MUSP
Macchine Utensili e Sistemi di Produzione

Processi di assemblaggio e formalizzazione della conoscenza

Il settore manifatturiero si trova oggi ad affrontare una duplice sfida: da un lato, l'opportunità offerta dalle tecnologie digitali per rendere i processi più efficienti; dall'altro, il rischio crescente di perdita delle competenze operative maturate sul campo, soprattutto nei processi di assemblaggio, dove l'esperienza diretta degli operatori è spesso non documentata ma fondamentale.
Per rispondere a questa esigenza, è stata sviluppata una piattaforma tecnologica modulare che integra:
• interfacce uomo-macchina avanzate (HMI) basate su realtà aumentata,
• acquisizione dati da macchinari tramite architetture edge,
• formalizzazione e condivisione del know-how operativo in ambiente cloud.
La piattaforma consente di acquisire, conservare e trasferire conoscenze pratiche implicite, supportare la formazione in sito e migliorare la gestione dei processi di assemblaggio, anche in un'ottica di economia circolare.

Laboratorio	MUSP
Area di specializzazione	Digitale, Meccatronica e Materiali
Referenti	Paolo Albertelli
Keyword	Knowledge representation and reasoning, AI, Advanced manufacturing, Digital platform

"KnowledgeX - Piattaforma modulare per la formalizzazione della conoscenza"



Fig. 1: eXpert Knowledge formalization for a human-centered manufacturing



Fig. 2: Expert Knowledge Formalisation

Descrizione

Sulla base di un'esigenza condivisa da molte ditte manifatturiere e legata in particolare ai processi di **assemblaggio**, disassemblaggio e manutenzione, il laboratorio MUSP insieme ad altri partner del territorio regionale ha sviluppato una tecnologia digitale innovativa volta a preservare e valorizzare il know-how degli operatori esperti, specialmente in presenza di personale prossimo al pensionamento e difficoltà di reperimento di nuove competenze.

Questo viene fatto attraverso un sistema integrato edge/cloud e interfacce avanzate basate su dispositivi di realtà aumentata (AR), visori e display che consentono agli operatori di ricevere istruzioni e suggerimenti contestuali basati sull'esperienza pregressa, migliorando così la qualità e l'efficienza delle operazioni di assemblaggio.

Questa piattaforma di integrazione supporta gli operatori nella **selezione e gestione di componenti da assemblare**, anche recuperati e compatibili, favorendo pratiche di economia circolare attraverso la condivisione delle disponibilità di componenti disassemblati per un successivo riutilizzo.

Questo strumento è stato sviluppato nell'ambito del progetto KnowledgeX.

Aspetti innovativi

KnowledgeX: un approccio human-centered alla gestione del know-how nell'assemblaggio, introduce una piattaforma modulare che integra edge computing, cloud, intelligenza artificiale e realtà aumentata, offrendo un approccio unico e human-centered alla gestione del know-how nei processi di assemblaggio.

L'innovazione principale risiede nella capacità del sistema di estrarre conoscenza tacita da operatori esperti e dati di processo, trasformandola in ontologie e knowledge graph. Questa conoscenza diventa accessibile in modo contestuale e interattivo tramite visori AR.

Rispetto alle soluzioni tradizionali, KnowledgeX consente di:

- Preservare e digitalizzare il know-how implicito legato alla scelta e all'assemblaggio, inclusi componenti recuperati;
- Offrire formazione personalizzata e contestuale, con supporto AR che guida l'operatore in tempo reale;
- Semplificare le decisioni operative, ad esempio nella selezione di componenti compatibili o nel riciclo;
- Rafforzare la resilienza produttiva, riducendo i tempi di integrazione dei nuovi operatori grazie a istruzioni interattive basate sull'esperienza pregressa.

Applicazioni

La tecnologia è applicabile in contesti manifatturieri con assemblaggio, disassemblaggio e manutenzione ad alta variabilità. Risulta utile in caso di carenza di manodopera qualificata o ricambio generazionale, facilitando il trasferimento del know-how operativo. Attraverso dispositivi di realtà aumentata e sistemi edge/cloud, gli operatori ricevono istruzioni contestuali che migliorano qualità ed efficienza, favorendo anche il riuso di componenti in ottica di economia circolare.

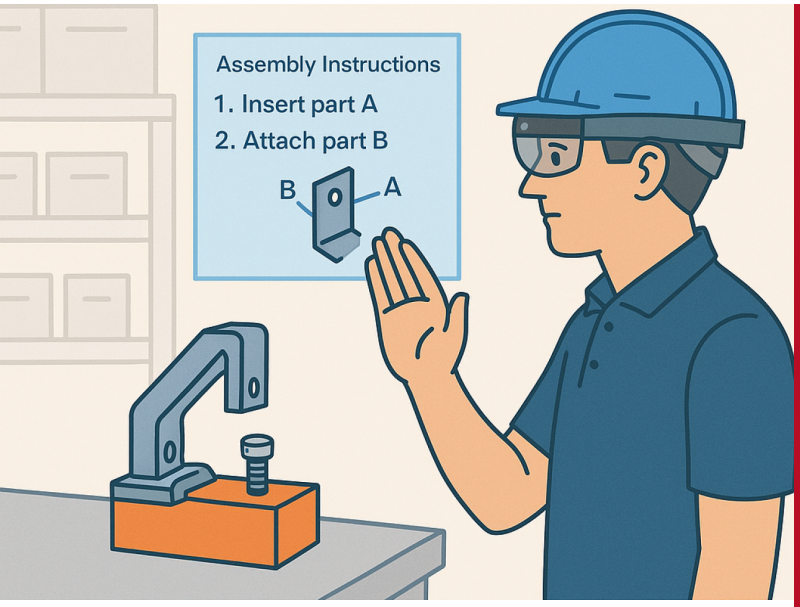


Fig. 3: Approcci semiautomatici e human-oriented per l'estrazione e la rappresentazione della conoscenza in operazioni di assemblaggio

Partner coinvolti	Partenariato di ricerca: Consorzio MUSP (coordinatore), ISTC-CNR, MISTER. Partenariato industriale: BLM, CAPELLINI, MCM.
Tempi di realizzazione	18 mesi
Livello di maturità tecnologica	TRL 6 - tecnologia dimostrata in ambiente rilevante
Valorizzazione applicazione	Sono in corso attività di valorizzazione della tecnologia, tra cui la valutazione per la brevettazione di metodologie per l'acquisizione, la formalizzazione e la trasmissione della conoscenza implicita degli operatori esperti. Parallelamente, si stanno esplorando collaborazioni con aziende di settori diversi per estendere l'utilizzo della piattaforma in contesti produttivi eterogenei.

Esempio di applicazione

Applicazione in ambito manifatturiero con processi di assemblaggio, disassemblaggio e manutenzione ad alta variabilità.

La tecnologia è integrabile in un ambiente industriale caratterizzato da elevata variabilità nei processi di assemblaggio e dalla presenza di operatori esperti prossimi al pensionamento. Grazie all'uso di dispositivi AR e visori, gli operatori meno esperti possono accedere in tempo reale a un patrimonio di conoscenze pratiche raccolte da colleghi senior, sotto forma di suggerimenti contestuali e istruzioni operative. Questo database, costruito tramite osservazione, interviste e registrazioni in sito, rappresenta una risorsa fondamentale per affrontare situazioni non standard, spesso assenti nei manuali tecnici.
I principali risultati ottenuti includono:
- **Riduzione dei tempi di formazione** dei nuovi operatori grazie a un training immersivo, guidato e basato sull'esperienza reale;
- **Incremento dell'efficienza operativa** e diminuzione degli errori, soprattutto nei passaggi critici del processo;
- **Diminuzione dei difetti di assemblaggio** riscontrati nel periodo successivo all'introduzione della tecnologia;
- **Integrazione di pratiche di economia circolare**, grazie alla selezione ottimizzata e al riutilizzo di componenti recuperati.

MUSP
Macchine Utensili e Sistemi di Produzione

MUSP

Consorzio MUSP

MUSP si dedica alla ricerca applicata nell'ambito dei sistemi di produzione, stimolando il trasferimento tecnologico tra università e industria e rafforzando la competitività del tessuto industriale regionale e nazionale.
MUSP opera principalmente nel settore della produzione meccanica con una serie di attività integrate che comprendono lo sviluppo di progetti di ricerca, servizi di supporto e consulenza R&D, attività di formazione tecnica.
MUSP si è specializzato in diverse tecnologie legate ai sistemi e ai processi di produzione, arricchendosi di competenze specifiche nei seguenti ambiti:
• Simulazioni strutturali, di processo e fluidodinamiche: modellazione e analisi al supporto della progettazione di sistemi complessi, della caratterizzazione dei processi e dell'ottimizzazione delle performance.
• Processi di asportazione di truciolo: monitoraggio e controllo di processo, ottimizzazione delle performance della macchina e criogenia per la lubrorefrigerazione.
• Manifattura additiva: soluzioni innovative per la stampa 3D su larga scala.
• Tecnologie laser: soluzioni innovative per il deep engraving, la funzionalizzazione superficiale e la saldatura.
• Robotica: manipolatori industriali a supporto di soluzioni avanzate per l'ispezione, la manifattura additiva e l'asportazione di truciolo.
• Monitoraggio e controllo qualità: soluzioni per l'ispezione automatizzata e la manutenzione predittiva.

Sito web	http://www.musp.it
Direttore	Michele Monno
Data pubblicazione	25/08/2025