtraggio dei dati grezzi provenienti dalle macchine e dai sensori prima di renderli disponibili.

Per quanto riguarda i dati di input di MC-Monitor, durante lo sviluppo di MC-Monitor, si è provveduto a dotare le macchine impiegate nei casi di studio aerospaziale/energia, automotive/motorsport e sistemi produttivi di ulteriori sistemi di sensori al fine di migliorare i segnali disponibili e monitorarne di nuovi (come il consumo di energia, vibrazioni o temperature). Inoltre, è stata data all'operatore della macchina utensile la possibilità di commentare l'evoluzione del processo utilizzando un microfono (installato nel pannello di controllo o

Introduzione del sistema di smorzamento attivo nelle macchine di Soraluze



Miglioramento dell'operazione di tornitura attivando il CHIP BREAKER.

tramite un telefono cellulare) e di introdurre ulteriori informazioni attraverso un elenco predefinito di opzioni. Infine, telecamere IP sono state installate per registrare il processo di taglio e consentire l'assistenza remota.

Lo step successivo è la pre-elaborazione dei dati raccolti e la condivisione con gli altri moduli MC-Suite. Quest'ultima è ottenuta caricando i dati provenienti dai sensori in un cloud dedicato. Il cloud computing offre la possibilità di fornire risorse software e hardware come servizi in modo scalabile. Questa caratteristica fornisce a MC-Monitor la capacità di gestire grandi volumi di dati provenienti da macchine che risiedono in fabbriche diverse. Inoltre, le risorse cloud vengono utilizzate per filtrare e strutturare i dati grezzi dai sensori prima della loro archiviazione e distribuzione sotto forma di flussi.

Maggiormente in dettaglio, l'architettura di MC-Monitor comprende cinque attività principali:

- ▶ Raccolta dati dalla macchina utensile sensorizzata: MC-Monitor sfrutta un PC industriale dedicato associato ad ogni macchina. Questo PC è collegato al CNC e ai sensori installati sulla macchina e offre un'interfaccia basata su servizi REST per consentire a terzi di recuperare i dati registrati.

- ▶ Pre-elaborazione e caricamento dei dati per la distribuzione e l'archiviazione: MC-Monitor sfrutta

la piattaforma di elaborazione Apache Storm Stream per recuperare i dati dal PC industriale con l'obiettivo di filtrare, pulire, formattare, generare allarmi e rilevare eventi, annotare, e infine rendere disponibili i dati nella coda dei messaggi e nel database.

- ▶ Memorizzazione dei dati per ulteriori analisi:

MC-Monitor sfrutta il database non relazionale CouchDB per archiviare dati strutturati e non strutturati.

- ▶ Fornitura flussi di dati pre-elaborati al modulo MC-Analytics: MC-Monitor sfrutta una coda di messaggi Apache Kafka per fornire a terzi l'accesso al flusso di dati dalle macchine, incluso il modulo MC-Analytics. Diversi data-marts sono forniti agli utenti finali, come ad esempio dati grezzi formattati o gli allarmi generati dal componente di pre-elaborazione dei dati.

- ▶ Garantire la scalabilità della soluzione proposta: la soluzione proposta sfrutta soluzioni all'avanguardia per l'elaborazione di big data (Apache Storm), per la distribuzione dei dati (Apache Kafka) e infine per la loro archiviazione (Apache CouchDB). Queste soluzioni sono implementate su un'infrastruttura cloud (sfruttandone l'elasticità) e supportano la scalabilità orizzontale.

Dopo una fase iniziale di prova e messa a punto, MC-Monitor è oggi testato in macchine di produzione nei settori di riferimento. Ad esempio, è stato utilizzato per raccogliere e monitorare i dati provenienti dalla macchina FIDIA DL155 con controllo numerico NC19, situata nello stabilimento FIDIA, a San Mauro Torinese (TO), durante la realizzazione di un componente della scatola del cambio motorsport di DIAD Group. MC-Monitor è stato utilizzato con successo per pre-processare e caricare i dati del processo di lavorazione nel cloud, inclusi i commenti del gestore della macchina sull'evoluzione del processo.

Conclusioni

L'insieme delle soluzioni di MC-SUITE permette di raccogliere facilmente i segnali di CNC e sensori e poi trasferirli su un server cloud senza l'intervento di un operatore esperto. Una successiva analisi automatica dei dati registrati permette di determinare le condizioni di lavoro e le performance della macchina. In aggiunta le soluzioni SST, SSV, Active Damping e Rompi Truciolo migliorano direttamente il processo produttivo senza interrompere la lavorazione. Nei prossimi mesi le soluzioni MC-SUITE verranno ulteriormente testate in vista della loro commercializzazione. ▶