



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in ingegneria gestionale

**MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM, UNA REALTA'  
MANIFATTURIERA. SVILUPPO DELLO STRUMENTO MES PER LA  
PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE.**

**MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM, A MANUFACTURING REALITY.  
DEVELOPMENT OF THE MES TOOL FOR PRODUCTION PLANNING.**

Relatore: Chiar.mo

Tesi di Laurea di:

Prof. Maurizio Bevilacqua

Simone Gentili

A.A. 2019/2020

# INDICE

<b>Prefazione</b> .....	3
<b>1.Breve introduzione all'industria 4.0</b> .....	4-6
<b>2.Pianificazione della produzione: funzioni aziendali coinvolte</b> .....	7-8
<b>3.Il sistema MES: caratteristiche generali</b> .....	9-15
<b>4.MES orientato alla filosofia del Just In Time</b> .....	16-24
<b>4.1 Sistema MES e JIT: caso aziendale</b> .....	24-27
<b>5.Manufacturing Execution System: Applicazioni "RFID"</b> .....	28-35
<b>6.Cooperazione con i CPS: metodo "olonico"</b> .....	35-50
<b>6.1 Modello ISA-95 basato su "agenti"</b> .....	50-58
<b>7.Sistema MES e ingegneria del software</b> .....	59-68
<b>7.1 Prototipo MDM-DSS</b> .....	69-72
<b>Conclusioni</b> .....	72-73
<b>Bibliografia</b> .....	74
<b>Ringraziamenti</b> .....	75-76

## **PREFAZIONE**

I Manufacturing Execution System giocano un ruolo determinante nelle aziende moderne orientate all'Industry 4.0 in quanto rappresentano il futuro della cooperazione tra uomo e sistema IT.

Tuttavia questo approccio non è ancora del tutto collaudato e presenta i suoi limiti, pertanto l'impresa deve fare diverse analisi e valutazioni prima di installare questo strumento nel proprio processo produttivo.

Lo scopo di questa trattazione è quello di presentare le caratteristiche principali di un sistema MES e le opportunità derivanti dal suo utilizzo in ambito manifatturiero, in particolare per quanto concerne la pianificazione della produzione. Nel corso dei capitoli verranno approfonditi gli aspetti più teorici riguardanti il Manufacturing Execution System soprattutto inquadrandolo nell'evoluzione industriale a cui stiamo assistendo e che caratterizzerà il prossimo decennio: l'industria 4.0. L'analisi, supportata anche da casi studio aziendali e ricerche universitarie, considera le caratteristiche principali della funzione Produzione in aziende manifatturiere ed evidenzia i risultati che i sistemi MES permetterebbero di raggiungere se integrati in modo funzionale e coerente coi processi aziendali.

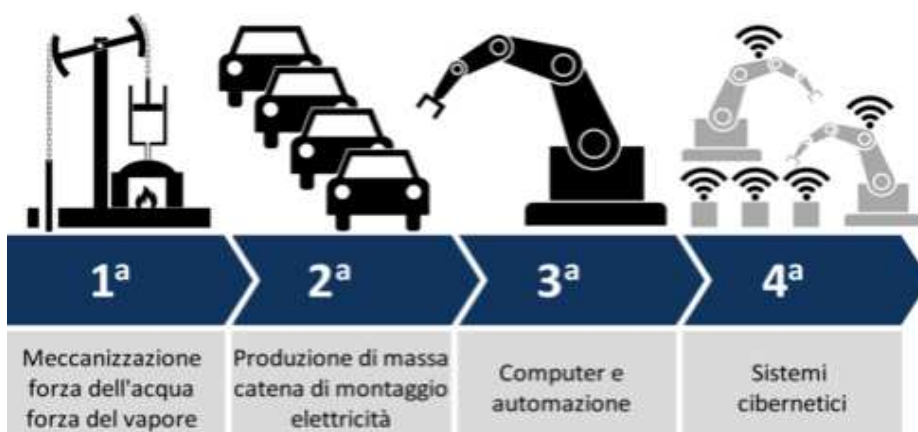
## 1. BREVE INTRODUZIONE ALL'INDUSTRIA 4.0

L'industria 4.0 prende il nome dal piano industriale del governo tedesco ,presentato nel 2011, che prevedeva una serie di investimenti su infrastrutture, scuole, sistemi energetici, enti di ricerca ed aziende per ammodernare il suo sistema produttivo e rendere la manifattura tedesca ancor più competitiva in tutto il mondo.

Gli studiosi di storia ed evoluzione industriale hanno individuato e definito 4 importanti momenti di cambiamento ed evoluzione. Queste "ere" industriali coincidono con l'introduzione e l'utilizzo di nuove tecnologie su larga scala. Tecnologie che hanno rivoluzionato il mondo produttivo segnando dei significativi passi in avanti tanto da definire questi momenti storici come vere e proprie rivoluzioni

- 1° rivoluzione Industriale: seconda metà del 1700 caratterizzata dall'introduzione delle macchine a vapore
- 2° rivoluzione industriale: seconda metà del 1800 caratterizzata dall'introduzione dell'elettricità
- 3° rivoluzione industriale: seconda metà del 1900 caratterizzata dall'introduzione dell'informatica e delle telecomunicazioni
- 4° rivoluzione industriale: inizio 2000 caratterizzata dalla massiccia presenza di automazione e robot nelle linee produttive

All'interno di questa quarta rivoluzione industriale viene assume sempre più rilevanza il concetto di Industria 4.0



[Industria 4.0,Wikipedia]

L'industria 4.0 nasce dai principi fondamentali dello Smart Manufacturing (Smart Production, Smart Services e Smart Energy) e rappresenta la base di partenza della nuova Rivoluzione Industriale. " Industry 4.0 " identifica anche una serie di processi che portano l'automazione industriale più tradizionale verso una forma che digitalizza tutte le componenti del processo stesso.

Possiamo individuare alcuni degli elementi fondamentali dell' Industria 4.0 quali l'IoT (Internet of Things), i CPS (Cyber Physical Systems) , Industrial Analytics , Cloud Manufacturing , Additive Manufacturing.

La condizione essenziale per lo sviluppo di nuove tecnologie di Industry 4.0 è data dalla presenza di nuovi punti di accesso in rete (nuovi indirizzi IP) per le macchine con le quali comunicare.

Tutto si fonda su strutture organizzative e gestionali molto avanzate: implementazione diffusa di sistemi ERP ( per la gestione integrata di processi di business ) e di Lean Production (focalizzazione sul valore percepito dal cliente e l'eliminazione degli sprechi ovvero di tutte quelle attività che non creano valore aggiunto al prodotto).

L'industria 4.0 senza un'ottica 'Lean' rischia di risultare un'automazione avanzata che digitalizza le inefficienze; analogamente la Lean Production, senza il corretto approccio delle tecnologie 4.0, rischia di non valorizzare appieno i propri benefici, soprattutto in contesti organizzativi complessi.

Rispetto ai modelli storici di Computer Integrated Manufacturing (CIM), che ponevano il focus sulla completa automazione dei processi manifatturieri, tramite sistemi capaci di far funzionare in maniera automatica (riducendo l'intervento dell'uomo) macchine complesse come quelle utensili a controllo numerico computerizzato (CNC) e robot industriali per le lavorazioni e movimentazioni di pezzi (AGV automated guided vehicles), la collaborazione tra uomo e macchina sembra, invece, essere il nocciolo del paradigma Industry 4.0 .

Infatti la complessità dei sistemi CIM era ed è tutt'ora un problema difficile da superare. Tuttavia sono stati sviluppati con notevole successo

sistemi di completa automazione limitati solamente a celle produttive composte da un numero ridotto di macchine utensili : gli FMS (Flexible Manufacturing Systems).

In particolare, i sistemi cyber-fisici (CPS) ovvero sistemi che sono strettamente integrati da sistemi informatici, possono interagire e collaborare con altri sistemi CPS creando così un approccio ancor più flessibile rispetto ai sistemi FMS.

I sorprendenti risultati ottenuti dalla Germania, dal punto di vista produttivo, hanno portato molti altri paesi a perseguire questa politica ed è per tale motivo che quest'ultima è stata soggetta di numerosi studi fino ad ora: tra i più noti riconosciamo, quelli di McKinsey, Boston Consulting e Osservatori del Politecnico di Milano. L'esito di questi studi hanno definito gli effetti che le nuove strategie (di "Industry 4.0") hanno avuto sul contesto sociale ed economico. Secondo la ricerca *The Future of the Jobs* presentata al World Economic Forum , nei prossimi anni, fattori tecnologici e demografici influenzeranno profondamente l'evoluzione del lavoro. [La tecnologia cloud e il lavoro flessibile, hanno iniziato ad influenzare le dinamiche già a partire dal 2016. I dati ottenuti dallo studio riportano una creazione di 2 milioni di nuovi posti di lavoro e una sparizione di 7 , con un saldo netto negativo di oltre 5 milioni di posti di lavoro... l'Italia ne uscirà con un pareggio (200 000 posti creati e altrettanti persi), meglio di altri Paesi come Francia e Germania]. Per quanto concerne i gruppi professionali, le perdite si concentreranno prevalentemente nelle aree amministrative e della produzione: rispettivamente 4,8 e 1,6 milioni di posti distrutti. Secondo la ricerca queste perdite saranno parzialmente compensate dall'area finanziaria, il management, l'informatica e l'ingegneria.

Di conseguenza, cambiano competenze e abilità ricercate: nel corso del 2020 il *problem solving* è rimasta e continuerà ad essere la competenza più ricercata, e parallelamente, diventeranno più importanti capacità soggettive quali il pensiero critico e la creatività.

## 2. Pianificazione della produzione: funzioni aziendali coinvolte

In generale la pianificazione della produzione è un processo fondamentale che coinvolge numerose funzioni e risorse aziendali e deve far fronte a previsioni di lungo periodo. Secondo il modello HPP (*Hax, Meal, 1975*), il processo di pianificazione della produzione prevede due livelli, tattico e operativo. Il livello esecutivo è invece gestito dall'attività di schedulazione della produzione o "programmazione esecutiva". Gli elementi che costituiscono un piano di produzione si possono suddividere in due parti: il **Master Planning** (che comprende il piano aggregato di produzione, detto anche Sales & Operations Planning, e il Piano Principale di produzione o Master Production Schedule con le relative verifiche di fattibilità) e il **Detailed Planning** (costituito dall'MRP e dalla schedulazione della produzione). Le funzioni e i ruoli aziendali che intervengono nel processo di pianificazione della produzione sono molteplici. Come indicato da "*Tecnest*" i principali "attori" presenti in questo settore sono il responsabile della produzione e il responsabile della programmazione della produzione, qui di seguito riportati.

### **'Il Responsabile della produzione**

È colui che **pianifica, controlla e coordina l'attività produttiva** in una logica di ottimizzazione delle risorse (umane, economiche e tecnologiche) impegnate. Dirige in modo integrato azioni strategiche, progettuali, organizzative e di gestione delle aree produttiva e logistica. All'interno di un'organizzazione il direttore della produzione è la persona che ha la visione più completa delle potenzialità strumentali e costituisce il punto di raccordo dei vari reparti. È la figura di riferimento per l'industrializzazione del prodotto e crea i collegamenti tra i vari reparti con l'obiettivo di aumentare i livelli di produttività.

Il responsabile di produzione si occupa di:

- pianificare e realizzare le fasi produttive sulla base delle esigenze delle funzioni commerciali decidendo i tempi e i metodi della produzione stessa
- coordinare le attività logistiche e di magazzino, garantendo il monitoraggio del livello delle scorte dei prodotti e dei materiali necessari ai processi produttivi
- verificare lo stato di funzionamento dei macchinari e delle strumentazioni

- pianificare, organizzare e gestire le risorse umane del settore produzione, in relazione ai flussi produttivi
- collaborare alla redazione dei budget di produzione ed è responsabile del contenimento dei costi del settore di sua competenza
- stabilire il calendario operativo, in base al quale tutti i comparti organizzano le attività i tempi e le risorse da impiegare.

### **Il Responsabile della programmazione della produzione**

È colui che coordina le operazioni di sua competenza, garantendo gli obiettivi produttivi, qualitativi e in termini di costi. Egli **controlla la conduzione di tutte le macchine**, i parametri di funzionamento, la loro pulizia e il loro stato di funzionamento. Sovrintende all'addestramento pratico del personale, valutandone l'idoneità, partecipa ai programmi migliorativi dei processi produttivi, in continua relazione con l'area commerciale e con le aree industrializzazione, ingegneria, qualità e sviluppo. I compiti principali del responsabile della programmazione della produzione sono il **mantenimento e il miglioramento della performance del processo produttivo**, e quindi:

- definire i requisiti di produttività, qualità, sicurezza e organizzazione del lavoro
- garantire i piani di convalida e monitoraggio di strumenti, macchine, impianti e processi
- programmare la produzione
- gestire l'approvvigionamento dei componenti e delle materie prime, le scorte di materiali, dei semilavorati e dei prodotti finiti
- ottimizzare le risorse
- promuovere la realizzazione di prodotti semilavorati o finiti.'

### **Ruoli operativi**

Nella pianificazione della produzione, sono inoltre fondamentali altri ruoli operativi svolto da figure operative che intervengono in specifici processi quali, ad esempio:

- Il Pianificatore Materiali
- Il Pianificatore Lavorazioni
- Il Programmatore della Produzione.

La crescente complessità degli scenari produttivi e delle figure professionali coinvolte richiede strumenti di analisi e controllo integrati per poter eseguire la produzione. Un Sistema MES viene pensato proprio per interfacciare tutte queste funzioni aziendali



### **3.IL SISTEMA MES:CARATTERISTICHE GENERALI**

Secondo la definizione MESA un sistema MES è un *sistema che acquisisce e distribuisce informazioni che consentono l'ottimizzazione delle attività produttive dal lancio dell'ordine al prodotto finito. Utilizzando dati real-time, attuali ed accurati, il MES guida, risponde e informa sulle attività dello stabilimento così come e quando esse accadono. La rapidità di reazione risultante, unita alla attenzione nella riduzione delle attività senza valore aggiunto, guidano le operazioni ed i processi dello stabilimento al massimo dell'efficienza.*

Nell'ambito MES sono riconosciute due principali organizzazioni: la MESA e l'ISA.

La MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) ,è un organizzazione no-profit fondata nel 1992 dai principali produttori di software MES. Rappresenta una piattaforma per lo scambio di informazioni , esperienze e capacità tra produttori MES, system integrator e personale d'azienda al fine di espandere e migliorare l'integrazione del MES nell'industria manifatturiera.

Invece l'ISA (International Society of Automation) è un'organizzazione no-profit (fondata però nel 1945) che redige standard sull'automazione industriale. Realizza ,inoltre, studi di ricerca e sviluppo per nuove tecnologie, fornisce una formazione personale e tiene conferenze sui temi emergenti dell'automazione.

Il fenomeno dell'industria 4.0 trova nei software MES (Manufacturing Execution System) uno degli elementi principali a cui tutte le aziende dovrebbero attenersi, considerando il continuo diffondersi della digitalizzazione. I sistemi MES sono infatti strategici per rendere più automatizzati il monitoraggio e la raccolta dati.

Più nello specifico questo strumento, a differenza di altri tipi di sistemi, ha la particolarità di essere inserito nel processo produttivo nel momento in cui la produzione è già avviata. Tutto questo al fine di monitorare e restituire dati in tempo reale al software gestionale permettendo così la creazione di pianificazioni aggiornate e il raggiungimento di un ottimo livello di efficienza in tutta l'azienda.

Il fulcro del funzionamento del MES nell'industria 4.0 è caratterizzato dalla rilevazione manuale e ,soprattutto, automatica di informazioni riguardanti l'esecuzione delle attività produttive.

I software MES più moderni hanno la particolarità di rilevare le attività attraverso più tecnologie e risorse aziendali, garantendo la comunicazione in tempo reale ,tra i vari soggetti coinvolti, di informazioni secondo opportuni criteri di profilazione e responsabilità.

Sicuramente l'interconnessione con i macchinari di produzione , tra le varie risorse, permette di evitare innanzitutto la ripetibilità delle azioni e di scambiare informazioni con i macchinari stessi. La conseguenza è che possiamo tenere traccia del trend storico e prevedere eventuali errori umani o di efficienza di utilizzo dei macchinari.

Infine il processo gestito dal MES termina quando vengono rilevate le quantità prodotte e consumate per la realizzazione e comunicazione delle informazioni al software gestionale aziendale.

Questo garantisce una corretta registrazione dei movimenti di magazzino, antecedenti alla chiusura del ciclo attivo.

L'utilizzo dei sistemi MES per la pianificazione della produzione nasce conseguentemente ai limiti dei sistemi ERP nella gestione dettagliata e nella difficoltà di applicazione a casi reali. A seconda della funzione desiderata distinguiamo diversi software MES ognuno dei quali è differenziato da varie caratteristiche, qui di seguito si riconoscono:

- SISTEMI MES DI PRIMO LIVELLO (SISTEMI DI RACCOLTA DATI): particolarmente adatti per aziende il cui processo produttivo è altamente standardizzato e ripetitivo e aventi un budget di spesa minore di 30.000€. Non permettono la gestione del flusso informativo legato a commesse di produzione.
- SISTEMI MES DI SECONDO LIVELLO (SISTEMI GESTIONALI DI PRODUZIONE): autonomi nella gestione degli ordini cicli e distinte di produzione ,si adattano ad aziende mono-stabilimento, con

produzione e processi di media complessità e non ripetitivi. Budget di spesa non superiore ai 30.000€.

- SISTEMI MES DI TERZO LIVELLO: dotati di sistemi MRP e tool integrati a rendere automatica la raccolta di informazioni dal campo e a scambiare informazioni con i sistemi informativi standard aziendali. Adatti per aziende in continua evoluzione caratterizzate da stabilimenti e reparti con logiche di processo differenti e un budget di spesa sotto ai 100.000€.
- SISTEMI MES O MOM DI QUARTO LIVELLO: esaltano qualità, manutenzione ,magazzino ,scheduling. Adatti per aziende estese, multinazionali con continua necessità di miglioramento che possono superare un budget di spesa di 100.000€

In passato, molte aziende hanno incentrato la propria strategia sulla progettazione e realizzazione di prodotti di elevata qualità, tralasciando aspetti importanti relativi all'affidabilità e all'ottimizzazione del processo produttivo. Questo ha portato a soddisfare il cliente ma, allo stesso tempo, a scontrarsi con inefficienze interne e a subire un inevitabile incremento dei costi di gestione. la rivoluzione industriale 4.0 porta tutte le aziende manifatturiere a ripensare i processi della propria supply chain e della produzione al fine di organizzarli e controllarli in modo più efficiente ed efficace. In quest'ottica i sistemi MES, grazie alla loro capacità di controllo continuo dei processi, possono essere di grande utilità alle aziende che, oltre ad un elevato livello di qualità del prodotto proposto ai clienti, ricercano un'elevata qualità dei propri processi interni. Dall'adozione di sistemi MES integrati potrebbero derivare anche ulteriori opportunità strategiche per le aziende, quali:

1. Messa in produzione di nuovi prodotti con maggior rapidità → la realizzazione di nuovi prodotti richiede rapidi cambi di materiali e processi. Il MES permette di avere tempi di preparazione e realizzazione molto più veloci.
2. Maggior flessibilità → Aziende che realizzano prodotti con caratteristiche anche molto diverse, hanno la necessità di avere un

processo produttivo molto flessibile che permetta un rapido cambiamento ed adattamento. Il MES può facilitare l'attuazione di rapide modifiche nei processi produttivi e nei flussi di gestione dei materiali, ottimizzando le attività in ogni fase.

3. Adattamento a imprevisti e nuove condizioni → Il MES aiuta nell'attività di problem solving permettendo di dare risposte rapide ed efficaci a problematiche impreviste e riducendo al minimo i possibili rischi per clienti e consumatori finali.

Nell'industria 4.0, la realizzazione di un prodotto di qualità non può prescindere da processi produttivi e di approvvigionamento rapidi ed altrettanto qualitativi.

Per un mercato in continua evoluzione e sempre più esigente, sono fondamentali la riduzione del time to market e la possibilità di ottenere prodotti adatti alle proprie esigenze.

Contemporaneamente per le aziende è sempre più importante essere rapidi, efficienti, efficaci ed economici.

Il MES, correttamente interfacciato coi processi produttivi, aiuta ad avere il controllo continuo dei tempi, dei metodi e dei materiali. L'analisi in tempo reale della produzione (e delle proprie inefficienze) consente l'attuazione di modifiche nei processi e nei flussi di gestione dei materiali ottimizzando il controllo della qualità in ogni fase. Inoltre, in seguito all'installazione del software MES le aziende, attraverso i dati raccolti, possono individuare le aree in cui intervenire per poter migliorare il processo e ridurre i tempi di esecuzione delle operazioni. Il tutto adattandosi più velocemente ad eventuali modifiche dei prodotti esistenti, all'introduzione di nuovi e all'apertura verso mercati e clienti nuovi. Visti i vantaggi che offre un sistema MES è importante poter scegliere quello più adatto al proprio business. Per fare ciò bisogna porsi delle domande; il MES scelto è adatto alla mia azienda? Quanto è lungo il processo di implementazione? E' un prodotto completo? E inoltre come si integra con i sistemi informativi già presenti in azienda.

Per rispondere a queste domande ci riconduciamo alla capacità di questi sistemi di adattarsi ad una vasta gamma di necessità e bisogni che permette loro di essere integrati in diverse tipologie di aziende.

La sua fase di implementazione non dovrà essere troppo lunga per non influenzare negativamente il processo produttivo e consentire, così, uno sfruttamento di tutti i vantaggi precedentemente elencati.

Dal punto di vista legislativo la legge di bilancio del 2017 prevede notevoli benefici fiscali per le aziende orientate ad implementare sistemi MES nei propri sistemi operativi connettendolo a macchine e impianti per la raccolta di dati da automatizzare, in attuazione del Piano Industriale 4.0.

In generale quando si parla di produzione, non si intende solo il lavoro delle macchine bensì anche i processi di lavorazione esterna con aziende partner nonché la continua relazione tra cliente e fornitore.

Solo attraverso la conoscenza di questi step, la pianificazione della produzione consentirà all'azienda di gestire tutte le risorse necessarie per ottenere il prodotto finale in tempi ragionevoli nelle quantità necessarie, nella qualità desiderata e, ovviamente, massimizzando il guadagno. Tuttavia uno dei problemi più frequenti resta quello di capire quando usare il sistema MES.

Non esiste una formula matematica che permetta di calcolare quale sia il momento esatto in cui introdurre un sistema MES in azienda, perché questo dipende da molti fattori. I benefici visti sopra ci portano a dire che l'implementazione di questa tecnologia ha senso quando l'azienda ha già iniziato, o meglio concluso, un percorso per mettere sotto controllo il processo produttivo. Questo perché introdurre un sistema MES in un reparto dove gli operatori non conoscono il concetto di cadenza può arrivare ad essere persino controproducente.

Storicamente prima del Manufacturing Execution System la raccolta e la condivisione delle informazioni era un processo lungo e ripetitivo. Ne sono esempi due aspetti critici della gestione degli impianti: la gestione dell'inventario e degli ordini di produzione. Il controllo dell'inventario è

fondamentale per soddisfare gli obiettivi di produzione, garantire l'approvvigionamento di materie necessarie e ridurre il più possibile il livello dello stock.

Per il controllo del magazzino alcuni impianti utilizzano enormi fogli di calcolo per visualizzare l'intero inventario aggiornato. Questi file possono essere condivisi via e-mail, tramite disco portatile o con altri strumenti. Questo comporta però più versioni dello stesso foglio che possono causare errori nella fase di ordine dei materiali. La gestione di questi file, quindi, richiede molto tempo e gli impianti più piccoli hanno solitamente un addetto esperto che conosce quali materie prime sono presenti e quali ordinare. Le "work instruction" inviate ad un impianto in maniera funzionale, sono fondamentali per mantenere una produzione con efficienza massima. Un ordine di produzione viene mandato al piano di produzione. L'ordine di produzione è suddiviso in work instruction che vengono stampate e poi consegnate a ciascun lavoratore per essere eseguite. Alcuni ordini possono essere eseguiti in parallelo, mentre altri necessitano che quello precedente sia completato prima di partire. Ma come fa un generico dipendente a sapere che il lavoratore ha concluso la sua work instruction, così da iniziare con la propria? Quando ha iniziato e quando ha finito di lavorare sulla propria work instruction? Tutte queste informazioni non sono facilmente disponibili per il management e devono essere raccolte manualmente e trascritte in report per essere usate.

Questo è un tipico esempio in cui un sistema MES può risultare vantaggioso per chi lo utilizza, difatti i direttori di stabilimento possono più facilmente programmare la produzione, gestire le materie prime ed ottimizzare l'utilizzo dei macchinari. Collegare questi sistemi è la chiave per ottenere un ambiente di produzione agile e flessibile.

A livello software evidenziamo la presenza di un altro sistema di gestione aziendale, riconosciuto con l'acronimo MIS (Management Information System). Il MIS è un sistema informativo aziendale che supporta

il management offrendo gli strumenti che verranno utilizzati per le attività di controllo, pianificazione e organizzazione.

Inoltre fornisce informazioni utili anche per i processi di controllo e valutazione del business. Questi dati vengono immagazzinati in un deposito centrale (Data Warehouse) per poi essere estratti, modificati e caricati nei database decisionali, divenendo così consultabili dal Manager. La differenza tra un sistema MES (Manufacturing Execution System) e un sistema MIS (Management Information System) è che il primo svolge operazioni con l'ausilio di informazioni acquisite dal sistema/ambiente. Cosa che il secondo non può svolgere.

Riassumendo possiamo questi possibili vantaggi e svantaggi derivanti dall'utilizzo di un sistema MES in aziende manifatturiere modernamente organizzate:

### **Vantaggi**

- Maggior performance produttiva
- Minori tempi ciclo di produzione
- Immissione dati manuale ridotta eliminata
- Documenti tra reparti ridotti o eliminati
- Eliminazione documenti perduti
- Riduzione dei difetti del prodotto
- Riduzione WIP
- Adattamento ad eventuali

### **Imprevisti**

### **Svantaggi**

- Tempo di progettazione medio-lunghi e costi elevati
- Cambio delle politiche di produzione in alcune realtà
- Necessità di avere dati fedeli alla realtà

Nota. Il sistema informatico ERP (Enterprise Resource Planning) usato in collaborazione con il MES è un sistema di gestione che integra tutti i processi di business di un'azienda che può comprendere: vendite, acquisti, gestione del magazzino, contabilità. [Wikipedia]

## 4.MES orientato alla filosofia del Just In Time

### 1. Introduzione

Oggi le imprese sono guidate da una domanda di mercato caratterizzata da una forte concorrenza e tempi sempre più compressi. Da un lato, la produzione sta subendo una riduzione dei cicli di produzione e dei lotti; d'altra parte, aumentano la varietà dei tipi di prodotto e la loro personalizzazione, così come le richieste dei clienti cambiano rapidamente. Quindi, per mantenere un buon vantaggio competitivo, le organizzazioni leader in diversi settori industriali devono ottimizzare e rendere più efficienti i processi.

Un'iniziativa che un'azienda può intraprendere è l'implementazione di pratiche di Lean Manufacturing. Il termine è stato introdotto per descrivere la filosofia di lavoro impiegata nelle aziende giapponesi, con particolare riguardo alla Toyota. Questa metodologia si basa sull'eliminazione di processi caratterizzate da forma di spreco, al fine di concentrarsi su operazioni che creano valore aggiunto e produrre prodotti di alta qualità, al ritmo della domanda dei clienti. Un altro approccio, perseguibile anche in parallelo alla Lean Manufacturing, è l'implementazione di strumenti di automazione e IT (Information Technology), che consente di migliorare la pianificazione e il controllo dei processi, nonché di migliorare le prestazioni di ciascuna fase del processo di produzione. Come citato da *Gianluca D'Antonio* <<Il panorama delle classi di software e i loro scopi è cambiato nel corso degli anni, e si sta ancora evolvendo ad un ritmo elevato>>. Oggi, l'attenzione è rivolta all'integrazione e alla comunicazione tra i diversi strumenti di informazione e tra i sistemi distribuiti da diverse società (ad esempio, tra le aziende appartenenti alla stessa catena di approvvigionamento).

Per diversi anni, la produzione snella e gli strumenti IT sono stati considerati reciprocamente opposti, ma sappiamo da quanto scritto nel capitolo 1, che essi devono cooperare per poter "creare" dei benefici all'azienda. Da un lato, la filosofia cosiddetta snella si basa sul "meno è meglio": migliorare le prestazioni dell'azienda, l'inventario, la variabilità, la movimentazione dei materiali, con "zero rischi" nella pianificazione e "zero guasti" dei macchinari. Al contrario, la filosofia IT si basa sul



concetto di "più è meglio": strumenti IT consentono una migliore gestione di maggiori informazioni, nonché una maggior flessibilità. Tuttavia, le due classi di strumenti sono complementari sia nel concetto che nell'applicazione: gli strumenti IT possono essere considerati come un sistema di pianificazione di livello superiore, mentre "pratiche snelle" sono correlate al controllo dell'officina e alle attività di esecuzione.

Tuttavia, al fine di definire strategie di miglioramento e valutarne l'impatto, raccolta e analisi dati sono fondamentali ed obbligatorie e al giorno d'oggi l'adozione di metodologie per la Lean Manufacturing, ripetiamo, non può escludere l'integrazione degli strumenti IT. Quindi, negli ultimi anni, gli strumenti IT sono stati ampiamente adattati, aggiornati e ampliati per gestire il monitoraggio dei processi e le varie attività di controllo. In questo campo, i Manufacturing Execution Systems (MES) svolgono un ruolo chiave. Sono responsabili di:

raccogliere dati, eseguire analisi e inviare le informazioni risultanti. Allo stato dell'arte, però, manca ancora una globale metodologia per la diffusione del MES a supporto dell'implementazione di pratiche snelle.

## 2. Background

### 2.1. Manufacturing Execution Systems nella "produzione snella"

Di recente, lo sviluppo a basso costo di sensori piccoli e facilmente disponibili ha portato a una grande diffusione di sistemi di monitoraggio per valutare la qualità del prodotto e, soprattutto, per supportare il miglioramento del processo di produzione.

### 2.2. Lean manufacturing

La parola "Muda" in giapponese significa rifiuto: si riferisce a qualsiasi attività umana che necessita di risorse dedicate, ma non crea valore. Taiichi Ohno, un dirigente della Toyota, ha introdotto il concetto di Muda nella produzione per denotare queste attività, le forme di spreco. Per riconoscere le forme di spreco ci serviamo dell'acronimo TIM WOODS.

Time

Inventory

Movement

Waste

Over production

Over processing

Defects

Skills

Le fonti di spreco ,derivanti da un processo produttivo non efficace ,non aggiungono valore al prodotto: i clienti non sono disposti a pagare per loro e i produttori devono cercare di ridurli il più possibile per aumentare i profitti e migliorare la competitività. Un metodo sistematico per eliminare il “Muda” è appunto il “Lean Manufacturing”.

Cottyn ha sviluppato un primo framework per l’adattamento del MES a obiettivi definibili “snelli”. Ha definito una metodologia di Value Stream Mapping (aVSM) automatica: la aVSM beneficia delle informazioni fornite dal MES, poiché è una ricca fonte di informazioni e dati storici utile per definire azioni di miglioramento continuo. D'altra parte, il MES beneficia di aVSM perché non contiene informazioni relative al flusso di valori. L’analisi di Cottyn è stata validata anche attraverso casi studio condotti in aziende mobili e alimentari.

Tuttavia, manca ancora una metodologia per l'integrazione completa del MES nell'analisi dei dati e nel dispacciamento con pratiche snelle.

### 3. Metodologia

In questo paragrafo è riportato lo sviluppo e il funzionamento di una metodologia che consente al MES di supportare la Lean Manufacturing secondo quanto affermato da *Gianluca D’Antonio* .

Come indicato nella sezione precedente, i MES sono incaricati di prendere i dati come input, analizzandoli in modo appropriato e inviare i risultati. Questo approccio vale sia per il flusso di dati top-down (come ordini e target forniti dal livello aziendale da trasformare in pianificazione della produzione) sia per il flusso di dati bottom-up (le informazioni di feedback dall'officina). La metodologia indicata da *Gianluca D’Antonio* comprende tre fasi principali:

**1. Identificazione delle classi di “rifiuti” da affrontare:** i tipi di “Muda” che possono influenzare le prestazioni del processo sono identificati e classificati in base a diverse categorie.

**2. Descrizione del processo:** al fine di identificare le fonti di spreco e identificare possibili interventi per migliorare le prestazioni. E’ necessaria una descrizione ben strutturata ed esauriente del processo.

**3. Analisi dei dati:** per sviluppare tecniche matematiche per MES, l'origine dei dati di input, l'output di destinazione e la tecnica per trasformare i dati in informazioni devono essere definiti.

Il primo passo viene eseguito con il supporto del produttore, che è a conoscenza delle reali condizioni dei processi; le ultime due fasi sono descritte di seguito.

### 3.1. Descrizione generale di un processo di fabbricazione

Per definire un modello il più generale possibile, viene utilizzata una rappresentazione a più livelli. Si basa su due classi di elementi che collaborano per eseguire il processo di produzione: componenti e risorse. La prima classe è composta dagli articoli trasformati dal processo di fabbricazione per ottenere un oggetto (semi) finito. Viene adottata la definizione di risorse dalla norma ISO 15531 : "qualsiasi dispositivo, strumento e mezzo, tranne la materia prima e i componenti del prodotto finale, a disposizione dell'impresa per produrre beni o servizi ". *Gianluca D'Antonio*, nel suo articolo, ritiene che entrambi i gruppi sono fatti di oggetti fisici e informazioni e possono essere ulteriormente classificati come le seguenti voci di input o output.

**Componenti di input.** Per affrontare meglio la categorizzazione, questo gruppo può essere suddiviso nei seguenti sottogruppi:

**-Fornitori.** Forniscono materie prime o parti semilavorate da elaborare ulteriormente. Possono essere partner esterni e/o processi di produzione a monte all'interno della stessa azienda. Insieme all'oggetto fisico, deve essere fornita una serie di informazioni, come le proprietà delle parti fornite (ad es. la composizione e le proprietà , chimiche, meccaniche ed elettriche dei materiali) nonché la loro storia di fabbricazione (quando ogni parte è stata prodotta, dove e chi erano i fornitori). Inoltre, i vincoli del fornitore devono essere noti

(ad es. capacità di fornitura, costi e reattività a nuovi ordini). Queste informazioni devono essere gestite e inviate dall'ERP.

**-Pianificazione.** Questa classe di input consiste in informazioni necessarie per pianificare la produzione e, quindi, per controllare l'officina. In un sistema di produzione push, il tempo di inter-arrivo e la variabilità per i componenti di input devono essere valutati, così come le dimensioni del lotto da produrre. Al contrario, in un sistema pull, informazioni sulla

domanda dei clienti (quantità media desiderata per unità di tempo e variabilità) deve essere fornita. Il MES è responsabile di queste informazioni, poiché è responsabile dell'ottimizzazione della pianificazione e del flusso di produzione.

**-Design.** La terza classe di input è correlata alle istruzioni necessarie per produrre le parti: materiali, macchine, parametri, posizione del pezzo nell'area di lavorazione. Inoltre, le tolleranze da soddisfare e le dimensioni del prodotto finito devono essere note. Queste informazioni sono memorizzate sia nel PLM (Product Lifecycle Management) che nel MES.

**Componenti di output.** È possibile identificare due sottogruppi:

**-Prestazione.** Il processo fornisce, ovviamente, i prodotti (semi) finiti, insieme a una serie di indicatori per caratterizzare la linea: tra questi, il tempo di ciclo, il lavoro in corso, la portata, le code, l'utilizzo medio delle macchine, la loro disponibilità, l'incidenza di guasti. Questi dati possono essere memorizzati e ulteriormente analizzati per sintetizzare il comportamento della linea su scale temporali di interesse.

**-Qualità.** Le informazioni sulla qualità del prodotto stanno diventando obbligatorie per i produttori. Può derivare da un semplice test "passa o non passa" o da un sistema di monitoraggio più complesso basato sull'impiego di sensori.

Inoltre, è possibile ottenere informazioni sulla qualità sia da test online che da verifiche off-line, attraverso ispezioni eseguite in aree dedicate dopo il processo di produzione (ad es. misurazioni metrologiche eseguite in un ambiente controllato). Possono essere necessarie informazioni sull'incidenza di rilavorazioni e scarti.

Le informazioni sulla performance e sulla qualità sono gestite dal MES.

**Risorse di input.** È possibile definire i seguenti due gruppi:

**-Riutilizzabile.** Questo gruppo include tutte le risorse che possono essere riutilizzate nel processo di produzione dopo l'utilizzo di una parte. Tra tali risorse vi sono gli operatori, i mezzi di trasporto e la macchina; alla fine, potrebbe essere necessaria un'operazione di configurazione per ripristinare lo stato iniziale della risorsa. Le informazioni relative allo stato delle risorse all'inizio del processo di fabbricazione devono essere immagazzinate.

**-Monouso.** Questo gruppo raccoglie le risorse utilizzate ai fini del processo di produzione e non possono essere riutilizzati o ripristinati: ad esempio l'energia e i fluidi utilizzati dalla macchina o dallo strumento, che devono essere sostituiti dopo un numero finito di operazioni di produzione.

**Risorse di output.** Anch'esse possono essere divise nelle stesse categorie appena citate:

**-Riutilizzabile.** Le quantità di output fisiche sono le stesse fornite in input. Tuttavia, le operazioni di produzione hanno cambiato il loro stato: quindi, le informazioni su di esso dopo il processo devono essere raccolte.

**-Monouso.** Data la natura di questi componenti, nulla può essere raccolto alla fine del processo, tranne gli scarti. Devono essere raccolte informazioni sul consumo del processo.

I dati acquisiti prima e dopo il processo devono essere confrontati per valutarne l'impatto e i costi reali. Lo strumento incaricato di questo compito è il MES: raccoglie informazioni in officina, le analizza e fornisce un rapporto a livello aziendale, al fine di verificare se il processo funziona o meno in una condizione economicamente sostenibile.

### 3.2. Metodologia per l'analisi dei dati

Uno degli obiettivi di un MES è quello di incorporare tecniche matematiche intelligenti per trasformare i dati in preziose informazioni.

In letteratura, vengono fornite diverse definizioni per dati e informazioni. Gli autori concordano nel dichiarare che i dati sono osservazioni discrete non organizzate e non elaborate, e quindi senza alcun significato specifico.

Al contrario, le informazioni sono fornite da dati formattati che possono essere definiti come una rappresentazione della realtà [1].

Il paradigma popolare per la trasformazione dei dati in informazioni è fornito dalla gerarchia DIKW (Data - Information - Knowledge - Wisdom)[2]: è spesso rappresentata come una piramide con i dati alla base e il giudizio all'apice; ogni livello di questa gerarchia è il precursore essenziale per quello sopra. Tuttavia, mentre la distinzione tra dati e informazioni è chiara, c'è meno accordo sui processi che convertono il

primo dei fattori citati nell'ultimo. Pertanto, la definizione rigorosa di una tecnica per analizzare e organizzare i dati raccolti gioca un ruolo chiave. La metodologia per l'analisi dei dati introdotta da *Gianluca D'Antonio*, consiste nelle cinque fasi chiave descritte a seguire. Questa viene, però, estesa e generalizzata al fine di gestire i sistemi di monitoraggio e controllo integrati nella produzione di macchine e l'analisi di qualsiasi tipo di dati raccolti in officina. Quindi identifichiamo:

**Fonte di dati.** Innanzitutto, devono essere definiti i dati necessari per eseguire l'analisi e le relative fonti. In officina è possibile distribuire diversi tipi di dispositivi per raccogliere dati. Innanzitutto, il PLC (controllore logico programmabile) della macchina coinvolta nel processo può fornire dati utili riguardanti, ad esempio, la posizione e gli errori degli assi, il movimento degli assi e del mandrino. Inoltre, è possibile integrare diversi tipi di sensori nelle macchine per raccogliere dati relativi al processo di qualità e allo stato dello strumento. Nei processi di lavorazione, la maggior parte dei sensori impiegati sono dinamometri, accelerometri, termometri, sensori di emissione acustica e corrente.

I sensori possono essere utilizzati sia online, mentre è in corso il processo, sia offline, ad esempio per valutare la qualità di un pezzo finito (ad es. dimensioni geometriche, resistenza meccanica, proprietà elettriche); ovviamente, la raccolta dei dati forniti dai sensori può essere usata e le loro informazioni possono essere integrate per avere un quadro più esaustivo.

**Elaborazione dei dati e generazione di funzionalità.** Il secondo passo consiste nella scelta della tecnica matematica per analizzare i dati raccolti. L'obiettivo del trattamento dei dati è trasformare i dati, indipendentemente dalla fonte, in informazioni attraverso la generazione di un set finito di funzionalità. Pertanto, la scelta e l'implementazione di un'appropriata tecnica di elaborazione è obbligatoria per una corretta interpretazione dei dati e per una strategia decisionale di successo.

Principalmente, possono essere utilizzate due classi di tecniche di elaborazione dei dati. Il primo consiste in modelli matematici, basato su approcci deterministici o statistici. Questa tecnica è utile quando il sistema analizzato non è complesso e il suo comportamento è pienamente noto. In particolare, l'approccio statistico è efficace nel gestire un enorme quantità di dati ed è ampiamente utilizzato, ad esempio, con i dati acquisiti da un set di sensori.

La seconda classe di tecniche di elaborazione dei dati consiste in strumenti di simulazione: sono preferibili quando la descrizione analitica del sistema è molto complessa. I dati forniti in input alla simulazione possono essere offerti

da diverse fonti: i dati teorici (o previsti) possono essere utilizzati per valutare il comportamento del sistema in situazioni standard; dati reali, raccolti in officina sono utili per essere consapevoli della reazione del sistema nella situazione corrente.

**Estrazione delle caratteristiche e processo decisionale.** Il ruolo della tecnica di elaborazione dei dati è di sintetizzare i dati raccolti in un set più piccolo di funzionalità informative; tuttavia, alcuni di essi potrebbero non essere significativi o affidabili nel prendere decisioni e quindi dovrebbero essere scartati. Inoltre, è possibile estrarre nuove funzionalità significative combinando alcuni parametri: gli indici complessivi possono essere ottenuti mediando le caratteristiche, generando superfici di risposta o confrontando lo stato atteso con le condizioni reali di un processo o di un prodotto.

Infine, è necessario definire una strategia per il processo decisionale, in base ai risultati dell'estrazione delle funzionalità.

La decisione può essere presa automaticamente da un algoritmo in grado di scegliere i valori, partendo da un insieme di parametri al fine di ottimizzare una determinata metrica. In alternativa, l'algoritmo può fornire suggerimenti a un operatore e lasciandolo libero di eseguire la sua funzione. Inoltre, l'algoritmo decisionale dovrebbe anche fornire una stima dello stato del processo dopo tale intervento, per valutare l'impatto sulle prestazioni del processo.

### 3.3. Metodologia: strumento schematico

I tre passaggi descritti nelle sezioni precedenti sono stati sintetizzati in uno schema unico, rappresentato dalla struttura mostrata in figura.

Nella figura, i caratteri neri rappresentano le informazioni; il verde è usato per le quantità fisiche.

Lo strumento, qui presentato, ha un duplice scopo. In primo luogo, può essere utilizzato come guida per integrare MES e “approccio lean” in un processo specifico. Lo schema deve essere riempito in senso orario: innanzitutto, le fonti di rifiuti devono essere identificate e poi evidenziate; successivamente, il processo deve essere accuratamente descritto; infine deve essere progettata la tecnica per l'analisi dei dati. Il secondo scopo di questo schema è quello di fornire all'utente una sintetica ed esauriente panoramica del processo in gioco.

Schema usato nella metodologia  
 (Gianluca D'Antonio, 2017, Science  
 Direct)

a.

Process description				
C O M P O N E N T S	Suppliers Gears leaving the heat treatment Gears ID & part type	I N P U T	Reusable Operators Centering machine Current state	R E S O U R C E S
	Planning Batch size: 1 Interarrival times & variability		Disposable Energy Lubricants & compressed air Countersinks Finishing tool Current state	
	Design Part dimensions Tolerance types & values Working parameters	O U T P U T	Reusable Operators Centering machine Current state	
	Performance Finished gears Cycle time, work in process, throughput Failures incidence		Disposable Worn out tool Resource consumption	
Quality Residual geometrical error Conformity to tolerances Incidence of non-conformities				
<b>Wastes</b>		<b>Data-analysis</b>		
Overproduction		Data source	Four displacement transducers	
Waiting	✓	Data processing	Least-squares interpolation	
Transport		Feature generation	Coordinates of the centers of the sections	
Extra processing		Feature extraction	Eccentricity and runout errors	
Inventory	✓	Decision making	Part rotation to minimize the sum of residual errors	
Motion				
Defects	✓			

[1](J. Valacich, C. Schneider, Information systems today, fifth ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, 2011)

[2]( R. Ackoff, From data to wisdom, Journal of Applied Systems Analysis 16 (1989) )

## 4.1 SISTEMA MES E JIT: CASO AZIENDALE

Per dimostrare la metodologia presentata , si è analizzato il processo di rettifica degli ingranaggi in un'azienda produttrice di componenti utilizzati in ambito aeronautico e come base di analisi è stata utilizzata la tabella a matrice di cui sopra .In relazione a quanto espresso da *Gianluca D'Antonio* distinguiamo una sequenza di step da seguire.

**Step 1. Processo e rifiuti.** il processo di rettifica degli ingranaggi è critico per un'azienda produttrice di componenti aeronautici. I pezzi prodotti devono avere tolleranze minime e la precisione è uno dei requisiti fondamentali sia del processo sia del prodotto. Per di più, questa attività è molto costosa rispetto alle altre lavorazioni meccaniche, e quindi dovrebbe essere eseguita in condizioni ottimali. L'operazione manuale stabilita consiste in due passi. Innanzitutto, viene eseguita un'attività di pre-elaborazione per identificare



l'asse del pezzo che minimizza le distorsioni geometriche. Questa azione viene eseguita finendo i due svasatori dell'ingranaggio, che vengono utilizzati per posizionare la parte nella rettificatrice. Quindi, viene eseguita la rettifica degli ingranaggi. A valle del processo, gli operatori hanno evidenziato un tasso eccessivo di parti difettose; ciò ha comportato costose operazioni di rilavorazione, una variabilità temporale del processo e di conseguenza l'aumento dei tempi di attesa e della quantità dei materiali di produzione in transito.

**Step 2. Descrizione del processo.** Dopo aver identificato i 'rifiuti' che incidono sul processo, bisogna definire una completa descrizione del processo stesso. I componenti di input sono gli ingranaggi che escono dal trattamento termico a monte; gli ingranaggi appartengono a una serie finita di famiglie di parti ben note e vengono rettificati uno a uno. La qualità delle parti in uscita sono misurate attraverso tolleranze funzionali: concentricità residua per le sedi dei cuscinetti e gli ingranaggi, e Run-out assiale totale della superficie laterale; l'intervallo di tali tolleranze, definito nella norma ISO 1101, è compreso tra 0,05-0,1 mm. Le prestazioni del processo vengono misurate attraverso indicatori consolidati: tempo di ciclo, lavoro in corso e produttività. Per eseguire il processo, è necessario un operatore qualificato per monitorare il corretto posizionamento del pezzo nella macchina.

Al fine di migliorare le prestazioni complessive del processo di rettifica, l'azienda ha lavorato contemporaneamente su due fronti: un nuovo sistema che permettesse un migliore posizionamento dei pezzi all'interno della macchina di rettifica, ed una migliore e più accurata tecnica matematica. Principalmente, l'ingranaggio viene inserito in una macchina di produzione per finire due superfici con l'obiettivo di definire un nuovo sistema di riferimento per la parte che minimizzi l'errore geometrico residuo.

**Step 3. Analisi dei dati.** Innanzitutto, sono state selezionate le fonti per l'acquisizione dei dati. Date le rigorose esigenze di qualità, i trasduttori di spostamento vengono utilizzati per misurare il profilo dell'ingranaggio in cui sono impostate le tolleranze. Per eseguire la misurazione, viene effettuata una rotazione dell'ingranaggio attorno all'asse della macchina. Dal momento che le tolleranze sono strette, sono stati utilizzati sensori ad alta riproducibilità (30  $\mu\text{m}$ ) ed è stata impostata un'alta velocità di acquisizione (3600 punti / giro). Dopo l'acquisizione, i dati vengono elaborati: per ridurre al minimo l'impatto del rumore di misurazione e quindi degli errori, viene fatta un'interpolazione dei minimi quadrati per ciascuno dei profili raccolti. In particolare, le tre sezioni radiali (vale a dire l'ingranaggio e le sedi dei cuscinetti) sono interpolati attraverso ellissi dei minimi quadrati e le coordinate del loro i centri vengono estratti e poi analizzati. Dato il costo delle parti prodotte, il produttore è interessato a sfruttare il più possibile le

tolleranze funzionali, al fine di ridurre al minimo la quantità di parti scartate. Viene definita una funzione che raccoglie gli attuali errori di posizionamento. Questa funzione si basa su due variabili indipendenti, corrispondenti alle due rotazioni delle parti che possono essere eseguite per correggere la posizione dell'ingranaggio nella macchina. Infine, la funzione obiettivo è ridotta al minimo per ridurre il più possibile l'errore di posizionamento residuo; i valori calcolati per le due rotazioni possibili sono forniti alla macchina al fine di correggere la posizione dell'ingranaggio all'interno dell'area di lavorazione.

**Il ruolo del MES.** L'integrazione di questo sistema di monitoraggio e controllo con un MES ha consentito di analizzare e utilizzare i dati raccolti a diverse scale temporali con scopi diversi. A breve-medio termine, il MES ha permesso di verificare se il processo fosse stabile o meno. Inoltre, quando si sono presentati i primi sintomi di instabilità, il MES ha consentito di prevedere quando il processo sarebbe stato fuori controllo arrivando a produrre parti di bassa qualità. Pertanto, gli interventi possono essere pianificati secondo un approccio preventivo, tenendo anche conto di ulteriori vincoli, come la disponibilità degli operatori o i tempi di inattività già pianificati. Questo tipo di previsione è utile per evitare la produzione di parti che saranno respinte, riducendo così gli sprechi. A lungo termine, invece, le 'informazioni MES' possono essere ulteriormente analizzate per: identificare le fonti di problemi e "rifiuti", estrarre tendenze storiche e sintetizzare le criticità. Questa funzionalità è fortemente supportata dall'integrazione di un sistema di tracciabilità : in questo caso studio, ogni pezzo è identificato da un unico ID. Informazioni relative a ciascun ingranaggio, come ad esempio l'ora in cui si verifica l'operazione di centraggio, possono essere raccolti e archiviati in un database. Queste informazioni possono essere utili per monitorare i risultati del processo di centratura nel tempo e identificare i motivi di possibili decadimenti o derive. E' importante, però, eseguire un'attenta analisi di questi dati raccolti durante il processo analizzato. Infatti, un "semplice" problema sulla centratrice, potrebbe rivelare problemi ed inefficienze in processi a monte. Per questo motivo, i risultati dell'analisi dovrebbero essere condivisi con altri dipartimenti dell'azienda. Ad esempio, il dipartimento di progettazione può utilizzare questa pratica basata sull'esperienza per migliorare la predisposizione di un prodotto. Le informazioni di feedback fornite dal MES supportano il controllo e la

validazione di nuovi processi e/o prodotti rilasciati. Ciò, a sua volta, consente l'implementazione di pratiche kaizen per un miglioramento continuo, come ad esempio il “Ciclo PDCA”.

## 1. Conclusioni

Facendo il punto della situazione, da *Gianluca D'Antonio* rileviamo che sono stati sviluppati alcuni casi studio per mostrare il possibile ruolo del MES nel continuo miglioramento delle “pratiche snelle”. La metodologia introdotta in precedenza si concentra principalmente sui flussi del processo; tuttavia, il MES è il “deposito” di una grande quantità di informazioni riguardanti sia il prodotto che il processo, che ha un ruolo fondamentale nell'attuazione dell'approccio di Lean Manufacturing, ma spesso è fermo e inesplorato. La metodologia presentata nella sezione precedente ha come scopo quello di ovviare a questo problema fornendo un approccio strutturato. Questo grazie anche ad uno strumento grafico utile a supportare l'utente nell'esecuzione corretta di tutti i passaggi necessari. Il caso studio osservato rappresenta un processo di produzione in un campo che richiede elevati standard qualitativi di prodotto. La metodologia ha consentito di progettare un sistema per il posizionamento del pezzo, all'interno di una macchina di produzione, con precisione e riproducibilità migliorate, con conseguente miglioramento nella prevenzione di problemi che possono influire sulla qualità del pezzo e determinarne il rifiuto. Questo, consente di ridurre le attività necessarie per migliorare la qualità dell'output, come le operazioni di rilavorazione con conseguente perdita di tempo. I test eseguiti permettono di osservare che è possibile ottenere una riduzione del 50% della realizzazione di pezzi con problemi che richiedono una rilavorazione (o che devono essere scartati) e una possibile riduzione dei tempi di attraversamento del 40%.

## 5.MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM:APPLICAZIONI “RFID”

### 1. Introduzione

Il Manufacturing Execution System (MES) svolge un ruolo importante nel supportare le piccole e medie imprese (PMI) per le loro operazioni di produzione quotidiane. Le imprese delle PMI si basano tradizionalmente su un sistema operativo basato su carta. Con il rapido aumento della tecnologia, è quasi garantito che questo verrà sostituito da MES intelligenti più efficienti e affidabili. Questo capitolo presenta un sistema di produzione in tempo reale abilitato RFID (Radio-frequency identification) che incorporerà cinque funzioni come indicate da *Sherwin Menezes*. «Queste cinque funzioni saranno integrate ad un'interfaccia Android che scrive e legge i dati in un database basato su cloud in tempo reale». La tecnologia NFC (Near Field Communication) viene anche utilizzata per migliorare la facilità d'uso . L'obiettivo è promuovere la comunicazione all'interno di un'azienda, migliorare la qualità dei prodotti, ottimizzare la memorizzazione dei dati e ridurre gli sprechi di carta.

### 2. Smart MES

Architettura di uno smart MES (Sherwin Menezes, 2018)

#### 2.1. Smart Machines



La fonte (*Sherwin Menezes, 2018*) presenta lo smart MES nei processi produttivi e, di seguito, ne spiega l'architettura e il funzionamento. Il layer

fisico dell'architettura include diversi sub-layer costituiti da vari componenti. In primo luogo si distinguono, i tag RFID (radio-frequency identification) ad alta frequenza, presenti in molti componenti e macchine. In secondo luogo si hanno i componenti critici, utensili da taglio , controller della macchina e dati di acquisizione. Questi possono portare sensori diversi in modo che il loro stato possa essere monitorato in tempo reale e tracciato. Tipicamente macchine e robot possono usare strumenti diversi per processi diversi. Quindi sono identificati da dispositivi RFID

I servizi di report delle statistiche elettroniche consentono di monitorare i progressi della produzione tramite il proprio smartphone. Le interfacce personalizzate possono essere progettate per applicazioni e condizioni diverse, come la pianificazione e la valutazione della programmazione della produzione in alta stagione. Il terzo sub-layer include tutti i materiali e risorse fondamentali utilizzati per creare il prodotto finale. Questi materiali devono ,tuttavia, avere dimensioni e numero finiti fissi per avere un tag RFID associato. I materiali sono di solito consegnati ad un'officina con una dimensione impostata senza un ordine preciso. I materiali sfusi possono essere quindi raggruppati in lotti e associati ai tag, pronto per l'uso. Le materie prime spesso risiedono in forme irregolari o grandi dimensioni in quantità sconosciute.

Ciò può richiedere ad un lavoratore un'elaborazione di una materia prima ad una dimensione stabilita e un raggruppamento in quantità gestibili prima di collegarle a un tag RFID. Ogni lotto potrebbe quindi essere utilizzato per creare un numero finito di schede composite, senza eventuali avanzi. I tag RFID svolgono un ruolo fondamentale nella conversione di materiali e risorse in oggetti "smart" in modo che possano essere utilizzati in un sistema MES. Pertanto, le loro procedure decisionali e i flussi operativi potrebbero essere riprogettati e razionalizzati dalla soluzione abilitata per IoT. (Sherwin Menezes, 2018)

## 2.2. Produzione in officina

L'intero quadro è composto da elementi tangibili e intangibili. L'officina manifatturiera rappresenta uno degli elementi tangibili richiesti dagli utenti finali, in particolare gli operai e i loro dirigenti. Questi includono un dispositivo, dotato di un lettore/scrittore RFID in esecuzione su un sistema operativo Android e con connessione Internet wireless che collega i telefoni al cloud. Contiene anche un database di backup che può registrare informazioni nel caso in cui ci fosse una rottura nella connessione di rete al cloud. Il database di backup può memorizzare l'elenco dei lavori per diversi giorni. L'officina di produzione funge da centro di connessione, collegando gli Utenti finali e i Livelli fisici al MES basato su cloud.

## 2.3 Utilizzatori finali

Gli utenti finali sono tutte le persone che possono influenzare e utilizzare il MES basato su cloud, questi sono generalmente i lavoratori e i responsabili dell'officina. I gestori del workshop hanno ulteriori strumenti e impostazioni che possono essere utilizzati per apportare modifiche e migliorare così le prestazioni dell'officina. Inoltre aggiungono nuovi lavori al loro elenco e modificano quelli già esistenti, ma soprattutto visualizzano gli indicatori di analisi delle prestazioni per diversi aspetti del processo di produzione. I membri esecutivi dell'azienda, possono utilizzare i report sulle prestazioni, creati dal MES ,per comprendere le tendenze della produzione in modo tale da utilizzarli ,mentre i dipendenti del settore finanziario, utilizzano altri sistemi IT come i software per la pianificazione delle risorse aziendali , utilizzati per controllare le risorse dell'azienda, ridurre i costi e migliorare la produttività. Un MES basato su cloud potrebbe facilmente sincronizzarsi con altri sistemi IT, aumentando l'intera connettività all'interno di un'azienda.

## 3. Servizi chiave

### 3.1. Middleware RFID

Il middleware RFID è una delle caratteristiche più importanti del MES. È responsabile dei servizi che gestiscono i dati grezzi così come la

comunicazione tra dispositivi. Sono associate due principali funzionalità ai servizi di raccolta ed acquisizione dati e gestione della manutenzione. La raccolta dei dati è essenziale per la corretta attuazione di sistemi di esecuzione della produzione. Le tradizionali operazioni su carta, sono spesso soggetti a errori e quindi incapaci di far fronte ai piani di lavoro dinamici. Questi problemi sorgono principalmente a causa della raccolta prematura di informazioni che può essere evitato mediante la corretta implementazione dell'RFID abilitato a dispositivi intelligenti come lavoratori, macchine e risorse. Una volta raccolti, questi dati vengono organizzati in informazioni che possono essere utilizzate in modo da consentire un feedback adeguato che dovrà poi essere rispedito. A causa della natura dell'RFID, molte misure di sicurezza devono essere messe in atto per prevenire la perdita di dati.

### 3.2 Servizi di pianificazione e produzione

I servizi di pianificazione e programmazione forniscono una guida adeguata per l'ottimizzazione di processi e operazioni. Questo servizio affronta due funzionalità: la gestione dei processi/operazioni e la programmazione dettagliata. La gestione dei processi è il metodo usato per definire il processo che dovrebbe "avere" la materia prima quando diventa un prodotto finale, considerando che l'operazione di pianificazione dettagliata viene utilizzata per determinare quando e come dovrebbe verificarsi il processo.

Quando i lavori vengono registrati, i manager inseriscono le informazioni in ordine di priorità, importanza e processo di lavorazione da utilizzare.

Il servizio middleware dovrebbe quindi raccogliere e organizzare tali dati nel miglior modo possibile che può essere calcolato tramite un metodo ottimale. Questo sarebbe formulato per ogni istanza usando un insieme di regole o logiche governate dai parametri di input e dai dati in tempo reale.

Una volta che il metodo di processo è noto, le operazioni e la programmazione dettagliata possono essere generate e inviate ai lavoratori. Questo prenderebbe in considerazione i vincoli, come le date di scadenza poste dai clienti.

### 3.3 Visibilità e monitoraggio in tempo reale

Lo scopo di questo servizio è di migliorare lo scambio di informazioni per quanto riguarda le decisioni relative alla pianificazione e al controllo in tempo reale dei materiali. Devono essere intrapresi diversi passaggi per avere successo. Questo include la tempestiva raccolta dati e la loro interpretazione, inclusi i feedback di informazione.

La raccolta tempestiva di dati è gestita dal servizio middleware e aiutato dalla corretta distribuzione di tag RFID. Le informazioni organizzate raccolte dall'app vengono utilizzate per creare informazioni significative che possono essere presentate in maniera grafica. I gestori o altri utenti autorizzati possono visualizzare la situazione corrente dell'officina e tener traccia o modificare l'allocazione della risorsa. Questo per assicurarsi che qualsiasi decisione presa, possa essere presa in tempo reale.

## 4. Interfaccia utente

L'interfaccia utente è stata progettata per essere semplice e intuitiva considerando che la maggior parte degli utenti sono in genere persone anziane che potrebbero non aver familiarità con la tecnologia. Di solito ci sono due o più versioni dell'app a seconda dell'utente che dovrà usarla e dei dati che dovrà analizzare o controllare, precisamente uno per il lavoratore generale e uno per manager e impiegati di livello superiore. Entrambe le versioni sono essenzialmente le stesse. L'unica differenza chiave è che i manager devono saper aggiungere, modificare e visualizzare ulteriori informazioni, come l'assegnazione delle priorità di un lavoro, prestazioni di visualizzazione, ecc. Le diverse schermate erano inizialmente progettate su BlasamIQ, uno strumento di progettazione dell'interfaccia. Ogni schermo segue lo stesso layout di base ove possibile. Questo insieme dell'applicazione, previsto per l'uso quotidiano, dovrebbe aumentare la familiarità che serve a promuovere l'usabilità.

### 4.1. Login

Corrisponde alla prima schermata che gli utenti vedranno all'avvio dell'applicazione, ovvero la pagina di accesso. Questo si lega all'aspetto della sicurezza di Firebase in quanto confronterà le informazioni RFID



dalla carta d'identità del dipendente, con le informazioni nel database. Esso accederà quindi all'app o visualizzerà un messaggio di errore con maggiori informazioni. Altri dettagli come data, ora e posizione vengono registrati. Ciò aumenta la robustezza dell'applicazione poiché significa che gli utenti non possono provare a modificare i dati accedendo da casa o in un secondo momento

## 4.2. Job list

Una volta eseguito il login, si accede alla lista delle lavorazioni abilitate. Questa pagina utilizza il layout di base menzionato in precedenza. Il contenuto invece elenca i lavori specifici assegnati all'utente registrato. Le informazioni sul lavoro vengono visualizzate in schede, che vengono popolate utilizzando adattatori personalizzati. Questi adattatori prevedono matrici di informazioni sul lavoro ottenute dal database, che verrà ordinato utilizzando la formula semplificata:

$$\underline{n = 0,8d + 0,2p}$$

d= n. giorni dall'assegnazione del lavoro

p=suo numero di priorità

Un valore n più alto significherebbe che il lavoro sarebbe più in alto nell'elenco. La formula sopra mette enfasi sulla "d" in quanto è dannosa per la reputazione se il cliente ha continuato ad aspettare a lungo.

Un pulsante "Aggiungi lavoro" è disponibile anche per la versione dell'applicazione del manager. Questo aggiunge flessibilità in quanto consente al manager di reagire a cambiamenti nei lavori improvvisi o se i lavori vengono annullati inaspettatamente.

Quando l'utente seleziona un lavoro, verrà reindirizzato a una pagina contenente informazioni specifiche per quel lavoro. Di solito la prima schermata specifica per il lavoro è la schermata "Panoramica", questa pagina visualizza una barra di avanzamento, le risorse necessarie e un pulsante di scansione. Quando l'utente clicca il pulsante di scansione, l'applicazione inizierà la ricerca dei tag RFID, se legge un tag pertinente alle risorse allocate selezionerà la casella. Nel momento in cui la risorsa viene controllata, verrà aggiornato il database spostando "l'importo/quantità" desiderato da "INVENTARIO" a "LAVORI IN CORSO".

Si possono impostare anche le posizioni delle risorse anche la posizione delle risorse per l'ID utente, fornendo così aggiornamenti in tempo reale che sono tracciati. Non appena viene selezionata l'ultima risorsa, la barra di avanzamento partirà e inizierà un timer interno.

La barra di avanzamento seguirà il tempo previsto per il lavoro, come determinato dal software ERP, mentre il timer interno registra l'effettivo tempo richiesto. Queste informazioni possono quindi essere utilizzate per aggiornare il rendimento dell'utente.

Altre schermate includono istruzioni, sicurezza e qualità .

Da notare lo schermo di qualità, che avrà un pulsante "Fine" che, quando selezionato, avvia lo scanner RFID dopo aver verificato se i parametri di qualità sono rispettati. Il prodotto finale scannerizzato, aggiorna lo stato delle risorse utilizzate.

### 4.3 Gestione delle risorse

La pagina delle risorse conterrà tre schede: inventario, avanzamento lavori e dipendenti. Alla pagina dei dipendenti può accedere solo un utente a livello manager. Su questa pagina, verrà visualizzato un grafico a seconda delle tre opzioni scelte dall'utente.

Il manager può visualizzare la situazione dei giorni precedenti, purché i dati siano disponibili. Il problema con questo è che poiché l'applicazione si basa sul software superiore ERP, i dati richiesti dovrebbero essere inviati come file al database di archiviazione da cui verranno scaricate e analizzate in informazioni utilizzabili. I dati forniti dal software ERP possono esistere in una varietà di formati che dovrebbero essere gestiti individualmente.

### 4.4. Discussioni

L'interfaccia dell'applicazione Android basata su cloud , supporta molte delle principali funzionalità MES. Utilizzando l'RFID la tecnologia semplifica la digitalizzazione delle risorse e la loro memorizzazione in un database. La pagina "Elenco lavori" visualizza i lavori in ordine di priorità. Questo organizza l'orario e assicura che il lavoratore segua il programma più ottimizzato. Quando il lavoratore accetta un lavoro, usa l'RFID per scansionare e raccogliere risorse. Quando viene raccolta una risorsa, il database viene aggiornato in tempo reale. L'aggiunta di funzioni di

sicurezza relative al lavoro mantiene la sicurezza del lavoratore come priorità. Utilizzando “RecyclerView” e “Firebase Storage” l'applicazione può visualizzare una varietà di contenuti, come immagini, video e file audio. Questo dà all'interfaccia un design altamente modulare, che consente all'azienda di visualizzare le informazioni che ritengono più importanti.

## 5. Conclusioni

Questa applicazione, fornita da *Sherwin Menezes*, offre uno strumento MES “intelligente” finalizzato alla produzione di piccole e medie imprese (PMI). Il lavoro futuro raccomandato può essere suddiviso in due distinti percorsi. Il primo dovrebbe concentrarsi sulla modularità o adattabilità dell'applicazione che non è stata completamente implementata per scarso tempo a disposizione e ridotti budget dedicati allo sviluppo. Questo richiede la compressione e l'integrazione delle informazioni fornito da più sistemi ERP. Il secondo percorso si concentrerebbe sullo spostamento da una sola applicazione di interfaccia verso un'applicazione MES più autosufficiente. In questo caso sarebbe richiesta molta più ricerca da questo percorso in quanto diventerebbe necessario formulare modelli matematici per la pianificazione e la programmazione in tempo reale e gestione dei processi.

## **6.COOPERAZIONE CON I CPS:METODO “OLONICO”**

### 1. Introduzione

Oggi i sistemi di controllo forniscono informazioni molto dettagliate sul processo di produzione sottostante. Queste informazioni sono ulteriormente utilizzate dai sistemi di Business Intelligence, localizzati a livello aziendale. Inoltre, le decisioni prese a livello aziendale devono essere eseguite dal management grazie ai dati provenienti dai sistemi di controllo. I Manufacturing Execution Systems (MES) sono interfacce orientate ai servizi che collegano il mondo delle operazioni aziendali con il mondo della produzione. I classici MES sono definiti da una gerarchia statica di servizi e strutture di dati, che li rende molto difficili da modificare. Ad esempio, un eventuale cambiamento dell'organizzazione

della produzione, diventa un processo sfidante per l'adattamento del MES. In generale, un qualsiasi cambiamento organizzativo e procedurale nelle attività produttive, richiede una riprogettazione (totale o parziale) del MES che necessita di essere configurato ed interfacciato in modo corretto per fornire gli output necessari alla pianificazione e controllo della produzione. Anche l'evoluzione tecnologica di sistemi e strumenti, impatta in modo considerevole nella struttura e nella stabilità un sistema MES [1]. Ad esempio con l'emergere del concetto di Cyber Physical Systems(CPS) . I CPS sono formati da reti di entità operative distribuite che regolano il processo di produzione. Il MES deve seguire questa idea attraverso nuove soluzioni architettoniche. Un nuovo approccio all'architettura del MES è inoltre indispensabile per supportare la produzione agile. In questo caso si propone un'architettura eterarchica MES basata su un sistema multi-agente progettato per cooperare con il CPS. Nel caso della produzione in serie corta, la tecnologia di produzione viene spesso modificata, gli strumenti di produzione devono essere adattati a prodotti specifici e l'organizzazione del processo deve seguire questi cambiamenti al fine di evitare o ridurre le perdite derivanti da intervalli di tempo non produttivi [2]. Inoltre, il time-to-market e il tempo di sviluppo del prodotto sono diventati aspetti critici dei processi di innovazione. In tal caso, i vantaggi offerti dal MES a supporto della produzione possono essere molto più importanti per le imprese che nel caso della produzione di massa. Il CPS migliora la disponibilità di informazioni sullo stato di avanzamento del processo di produzione richiesto dal MES. D'altra parte, il MES può aiutare il CPS nella pianificazione e organizzazione della produzione. Una cooperazione adeguata tra MES e CPS è particolarmente importante nel caso della produzione in serie corta. I risultati ottenuti mostrano che i MES non comportano solo spese iniziali tarate da compromessi fra tempo, costi e qualità nella fase di analisi, progettazione e prima implementazione, ma che comportano anche ulteriori spese di sviluppo, inclusa l'integrazione interfunzionale (sia interna che esterna) che incide sostanzialmente sulla redditività del prodotto attraverso un mix di effetti diretti e immediati [3]. Tale integrazione non può essere raggiunta in modo efficace solamente con il sostegno del MES. I suddetti fattori indicano che i sistemi di esecuzione della produzione dovrebbero seguire i

cambiamenti nella produzione. Il MES non dovrebbe più essere un software IT chiuso e fisso, ma deve essere creato come set flessibile e aperto di servizi che interagiscono con il sistema di produzione fisico. I MES contemporanei dovrebbero seguire la produzione reale e dovrebbero essere autoadattativi al fine di supportare i cambiamenti nella produzione di serie brevi. Gli sviluppi attuali stanno portando ad un miglioramento dell'adattabilità MES modificando la sua architettura da software gerarchico a software eterarchico basato su holon e agenti. I sistemi informatici fisici sono luoghi in cui l'embedded world incontra il mondo di Internet [4]. Distribuiscono funzionalità informatiche integrate e si uniscono con il mondo fisico, inclusi umani, infrastrutture e piattaforme, che trasformano interazioni. Ci sono diversi attori. Utenti umani, come responsabili di produzione, il personale coinvolto nella produzione di ottimizzazione, il team logistico o i responsabili della qualità sono interessati a informazioni rapide e precise sull'andamento della produzione, la realizzazione degli ordini e i possibili problemi di produzione. Altri attori sono rappresentati dalle strutture di produzione come macchinari e attrezzature, che necessitano delle informazioni necessarie per l'efficace realizzazione del processo di produzione e la corretta validazione dei prodotti creati. I prodotti stessi sono anche partecipanti attivi al sistema poiché raccolgono informazioni preziose sugli attuali parametri di produzione che possono influenzare l'utilizzo del prodotto e il suo sviluppo futuro.

I CPS sono incollati da servizi Web disponibili via Internet. I Cyber Physical Systems hanno la capacità di interagire ed espandere le capacità del mondo fisico attraverso il calcolo, la comunicazione e il controllo. Sono elementi chiave per futuri sviluppi tecnologici [5]. Sebbene alcune funzionalità MES siano realizzate internamente, alcuni servizi devono interagire con fornitori e clienti e devono essere , inoltre ,disponibili esternamente. Tale interazione è particolarmente importante nel caso della produzione in serie corta che necessita di una più stretta cooperazione tra fornitori, produttori e consumatori, poiché la catena di produzione deve essere più flessibile rispetto al caso della produzione in serie. L'architettura MES proposta in questo capitolo ,si basa su servizi Internet e li lega con il CPS per supportare sia la produzione che l'uso successivo di un prodotto. Questo documento si concentra sulle nuove

opportunità e sfide di ricerca legate all'architettura MES basata su agenti. L'architettura MES proposta è composta da agenti che offrono ed eseguono servizi virtuali e holon, che sono interfacce di processo fisiche che assicurano la materializzazione dei servizi. Insieme costruiscono un ponte tra CPS e MES.

La novità dell'approccio presentato è il nuovo modello di MES che si basa su una rete eterarchica tripla di agenti che eseguono i servizi richiesti e si uniscono all'ambiente di produzione fisica con sistemi decisionali di alto livello. Lo strato interno di questo modello è vicino alla parte fisica del sistema e riflette i requisiti dei prodotti e dei processi di produzione. Garantisce collegamenti ai dispositivi di produzione mediante holon. Il middleware rappresenta le dipendenze tra processi e servizi. Lo strato esterno forma un'interfaccia esterna con altri sistemi e utenti umani. Tale approccio è più flessibile e resistente agli errori di implementazione. Ogni ordine viene affidato ad agenti che supportano i partecipanti umani e li rappresentano nel mondo cibernetico. Di seguito è presente un modello del sistema proposto. Per facilitare la sua applicazione, il modello è conforme alla terza parte della norma ANSI / ISA-95 (IEC / ISO 622643) [6]. L'architettura MES proposta, è stata verificata su un caso reale: un sistema di produzione utilizzato dal dipartimento di prototipazione di "Continental Ingolstadt" (*Rafal Cupek, 2016*).

Il nuovo modello funzionale richiede un nuovo approccio all'architettura di sistema. Poiché i singoli ordini vengono eseguiti in modo indipendente e dispongono di supervisor del prodotto diversi, è molto difficile prendere decisioni arbitrarie in caso di conflitti durante l'accesso alle risorse. L'ostacolo principale è che la conoscenza di base del personale di produzione non può essere inclusa dinamicamente nei modelli di business rappresentati dal MES. Nelle soluzioni classiche, ogni modifica di un modello richiede una ricostruzione della parte responsabile del software MES. In questo caso specifico, ciò non è possibile a causa del numero di varianti di produzione (praticamente ogni ordine è considerato come un'altra variante di produzione).

In tal caso, il sistema di supporto alle decisioni deve essere sostituito dal supporto locale e il sistema centrale deve essere sostituito dall'architettura IT appropriata. E' stata applicata una soluzione basata su agente / holon. Tale architettura, consente agli utenti umani del sistema

di beneficiare della pianificazione del programma distribuito attraverso una simulazione dell'esecuzione del programma di produzione. Dal momento che ci sono diverse possibili varianti di produzione, il modello basato su holon è più flessibile e scalabile rispetto al modello centrale di produzione che si basa su una struttura statica.

## 2. Approccio al metodo

In questo paragrafo *Rafal Cupek* presenta un metodo che si basa sulla suddetta tecnologia ed evidenzia le “situazioni industriali” che hanno portato al suo sviluppo.

‘Al giorno d'oggi, l'ambiente in rapida evoluzione richiede rapidi cambiamenti nei sistemi di produzione. Le industrie devono adattare i propri sistemi di produzione per massimizzare la produttività e la redditività della produzione. I clienti richiedono sempre più un time to market breve. Le modifiche includono cicli di vita più brevi dei prodotti, aumento dei requisiti di qualità, aumento della personalizzazione dei prodotti, implementazione più rapida delle tecnologie avanzate e ottimizzazione del costo dell'energia’.

Queste opzioni di espansione influiscono su materiali, processi e interfacce per i modelli di prodotto e spesso i prodotti risultanti devono essere realizzati in diverse varianti. In questo paragrafo, quindi, si confrontano i modelli concettuali MES forniti dalle organizzazioni di standardizzazione con nuovi concetti architettonici. Si pone un' enfasi speciale su una ricerca per creare un agente eterarchico e architetture basate su holon che supportano la funzionalità dell'esecuzione della produzione.

Il design tradizionale dell'architettura IT utilizzata dall'industria è gerarchico e non può essere facilmente adattato ai cambiamenti implementati nella produzione. Tali problemi sono stati riscontrati anche da “Continental Ingolstadt” (*Rafal Cupek, 2016*). Quest'ultima fonte utilizza un MES classico per supportare la produzione di massa e quindi qualsiasi cambiamento nel processo sottostante costringe all'introduzione di nuovi patch nel MES. Ciò significa che il sistema esistente non può essere utilizzato dal dipartimento prototipi. Questa rappresenta una sfida anche per altri reparti produttivi. Uno degli obiettivi relativi alla personalizzazione del prodotto è "One part for production", il che

significa che tutti, anche una serie molto breve di prodotti, dovrebbero essere redditizi. Ciò ha costretto la ricerca a spostarsi su un nuovo approccio architettonico. Holon e agenti sono alcune delle opzioni che vengono prese in considerazione per soddisfare i requisiti della produzione in serie corta.

Un sistema di produzione manifatturiero avanzato è in grado di fornire un mix di prodotti in piccoli o grandi volumi con l'efficienza della produzione in serie e la flessibilità della produzione personalizzata, al fine di rispondere rapidamente alle richieste dei clienti e alla qualità desiderata [7]. Sulla base della prospettiva del 2025 "la produzione di beni e servizi dovrà pertanto affrontare la personalizzazione di massa e diventare localizzata e collegata in rete per essere più vicina ai clienti, per rispondere alla domanda locale e ridurre i costi", queste tendenze sono state raccomandate come percorsi critici [2].

Modifiche a dimensioni, funzioni e materiali nei prodotti o componenti dopo il rilascio del progetto del prodotto sono definite come modifiche tecniche (EC) [8]. I produttori stabiliscono la gestione delle modifiche tecniche (ECM) che controlla i processi e i dati dei prodotti associati per le EC al fine di mantenere la coerenza dei dati dei prodotti [9]. Le EC sono attività intense, ma la loro efficienza è bassa. Gli ingegneri spendono il 30-50% dei loro sforzi in ECM e solo l'8,5% dei loro sforzi rappresenta attività a valore aggiunto [10]. Un collegamento diretto tra programmazione ed esecuzione è richiesto nei sistemi di produzione automatizzati. I sistemi (ERP) non consentono il controllo in tempo reale delle operazioni di produzione. I MES consentono di configurare un collegamento ai dispositivi di controllo in tempo reale, sebbene debbano operare in combinazione con altri sistemi, come già detto più volte. Inoltre, il MES ha una grande sovrapposizione nella funzionalità che si realizza attraverso una pianificazione dettagliata [11]. I sistemi di pianificazione avanzata (APS) consentono di evitare questo problema a causa della capacità di essere collegata direttamente ai dispositivi di controllo in tempo reale.

La stessa funzionalità può essere ottenuta utilizzando agenti e holon, che consentono inoltre la riconfigurazione dinamica delle macchine. Le modifiche tecniche (EC) consentono di modificare la configurazione delle



macchine, sebbene apportare miglioramenti e modifiche spesso richieda molto tempo.

Il controllo qualità del processo di assemblaggio consente di garantire la qualità dei prodotti in base ai dati relativi a materiali, processo ed errori . Gli errori possono essere propagati al processo successivo, pertanto la qualità dei prodotti può presentare forti fluttuazioni [12]. Un metodo efficace per migliorare la qualità dei prodotti è il controllo adattativo del processo di assemblaggio [13]. Al fine di risolvere meglio il problema delle fermate della linea di produzione per cambiare materiale per ordini o errori, potrebbe essere sviluppato un sistema per consentire comportamenti egoistici e processi decisionali adattivi nel controllo dell'esecuzione distribuita e nella programmazione emergente [14].

Gli APS sono richiesti nelle società di produzione. Ciò consente di gestire la pianificazione e la pianificazione della produzione al fine di ottimizzare le risorse umane e i materiali . Le implementazioni di APS in un sistema aziendale sono spesso realizzate con applicazioni ad hoc che completano diverse funzionalità dei sistemi ERP (Enterprise Resource Planning) [15] . Nelle aree in cui è possibile l'automazione delle informazioni, l'ERP fornisce una piattaforma integrata per gestire il business. Per i sistemi ERP, è richiesto un certo grado di personalizzazione del sistema [16]. La progettazione tradizionale dei sistemi di controllo della produzione è gerarchica e utilizza il metodo top-down che definisce le funzioni e i moduli in cui i moduli possono comunicare solo con i loro moduli padre e figlio. Un sistema di controllo gerarchico non può reagire ai cambiamenti e quindi il controllo gerarchico non può ottenere un controllo adattabile. L'uso di tecnologie, holon e sistemi multi-agente consente di evitare questi problemi [17].

Tuttavia, una produzione agile e flessibile in settori ad alta tecnologia e ad alta intensità di conoscenza non può essere raggiunta senza MES flessibili in grado di supportare frequenti cambiamenti nel profilo di produzione e la realizzazione delle numerose varianti di produzione che sono caratteristiche della produzione su misura di massa . Inoltre, un approccio olistico alla ottimizzazione della personalizzazione della produzione di massa a livello di MES è indispensabile [18-19].

Attualmente, ci sono alcuni modelli olistici per MES. Esistono numerosi standard nell'automazione industriale, che rendono difficile analizzare

l'intera prospettiva aziendale a partire dal livello della macchina, dal livello della linea di produzione o dal livello dell'officina. Un MES classico è definito dalla sua gerarchia statica, che rende molto difficile modificarli. Ciò ha richiesto la ricerca di un nuovo approccio all'architettura di un MES che deve gestire l'enorme flusso di informazioni scambiate tra sistemi aziendali e di produzione.

Ripetiamo che i MES sono stati adottati dall'industria come "estensione online" del sistema di pianificazione, con particolare attenzione all'esecuzione della produzione con un elenco pianificato o in sequenza di ordini di lavoro, metodi per programmare tali ordini di lavoro in stazioni di lavoro, controllo dell'assegnazione dell'inventario e gestione del movimento materiale. Nel modello classico di una piramide di automazione, il MES è collocato come un insieme di interfacce tra i sottosistemi di produzione fisica e i sistemi decisionali di alto livello [20]. Oggi, il MES è uno dei principali fattori di integrazione aziendale.

Le definizioni comunemente accettate delle funzioni e dei dati gestiti dal MES sono reperibili nel set di documenti gestito dal MESA International (Manufacturing Enterprise Solutions Association).

Le aree operative del MES sono sistemate in modelli concettuali e funzionali, che sono descritti nelle norme ANSI / ISA-95 (IEC / ISO 62264) che sono lo standard internazionale per l'integrazione dei sistemi aziendali e di controllo.

I modelli ISA95 rappresentano un'interfaccia tra i processi aziendali e i processi di produzione. Separa questi processi attraverso una chiara delimitazione di responsabilità e funzioni e li unisce attraverso un'interfaccia di comunicazione ben definita realizzata da Business to Manufacturing Markup Language (B2MML), che è un'implementazione XML della famiglia di standard ANSI / ISA-95. Definisce inoltre le funzioni e il flusso di informazioni all'interno di un sistema MES. ISA95 definisce una terminologia comune e un insieme coerente di modelli che sono descritti dai diagrammi UML, che sono comprensibili in entrambi i domini. ISA95 consente di affrontare le principali sfide nel settore manifatturiero:

- Il passaggio dal modello aziendale verticale al modello orizzontale orientato alla produzione.
- Produzione basata sui servizi in cui la produzione viene effettuata da fornitori di servizi di catena anonimi

- Dinamizzazione della produzione in cui la volatilità del mercato rende necessario adeguare continuamente il profilo del servizio
- Produzione adattiva in cui le macchine sono collegate direttamente al mercato
- Individuazione della produzione sul mercato del cliente in cui i prodotti sono personalizzati in base alle esigenze del cliente

A livello concettuale ISA95 si riferisce alla piramide del sistema di produzione classica e affronta i suoi diversi aspetti in cinque parti [21].

L'ISA-95 definisce la struttura dei dati MES e i servizi MES correlati alle operazioni di produzione: definizione del prodotto, previsione della produzione, gestione della capacità di produzione e valutazione delle prestazioni di produzione. L'ISA-95 è inoltre costituito da modelli e terminologia e descrive le informazioni che vengono scambiate tra i sistemi di vendita, finanza e logistica e i sistemi di produzione, manutenzione e qualità. Queste informazioni sono strutturate sotto forma di modelli UML (Unified Modeling Language), che sono la base per lo sviluppo di interfacce standard tra sistemi ERP e MES.

L'ISA-95 si basa sul modello orientato agli oggetti che definisce l'interfaccia tra i sistemi di controllo e le applicazioni aziendali. Definisce inoltre i servizi richiesti per il supporto alla produzione progettato secondo lo stesso modello orientato agli oggetti. Secondo *Rafal Cupek* questi servizi non si basano solo sullo scambio di informazioni, ma anche sui dati aggregati o sulla cronologia della realizzazione del processo che deve essere gestito dai sistemi di database. La connessione tra MES e sistemi di controllo non rientra nell'ambito di applicazione di ISA95. Questo collegamento può essere stabilito da diversi standard di comunicazione. Al fine di trovare la soluzione più flessibile che può essere utilizzata nel caso della produzione in serie corta, questo lavoro è focalizzato sul concetto di produzione olonica [22].

Un sistema di controllo della produzione per i processi di produzione è composto da moduli software e dai diversi elementi fisici dell'ambiente di produzione. Il modulo software e l'entità fisica, che sono collegati tramite un'adeguata rete di comunicazione, rappresentano un holon in un sistema di produzione. Ogni holon è in grado di ragionare, prendere decisioni e comunicare in modo interattivo con altri holon. La prima architettura generale holon è stata proposta da Christensen nel 1994. La

produzione olonica si basa su un'entità autonoma e cooperativa chiamata holon. Gli Holons possono essere utilizzati per separare l'elaborazione fisica stessa, ovvero l'hardware che esegue la produzione insieme al relativo software di controllo delle attività di supervisione necessarie per l'effettiva modifica del profilo di produzione. Un holon unisce i vantaggi delle strutture organizzative gerarchiche ed eterarchiche [23]. Può fornire l'adattabilità e la flessibilità del controllo eterarchico reagendo ai cambiamenti consentendo, inoltre, di mantenere la stabilità del controllo gerarchico.

Le proprietà adattive fanno sì che gli oloni possano essere responsabili dell'implementazione diretta delle varianti di produzione e del supporto diretto della riconfigurazione rapida e coerente di macchine, robot e strumenti di controllo di supervisione e acquisizione dati.

*Rafal Cupek* definisce, inoltre, la cosiddetta PROSA (product, resource, order, staff, architecture) che è una delle architetture di riferimento per un sistema di produzione olonico (HMS). Un holon delle risorse si basa sulle caratteristiche dei compiti che svolgono, ad esempio trasformazione o assemblaggio: l'olone del prodotto riflette le operazioni eseguite su materie prime, semilavorati e infine i prodotti finiti e l'ordine holon rappresenta i requisiti definiti dal cliente. Per ogni risorsa di tipo holon, l'euristica specifica viene utilizzata per risolvere il problema delle attività di pianificazione. Questi meccanismi sono implementati all'interno di un sistema multi-agente, che supporta lo sviluppo del sistema di controllo della produzione [24].

Basata sull'idea di un approccio olonico e di risorse intelligenti che sono iniziate con il progetto PROSA, la nuova architettura MES orientata ai servizi dovrebbe essere basata su servizi distribuiti realizzati come modello orientato agli oggetti che è supportato da protocolli di comunicazione auto-descrittivi e orientati agli oggetti.

Si parla di agenti che sono organizzati in una struttura eterarchica con un alto livello di autonomia e cooperazione basata sulla struttura client-server senza relazioni fisse. Questo concetto consente alte prestazioni contro i disturbi attraverso l'ottimizzazione globale. Il processo decisionale è autonomo e locale, senza una visione globale del sistema. Il funzionamento di alcuni agenti può essere modificato o nuovi agenti possono essere aggiunti al sistema di controllo per l'espandibilità del

sistema stesso. Per l'ottimizzazione della pianificazione dei tempi e dell'allocazione delle risorse in vari settori della produzione, è possibile applicare l'approccio di pianificazione della produzione basato su agenti [25]. La collaborazione degli agenti autonomi e il meccanismo di pianificazione consente una gestione efficiente delle risorse durante la produzione di merci in molti processi produttivi. L'efficienza dei dispositivi di produzione può essere aumentata calcolando il carico di lavoro e orientando il dispositivo più appropriato in una specifica linea di prodotti. Questo risultato può essere raggiunto attraverso il coordinamento tra gli agenti di pianificazione e produzione.

*Rafal Cupek* definisce il sistema multi-agente (MAS). Esso è lo strumento più utilizzato per la ricerca del sistema di produzione omonico (HMS). La tecnologia dell'agente viene utilizzata per implementare applicazioni HMS. Il paradigma del sistema multi-agente deriva dall'intelligenza artificiale distribuita (DAI) ed è caratterizzato dal decentramento e dall'esecuzione parallela di attività basate su entità autonome (agenti).

Si presume generalmente che un agente sia un "componente autonomo che rappresenta oggetti fisici o logici nel sistema, in grado di agire per raggiungere i suoi obiettivi e in grado di interagire con altri agenti quando non possiede le conoscenze e le abilità per raggiungere da solo lo scopo". Holon e agenti sono concetti molto simili e aumentano l'adattabilità e la robustezza dei sistemi. Sono caratterizzati da concetti quali autonomia, proattività, coordinamento e comunicazione per adattarsi all'ambiente.

Le differenze tra HMS e MAS sono legate alla gestione delle informazioni. La gestione fisica dell'informazione è chiaramente separata nei sistemi omonici, ma il MAS non li distingue. La ricorsività è molto tipica dei sistemi omonici, mentre la mobilità è comune nelle tecnologie MAS. Gli agenti MAS possono collaborare o competere per raggiungere i loro obiettivi, mentre gli holon collaborano sempre per risolvere un problema [26]. Il MAS consente di progettare e implementare sistemi decentralizzati e distribuiti in cui ciascun agente può prendere le proprie decisioni di controllo e modificare il proprio comportamento utilizzando le informazioni provenienti dall'ambiente o dalla sua precedente esperienza. Nuovi concetti, che si basano sull'orientamento al servizio dei sistemi di produzione omonici, possono essere trovati in Service Oriented

Architecture (SOA), Enterprise Service Bus (ESB), Web Services, Manufacturing Service Bus (MSB), Distributed Intelligence (DI) , sistemi multi-agente orientati ai servizi (SoMAS) e modello di accesso al servizio risorse (RSAM). L'approccio olonico basato sui componenti (HCBA), proposto da Chirn e McFarlane , è un approccio simile. L'HCBA definisce: "holon" delle risorse, "holon" dei prodotti e "agenti" work-in-progress (WIP) che corrispondono agli "holon" dell'ordine. L'HCBA consente l'integrazione statica e dinamica per HMS mediante lo sviluppo basato su componenti, ed è considerato un componente autonomo, cooperativo e intelligente. Inoltre si concentra sulla riusabilità e sulla riconfigurabilità dell'HMS. I sistemi logistici svolgono un ruolo cruciale nell'organizzazione e nella gestione di ogni grande impresa.

In un MES, gli agenti software possono svolgere le loro attività di supporto alla pianificazione della produzione. Il sistema autonomo è in grado di preparare richieste di materiali pianificate esaminando varianti alternative. Supporta inoltre la preoccupazione per il risparmio sui costi energetici, tenendo conto dei fusi orari dell'elettricità per un impianto e del carico di lavoro della fabbrica. Inoltre, i tempi di produzione programmati possono anche essere presentati ai clienti.

Gli agenti software collaborano per assistere i reparti di produzione, pianificazione e vendita per la generazione dei piani di produzione [27]. È stata descritta un'architettura di automazione della produzione orientata a più agenti, focalizzata sulle caratteristiche di ISA95, per facilitare la gestione e il controllo dei componenti di automazione intelligente in un ambiente di produzione distribuito .

Esistono, anche, MES olonici che si basano sull'architettura PROSA potenziata con meccanismi di coordinamento e controllo, ispirati a sistemi naturali basati sulla stigmergia e sulla previsione dello stato . Come fa notare *Rafal Cupek* ADACOR MES trasforma il suo processo decisionale in una struttura eterarchica . In più è possibile trovare un'architettura di controllo ibrida che viene modificata in base a nuovi processi e articoli di apparecchiature basati sul concetto di coalizioni di componenti di produzione . I MES olonici richiedono maggiori sforzi per essere configurati, ma sostanzialmente meno sforzi per essere riconfigurati . Un sistema di (ri) schedulazione distribuito può essere

basato su interazioni tra agenti di ordine e risorse che agiscono come gestori autonomi.

Gli agenti autonomi vengono creati dall'ordine o dagli agenti delle risorse e consentono di separare il ruolo del gestore autonomo dall'oggetto gestito. Gli oggetti corrispondenti a macchine fisiche, parti o prodotti finali sono generalmente assegnati come funzionalità di controllo da MES [28].

Un altro aspetto molto importante, sottolineato dalla fonte di cui sopra, è una comunicazione tra CPS localizzati a livello di fabbrica e software che operano a livello di applicazioni aziendali. In molte interconnessioni i problemi possono essere risolti applicando standard di comunicazione orientati agli oggetti come OPC UA .

Uno scambio di dati efficiente è uno dei problemi principali che incidono significativamente sull'adattamento dei sistemi di produzione ai nuovi requisiti. Un sistema di controllo gerarchico non può reagire ai cambiamenti e non consente di riconoscere rapidamente i problemi nella gestione della fabbrica [29]. Comunica con i suoi moduli padre e figlio e non consente di riconoscere rapidamente i problemi nella gestione della fabbrica. Gli Holon e i sistemi multi-agente consentono di risolvere questo problema. Gli Holon possono essere utilizzati come interfacce tra la piattaforma software e gli strumenti di produzione esistenti, che consentiranno di ottenere informazioni su vari aspetti di un sistema di produzione. I sistemi multi-agente consentono agli algoritmi di data mining di essere utilizzati per esplorare le informazioni disponibili in un sistema di produzione. Pertanto, è possibile eseguire analisi parallele di vari aspetti del sistema di produzione, tra cui la previsione del comportamento del sistema, il perfezionamento del modello di produzione, l'elaborazione e la classificazione delle informazioni e la preparazione di strumenti di controllo di supervisione e acquisizione dei dati [30]. Le implementazioni di successo presentate, mostrano che le nuove architetture per i sistemi di controllo della produzione consentono l'applicazione di sistemi multi-agente grazie ai quali è possibile migliorare ed ottimizzare la produzione utilizzando metodi di apprendimento automatico . Pertanto, il sistema consente la riconfigurazione dinamica di macchine e robot.

### 3. Caso della produzione in serie brevi

La produzione diventa sempre più complicata quando le serie di produzione sono brevi, poiché i prodotti sono diversificati e la tecnologia di produzione è variabile. Nel caso della produzione in serie ridotta, i sistemi di esecuzione della produzione (MES) si uniscono alla parte cibernetica della produzione con servizi di produzione virtuale e operazioni a livello aziendale [31]. Sfortunatamente, la maggior parte delle architetture esistenti segue il paradigma del MES gerarchico posto tra i sistemi di controllo e il livello di applicazione aziendale. Hanno interfacce fisse per le strutture di produzione e un set predefinito di servizi. L'argomento principale a favore di tale soluzione è l'ottimizzazione globale delle operazioni di produzione, ma nel caso di una produzione altamente dinamica e di serie brevi, è praticamente impossibile trovare una soluzione ottimale applicabile a livello globale a qualsiasi processo di produzione. Inoltre, nel caso della produzione agile, i cambiamenti nello scenario di produzione comportano costose modifiche dei servizi e delle interfacce MES [32]. Tali modifiche ad hoc possono generare nuovi errori che aumentano il costo totale di produzione.

I sistemi di esecuzione della produzione devono avere la capacità di adattarsi continuamente ai cambiamenti nel processo di produzione e quindi i sistemi di produzione intelligenti autonomi sono diventati più complicati. Diverse questioni critiche sono legate alla modularità e all'integrazione del sistema. L'uso di holon tecnologici e sistemi multi-agente consente a un MES guidato dalla produzione esistente, dedicato alla produzione di massa, di essere trasformato in un MES guidato dal prodotto dedicato alla produzione di massa personalizzata e alla produzione in serie corta. Holon consente l'implementazione di varianti di produzione e la rapida riconfigurazione di macchine e robot. L'architettura MES proposta, supporta la capacità dei sistemi di produzione. La gestione della catena della domanda consentirà una significativa riduzione degli sprechi e aumenterà la redditività dei sistemi di produzione. La pianificazione flessibile della produzione avrà effetto sulla riduzione dei tempi e dei costi di installazione e commutazione.



L'obiettivo strategico della soluzione MES proposta è "produzione a flusso unico", il che significa la fattibilità della produzione in serie corta usando le linee di produzione precedentemente progettate per la produzione di massa [33].

Come tutte le soluzioni industriali, anche la proposta MES deve adattarsi agli standard esistenti accettati dall'industria. Poiché l'ISA95 rappresenta una visione gerarchica del MES, questo modello è stato adattato all'architettura eterarchica basata su agenti. In più definisce il flusso di lavoro e lo scambio di informazioni per Manufacturing Operations Management (MOM). Ciò include la struttura delle funzioni di gestione della produzione e le loro interazioni con i sistemi aziendali. Queste funzionalità sono definite ad un livello inferiore ai sistemi aziendali, ma al di sopra dei sistemi di controllo della produzione e sono composti da cinque parti. Queste cinque parti, definite da *Rafal Cupek*, vengono proposte qui di seguito:

- **La prima parte di ISA95 "Modelli e terminologia"**, descrive il contenuto dell'interfaccia tra le funzioni di controllo della produzione e altre funzioni aziendali, comprese le interfacce necessarie tra un sistema MES ed ERP.
- **La seconda parte, "Attributi del modello di oggetti"**, definisce i modelli di dati orientati agli oggetti espressi nei diagrammi UML (Unified Modeling Language). Standardizza la struttura delle informazioni utilizzata per la descrizione del personale, delle attrezzature, delle risorse fisiche, dei materiali e dei segmenti di processo, che sono definiti come il gruppo logico di personale, attrezzature e risorse dei materiali necessari per eseguire una determinata fase di produzione. Oltre a questo standardizza le strutture di dati utilizzate per la definizione delle operazioni di produzione, la pianificazione del programma di produzione e la valutazione delle informazioni sulle prestazioni e la verifica della capacità di produzione.
- **La terza parte di questo "protocollo" definisce i "Modelli di attività di gestione delle operazioni di produzione"**. Include modelli di attività orientati agli oggetti per la gestione delle operazioni di produzione, gestione delle operazioni di manutenzione, gestione delle operazioni di qualità e gestione delle operazioni di inventario.
- **La quarta parte, "Modelli di oggetti e attributi della gestione delle operazioni di produzione"**, definisce lo scambio di informazioni tra le operazioni di produzione. Include gli attributi del modello a oggetti, il modello di rete di relazione delle risorse, il modello delle prestazioni del

lavoro, il modello delle capacità di lavoro, il modello KPI e il modello degli avvisi di lavoro.

- **La quinta parte, "Transazioni tra imprese e produzione"** specifica come scambiare gli oggetti definiti nella parte 2 e nella parte 4. Definisce i dettagli delle transazioni sotto forma di messaggi e i verbi utilizzati per la comunicazione.

Nota. Nell'ingegneria gestionale si definisce "olone" un'entità di un sistema organizzato in grado di prendere decisioni e attuarle interagendo con gli altri elementi del sistema su base negoziale [Enciclopedia Treccani]

Nota. La stigmergia è un metodo di comunicazione utilizzato nei sistemi decentralizzati con il quale gli individui del sistema comunicano fra loro modificando l'ambiente circostante. [Wikipedia]

## 6.1 MODELLO ISA-95 BASATO SU "AGENTI"

Di seguito, il ruolo del MES ,con approccio orientato agli "holon", è presentato in maniera più dettagliata tramite un modello definito proprio dall'ISA-95 per la gestione delle operazioni di produzione. Questo modello distingue quattro flussi principali di informazioni relativi alla definizione del prodotto, alla determinazione della capacità di produzione, alla gestione della produzione effettiva e alla valutazione delle metriche delle prestazioni. (*Rafal Cupek, 2016*)

Il flusso di informazioni viene raccolto e gestito da otto gruppi di attività principali, come mostrato . Le otto attività principali per questo modello come definito da ISA95 sono definite da *Rafal Cupek* elencate di seguito.

1-L'attività di **gestione della definizione del** prodotto si concentra sullo scambio di informazioni con ingegneria, ricerca e sviluppo e altri per sviluppare le regole di produzione del prodotto specifiche del sito. Queste informazioni possono includere definizioni di produzione in R&S (ricerca e sviluppo) tradotte ed estese dalla gestione delle definizioni dei prodotti in definizioni specifiche del sito utilizzando materiale, attrezzature e personale locali.

2-La **gestione delle risorse di produzione** è una raccolta di attività che gestiscono le informazioni sulle risorse richieste dalle operazioni di produzione e le relazioni tra le risorse. Le risorse includono macchine, strumenti, manodopera, materiali ed energia. La gestione delle risorse può includere sistemi di prenotazione delle risorse locali per gestire le informazioni sulla disponibilità futura. **3-La pianificazione dettagliata della produzione** è la raccolta di attività che creano il programma di produzione e determinano l'uso ottimale delle risorse locali per soddisfare i requisiti del programma di produzione. Ciò include l'ordinazione delle richieste di installazione o pulizia minime dell'apparecchiatura, la fusione delle

richieste per l'uso ottimale delle attrezzature e la suddivisione delle richieste quando necessario a causa delle dimensioni dei lotti o dei tassi di produzione limitati. La pianificazione dettagliata della produzione tiene conto delle situazioni locali e della disponibilità delle risorse.

4-Il **dispacciamento della produzione** gestisce il flusso della produzione inviando la produzione ad attrezzature e personale.

5-La **gestione dell'esecuzione della produzione** è focalizzata sull'esecuzione del lavoro come specificato dal contenuto dell'elenco lavori. L'attività di gestione dell'esecuzione della produzione comprende la selezione, l'avvio e lo spostamento di unità di lavoro (ad esempio lotti o sottogruppi ) attraverso la sequenza appropriata di operazioni per produrre fisicamente il prodotto.

6-La **raccolta dei dati di produzione** ottiene, compila e gestisce i dati di produzione per processi di lavoro specifici o richieste di produzione specifiche. I dati gestiti possono includere letture di sensori, stati delle apparecchiature, dati immessi dall'operatore, e altri dati importanti nella realizzazione di un prodotto.

7-Il **monitoraggio** della produzione prepara la risposta della produzione ai sistemi ERP. Ciò include il riepilogo e la comunicazione di informazioni sul personale e sulle attrezzature effettivamente utilizzati per produrre un prodotto, il materiale consumato, il materiale prodotto e altri dati di produzione rilevanti come i costi e i risultati dell'analisi delle prestazioni.

8-L' **analisi delle prestazioni di produzione** è focalizzata sull'analisi e la comunicazione delle informazioni riguardanti le prestazioni esposte ai sistemi aziendali. Ciò include l'analisi delle informazioni sui tempi di ciclo dell'unità produttiva, l'utilizzo delle risorse, l'utilizzo delle attrezzature, le prestazioni delle apparecchiature, l'efficienza delle procedure e la variabilità della produzione.

<<Sebbene il modello di Manufacturing Operations Management definito da ISA-95 rifletta i servizi più tipici eseguiti a livello di MES, li presenta come un'attività di sistema esterna. I flussi di informazioni sono definiti come flussi di comunicazione gerarchici e fissi che vincolano i servizi di cooperazione in modo statico>>. In effetti, tali servizi esistono nei sistemi di produzione reali, ma non sono statici. Esse emergono dalle attività frazionate di molti attori che partecipano al processo di produzione. I flussi di informazioni presentati nei diagrammi ISA-95 sono composti da molti piccoli fatti e messaggi di eventi scambiati in diverse fasi della produzione nella pratica. Insieme formano il quadro generale fornito dal modello ISA-95, ma non esistono come set di servizi o percorsi di comunicazione esclusi o indipendenti. In tal caso, un modello MES

esterno può solo riflettere una serie selezionata di casi d'uso di produzione, ma non può riflettere le attività di produzione effettive [34]. Ciò significa che il MES classico può essere utilizzato solo nella produzione di massa in cui la topologia del sistema di produzione è relativamente fissa ; non è applicabile nella produzione in serie brevi in cui sia l'ambiente di produzione che le regole di produzione sono altamente dinamici.

Al fine di riflettere i percorsi effettivi della realizzazione di particolari servizi, si può scegliere di applicare un modello basato su agenti per la creazione di un sistema MES [35]. Gli agenti non formano alcuna struttura gerarchica fissa come proposto nei diagrammi ISA-95, ma l'architettura del sistema emerge dalla rete di agenti cooperanti che riflettono le attività fisiche degli attori coinvolti nel processo di produzione. La struttura eterarchica del sistema sorge durante la negoziazione e l'istituzione dei servizi del sistema. I servizi vengono avviati a seguito dell'attività di produzione su richiesta del sistema ERP o di un utente umano . I servizi stabiliti creano collegamenti tra agenti e tali collegamenti formano flussi di scambio di informazioni composti da messaggi di eventi e comunicazione domanda- risposta [35-36]. I collegamenti di informazioni particolari rimangono finché un determinato servizio è utile. Quindi il servizio è terminato e il flusso di informazioni scompare. Sebbene la rete interna di agenti e i loro percorsi di cooperazione siano flessibili e mutevoli durante la realizzazione della produzione, i servizi del sistema esterno sono ben noti e riflettono i modelli ISA95.

Ovviamente, le attività definite da ISA95 vengono eseguite, ma non sono basate su una struttura gerarchica esterna. Esse, difatti, emergono dalle attività di produzione fisica che vengono riflesse e modellate dagli agenti [37]. Per separare interfacce di sistema fisse da una rete variabile di agenti, il modello è diviso in tre sfere (*Rafal Cupek, 2016*). <<La produzione effettiva viene eseguita da strutture di produzione reali che sono molto più fisse (standard) rispetto ai “middleware agenti” che rappresentano l'esecuzione effettiva delle operazioni di produzione>>. Ciò costituisce la parte più interna del nostro modello che è strettamente accoppiata alla parte fisica del sistema. Progettato utilizzando un'architettura basata su holon [38]. Gli Holon consentono di

suddividere le risorse di produzione e di unirle in modo flessibile. Permette anche il facile adattamento di un MES alle reali caratteristiche del sistema di produzione. Inoltre, gli holon esplorano i servizi disponibili nel sistema di produzione della parte. Gli stessi holon possono essere composti da altri holon e questa struttura riflette le reali dipendenze che si verificano in un sistema di produzione e le interazioni tra personale (LR), attrezzature (MR), materiali (M) e segmenti di processo composti da personale, materiali e attrezzature [38-39].

I servizi richiesti a livello lavorativo sono esplorati dal **WPA**(Work Place Agents). È possibile che un determinato WPA non sia disponibile o che sia stato aggiunto un nuovo WPA. Ciò riflette una situazione reale in cui una determinata macchina viene rotta o ne viene aggiunta una nuova. I servizi di informazione coperti da WPA includono le funzionalità richieste per un determinato sito di produzione, come definito da ISA95 a livello di UNIT, WORK CELL e STORAGE UNIT. Gli stessi WPA sono creati come raccolte di holon (holarchy) create da risorse utilizzate in un determinato posto di lavoro [40]. Sebbene la struttura interna del luogo di lavoro possa essere modificata (ad esempio, mediante modernizzazione della macchina o cambiamenti nel modo in cui viene realizzato il processo di produzione), l'interfaccia richiesta dal MES rimarrà e supporterà il modello di attività ISA95 e il flusso di informazioni da essi definito. I servizi sono esposti da un WPA e utilizzati da agenti collocati nella parte middleware del sistema. In riferimento al modello ISA95, gli WPA sono responsabili dell'esecuzione della produzione come definito per l'attività "**5. Gestione dell'esecuzione** " e per l'operazione relativa alle risorse definita nell'attività "**2. Gestione delle risorse** ". I dettagli dell'implementazione del servizio dipendono dagli insiemi interni di holon aggregati da WPA.

La parte middleware del sistema è composta dalla rete di agenti responsabili dei servizi focalizzati sulla realizzazione di un determinato ordine di produzione. Devono inoltre eseguire le attività e i flussi di messaggi richiesti definiti da ISA95. I flussi di informazioni definiti da ISA 95 derivano dalle interazioni tra il supervisore dell'ordine e i partecipanti al sistema di produzione che sono responsabili dell'esecuzione dell'ordine [41]. Nel sistema proposto, ogni ordine è rappresentato nella parte middleware da un agente ordini ( **OA** ). L'agente ordini riflette tutti i requisiti relativi al processo di produzione concordati dal cliente durante

l'attività " **1. Gestione delle definizioni**". È inoltre responsabile della raccolta di informazioni sui risultati dell'operazione supportati da WPA descritti nel modello ISA95 come attività " **6. Raccolta dati**". Prima che la produzione effettiva possa iniziare, le risorse necessarie devono essere disponibili, confermate e riservate. Nella produzione classica, le operazioni relative alla prenotazione delle risorse, alla pianificazione del lavoro e alla sua distribuzione sono svolte da attori umani: un team logistico e un team di produzione che prepara lo schema di produzione e un supervisore del prodotto umano. Nel sistema proposto, come afferma *Rafal Cupek*, l'attività del supervisore del prodotto umano è supportata da un Supervisor Agent ( **SA**). «Ogni agente dell'ordine riceve supporto da un singolo agente supervisore. Questa coppia di agenti OA-SA collabora dal momento della conferma dell'ordine fino alla sua conclusione». SA supervisiona l'esecuzione delle fasi di produzione richieste e le pianifica come richiesto nelle attività definite per " **3. Programmazione dettagliata**". Successivamente l'SA invia l'OA all'apparecchiatura e agli operatori umani per i compiti assegnati come definito per " **4. Spedizione**" attività. L'OA è interessata all'esecuzione corretta e tempestiva di un determinato ordine, inclusi i parametri dettagliati richiesti dal contratto di produzione. L'OA deve anche raccogliere i risultati effettivi della produzione [42]. L'SA rappresenta il punto di vista del supervisore del prodotto. Supporta l'esecuzione della produzione richiesta dalla OA in termini di costi ed efficienza, interagendo con i WPA. La SA è responsabile della preparazione del programma di produzione per un determinato OA e prenotazione delle risorse, comunicando con gli WPA pertinenti [42-43].

Gli agenti dell'ordine raccolgono dati sulla realizzazione dell'ordine (attività 6), ma tali informazioni non elaborate devono essere analizzate in un contesto più ampio, comprese le prestazioni di produzione che sono focalizzate dalla **PA** (agenti di prestazione) nell'ambito dell'attività " **8. Analisi delle prestazioni**" o i problemi di qualità rilevati e analizzati dal **QA** (agenti di qualità). Sebbene la gestione della qualità sia parte di un diagramma ISA95 separato, i risultati del lavoro di controllo qualità vengono utilizzati nelle attività correlate a " **7. Tracking**", che è effettuato da un OA [44]. Diversamente dal caso di una coppia OA - SA, gli agenti QA e PA non sono strettamente legati a un determinato ordine di produzione

o un determinato WPA. Riflettono aspetti delle prestazioni di produzione espressi da diversi KPI e diversi aspetti delle attività di gestione della qualità. Pertanto, QA e PA operano in modo globale e si concentrano sulla realizzazione di numerosi ordini di produzione. Raccolgono ed elaborano informazioni da diverse SA e OA. Questi servizi vengono utilizzati anche per le analisi globali richieste dal sistema ERP, ma alcuni dei risultati vengono utilizzati direttamente nelle informazioni sulla risposta dell'Operazione preparate da OA [44-45].

Il livello più esterno del sistema proposto fornisce interfacce sia ad altri sistemi informatici che a utenti umani. Consente di suddividere i servizi MES di alto livello in agenti che operano nel middleware e di raccogliere informazioni di feedback e inviarle a sistemi esterni utilizzando le interfacce.

‘Un'interfaccia computer-computer segue B2MML (Business to Manufacturing Management Language). Questo strato esterno è anche composto da agenti, ma come nel caso di un sistema di produzione fisico, sono associati a una data interfaccia-utente di sistema o computer.’ *(Rafal Cupek, 2016)*

Una delle funzionalità di sistema richieste si riflette nei Product Supervisor Agents ( **PSA** ) che supportano un vero supervisore di produzione. Un'altra funzionalità sono gli agenti del cliente ( **CA** ) che creano un'interfaccia tra il sistema di produzione e i clienti. Ogni cliente comunica con un “agente cliente” dedicato che gestisce tutti gli ordini commissionati al MES da un determinato cliente [46]. Il compito principale dell' agente cliente è quello di mediare tra un cliente umano e il sistema di produzione fisico cibernetico. Ogni CA supporta tutte le attività di produzione ordinate da un determinato cliente e chi è personalizzato dall'identificatore utente. Dall'altro lato, un'autorità di certificazione garantisce la comunicazione di richiamo via e-mail o un SMS inviato al cliente. Poiché un cliente può avere molti ordini nel sistema di produzione e un supervisore può gestire molti ordini in produzione, i rapporti tra PSA-SA e CA-OA sono uno-a-molti. Il PSA supervisiona tutte le operazioni relative all'attività SA e, se necessario, invia informazioni al personale responsabile [46-47]. Ogni supervisore del prodotto umano ha un PSA corrispondente che supporta l'esecuzione degli ordini controllati da un determinato supervisore del prodotto. Una soluzione molto simile è riscontrata nel caso di una CA. Un'autorità di certificazione è dedicata a

un cliente e rappresenta i suoi interessi. La CA consente la creazione di nuovi ordini ma monitora anche la realizzazione dell'avanzamento dell'ordine. Un'autorità di certificazione è dedicata a un cliente e rappresenta i suoi interessi [48].

Tutte le decisioni sono prese da attori umani, ma PSA e CA li supportano nella ricerca del miglior compromesso che rifletta il punto di vista sia del cliente che del produttore. Un cliente reale riceve informazioni sulla capacità o incapacità del MES di realizzare un determinato ordine, nonché i costi previsti. Al termine del processo di negoziazione, il cliente conferma o annulla l'ordine da parte dell'agente del cliente e il momento dell'accettazione avvia il processo di produzione fisica, che è supportato dagli agenti del middleware, tra cui la coppia OA SA, e agenti che supportano la qualità (QA), performance (PA) e altri [49].

*Rafal Cupek* afferma che <<il terzo livello di agenti consente di aggregare informazioni provenienti da diversi ordini>>. ' Nel sistema proposto, la realizzazione di servizi esterni è suddivisa tra agenti middleware che realizzano il processo in parallelo'. Inoltre ' alcuni servizi abbracciano un orizzonte temporale molto lungo e pertanto sono supportati da diverse generazioni di agenti middleware'. Facendo riferimento ad altri sistemi di produzione indicati da TJ Williams nell'architettura di riferimento dell'impresa Purdue che è stata successivamente adottata come riferimento per i modelli di attività di gestione delle operazioni di produzione definiti da ISA95-3 , è possibile estendere il sistema con altre interfacce basate su agenti che possono essere localizzate nello strato esterno. L'elenco delle operazioni effettive dovrebbe supportare i requisiti forniti per le operazioni aziendali richieste e definiti da sistemi situati al di fuori del MES come elaborazione ordini, conto costi di produzione, amministrazione o spedizione.

## 1. Conclusioni

Quindi, in conclusione è possibile utilizzare il modello di attività ISA95 per rendere applicabile il MES in un ambiente di produzione reale. L'architettura IT proposta si basa sul modello di flusso di informazioni push, che consente un tempo di reazione più breve e una riduzione dei periodi non produttivi. Gli agenti supportano l'elaborazione distribuita delle informazioni e le reazioni umane appropriate necessarie in caso di



problemi di produzione. L'approccio proposto si basa su un modello distribuito basato su agenti che consente il decentramento della pianificazione della produzione che è particolarmente vantaggioso nel caso della produzione in serie corta. Nel caso della produzione di massa, l'ottimizzazione del programma di produzione fa principalmente parte dell'attività dei sistemi di pianificazione delle risorse aziendali o viene eseguito da sistemi di pianificazione avanzata dedicati. Nel caso della produzione in serie corta, un simile approccio non sarebbe efficace a causa dei numerosi parametri specifici, inaccessibili a sistemi aziendali.

- [1] (S.S. Shipp, Emerging global trends in advanced manufacturing, 2012) .
- [2] (European Commission, A Manufacturing Industry Vision 2025, Foresight study, 2013)
- [3] (R.C. McNally, , New product development processes and new product profitability, 2011 63–77)
- [4] (R. Poovendran, Cyber-Physical systems , 2010 1363–1366)
- [5] (R. Baheti, Cyber-physical systems, Impact Control Technol. ,2011,161–166)
- [6] (The International Society of Automation, Activity Models of Manufacturing Operations, 2013)
- [7] (A. Rajhans, An architectural approach to the design and analysis of cyber-physical systems,2009)
- [8] (I.C. Wright, A review of research into engineering change management,1997, 33–42)
- [9] (T.A.W. Jarratt, Engineering change: an overview and perspective on the literature,2011. 103–124)
- [10]( N. Do, Integration of engineering change objects in product data management databases,2015,69–81) [11]( J. Duhovnik, Engineering change management in individual and mass production, 2005, 205–215)
- [12]( W. Liu, Mechanism analysis of deviation sourcing and propagation for mechanical assembly,2012)
- [13](D. Liu, Fluctuation analysis of process flow based on error propagation network, 2010)
- [14]( L. Ling, Research on assembly quality adaptive control system for complex mechanical products assembly process under uncertainty,2015, 43–57)
- [15]( M. Rolón, Agent-based modeling and simulation of an autonomic manufacturing execution system, 2012, 53–78)
- [16]( M. Rolón, E. Martínez, Agent learning in autonomic manufacturing execution systems for enterprise networking,2012, 901–92)
- [17]( H. Stadtler, Supply chain management and advanced planning, 2005, 575–588)
- [18]( M.C. Vidoni, A.R. Vecchiotti, An intelligent agent for ERP's data structure analysis based on ANSI/ISA-95 standard, 2015 ,39–50)
- [19]( K. Bokovec, T. Damij, T. Rajkovi9c, Evaluating ERP Projects with multi-attribute decision support systems, 2015 ,93–104)
- [20]( A.J. Zoryk-Schalla, J.C. Fransoo, T.G. de Kok, Modeling the planning process in advanced planning systems,2004, 75–87)
- [21]( M. Bonev, L. Hvam, J. Clarkson, A. Maier, Formal computer-aided product family architecture design for mass customization,2015, 58–70)
- [22]( M.A. Rothenberger, M. Srite, An investigation of customization in ERP system implementations,2009 663–676)
- [23]( M. Beetz, ,Chang. Reconfigurable Manuf. Syst., 2009, 355–371)

- [24]( M. Witsch, B. Vogel-Heuser, Towards a formal specification framework for manufacturing execution systems,2012, 311–320)
- [25]( P. Blanc, I. Demongodin, P. Castagna, A holonic approach for manufacturing execution system design: an industrial application,2008 315–330)
- [26]( T.J. Williams, Architectures for integrating manufacturing activities and enterprises,1994 ,111–139) [27]( M. McClellan, Introduction to manufacturing execution systems (2001) 1–7)
- [28]( T. Sauter, The continuing evolution of integration in manufacturing automation,2007 ,10–19)
- [29]( Manufacturing Enterprise Solutions Association, MESA)
- [30]( International Society of Automation, ANSI/ISA-95)
- [31]( M. Rolón, M. Canavesio, E. Martínez, Agent based modelling and simulation of intelligent distributed scheduling systems, 2009, 985–990)
- [32](W. Shaojun, W. Gang, L. Min, G. Guoan, Enterprise resource planning implementation decision & optimization models, 2008, 513–521)
- [33](D. Trentesaux, Distributed control of production systems, 2009, 971–978)
- [34]( R. Cupek Agent-based modeling for warehouse logistics systems,2011 151–155)
- [35]( H. Van Brussel, Holonic manufacturing systems,2014, 654–659)
- [36]( L. Rannanjärvi, T. Heikkilä, Software development for holonic manufacturing systems,1998, 233–253) [37]( T. Borangiu, P. Gilbert, N.-A. Ivanescu, A. Rosu, An implementing framework for holonic manufacturing control with multiple robot-vision stations,2009, 505–521)
- [38]( D.M. Dilts, N.P. Boyd, H.H. Whorms, The evolution of control architectures for automated manufacturing systems,1991, 79–93)
- [39]( N. Aissani, B. Beldjilali, D. Trentesaux, Dynamic scheduling of maintenance tasks in the petroleum industry: a reinforcement approach,2009 ,1089–1103)
- [40]( P. Leitão, Agent-based distributed manufacturing control: a state-of-the-art survey,2009, 979–991)
- [41]( J.-L. Chirn, D. McFarlane, Application of the holonic component-based approach to the control of a robot assembly cell,2000)
- [42]( A.W. Colombo, A service- and multi-agent-oriented manufacturing automation architecture,2012 ,813–823)
- [43]( Hadel, P. Valckenaers, M. Kollingbaum, H. Van Brussel, Multi-agent coordination and control using stigmergy,2004 ,75–96)
- [44]( P. Valckenaers, H. Van Brussel, Holonic manufacturing execution systems,2005,427–432)
- [45]( P. Leitao, A.W. Colombo, F.J. Restivo, ADACOR: a collaborative production automation and control architecture,(2005) 58–66)
- [46]( J.A.B. de Oliveira, Coalition based approach for shop floor agility a multi-agent approach,2003)
- [47]( J.H. Christensen, Holonic manufacturing systems: initial architecture and standards directions,1994)
- [48]( R. Cupek, Agent based quality management in lean manufacturing,2015, 89–100)
- [49]( R. Cupek, OPC UA for vertical communication in logistic informatics systems,2010)

## 7.SISTEMA MES E INGEGNERIA DEL SOFTWARE

Nonostante decenni di ricerche sui processi di sviluppo del software, questo soffre ancora di una mancanza di prevedibilità in termini di costi, tempi, funzionalità e qualità dei prodotti consegnati. La prevedibilità è una delle maggiori preoccupazioni durante la fase di studio ed implementazione dei moderni Manufacturing Execution Systems (MES). Di seguito, si introducono i principi e le aree funzionali di un MES nell'ingegneria del software (Martin Naedele, 2015). Vengono analizzati, quindi, i divari tra lo sviluppo del software guidato dalla visione MES e le pratiche attuali. Queste lacune possono comprendere: mancanza di un'infrastruttura di raccolta dati unificata, una mancanza di dati integrati sulle persone, una mancanza di quadri concettuali comuni che guidano i cicli di miglioramento dai dati di sviluppo e una mancanza di supporto per la simulazione. Infine viene descritta la fattibilità di sfruttare i principi MES per gestire lo sviluppo del software, utilizzando un prototipo di sistema di supporto alle decisioni. Con questo prototipo si dimostra che l'integrazione delle informazioni nei sistemi basati sulla visione MES consente nuovi tipi di analisi, non precedentemente disponibili.

### 1. Introduzione

I responsabili dello sviluppo software spesso non hanno una chiara idea di dove si trovino i loro team nel programma di consegna, come espresso dalla venerata regola del novantanove: "Il primo 90% del codice rappresenta il primo 90% dello sviluppo tempo. Il restante 10% del codice rappresenta l'altro 90% (10%) del tempo di sviluppo." (Bentley, 1985). Oggi, questa sfida sta diventando ancora più complessa per la gestione dello sviluppo del software, perché nuovi problemi come evitare le responsabilità legali, la distribuzione globale degli sforzi di sviluppo e garantire la qualificazione e la fidelizzazione dei dipendenti vengono aggiunti ai problemi da gestire durante lo sviluppo come indicato da *Martin Naedele*. Le responsabilità legali potrebbero derivare da alcuni fattori quali ad esempio: violazione di licenze open source, violazione dei brevetti, violazione delle normative sul controllo delle esportazioni.

Una soluzione per affrontare meglio queste sfide è imparare da un altro dominio che ha esigenze comparabili di pianificazione, monitoraggio e

tracciamento: la produzione. In effetti, con "componenti", "linee di prodotto" e "fabbriche di software", l'ingegneria del software ha già adottato molti concetti dalla produzione. Precedenti lavori sulla gestione di progetti software, secondo *Martin Naedele*, hanno anche sostenuto un approccio "integrato" in cui i processi software devono essere ottimizzati come processo integrale e continuo nell'intero ciclo di vita. L'appena citata fonte ha, inoltre, sottolineato l'uso dei principi di feedback delle dinamiche di sistema per strutturare e chiarire la complessa rete di variabili che interagiscono dinamicamente e che influenzano le decisioni di gestione. Questo capitolo porta l'idea di introdurre un ulteriore passo avanti alla produzione, secondo quanto affermato da *Martin Naedele*: 'adattare direttamente i principi di un sistema di esecuzione della produzione (MES) all'ingegneria del software. Ciò aiuterà a gestire e aumentare la prevedibilità dello sviluppo del software integrando in modo più completo le informazioni e fornirà una base per il supporto automatico degli strumenti per un miglior processo decisionale.'

L'intenzione non è quella di sostenere che lo sviluppo del software possa o debba essere gestito come la produzione o che un prodotto MES di fabbrica potrebbe/dovrebbe essere utilizzato così com'è per lo sviluppo del software. È risaputo che, tra le altre differenze, la progettazione del software è associata a un livello più elevato di complessità e, in questo caso, l'esperienza e l'abilità degli sviluppatori di software svolgono un ruolo più significativo per quanto concerne la qualità del prodotto software e la produttività. Nonostante queste differenze, la gestione integrata della raccolta e del flusso di informazioni è ugualmente identificata nel processo di sviluppo del software. La gestione del software e del processo di produzione richiede pianificazione, monitoraggio e tracciamento. Anche per lo sviluppo di software open source non commerciale, dove le informazioni su costi, programmi e lavori non sono esplicitamente disponibili, la preoccupazione per la qualità del software non è inferiore allo sviluppo di software commerciale. È un dato di fatto che progetti open source di successo, di solito impiegano processi rigorosi in cui i privilegi degli sviluppatori sono tracciati e controllati sulla base di informazioni come la quantità di contributo che hanno dato al progetto. Dato che i professionisti della produzione hanno trascorso decenni a perfezionare la loro metodologia

di pianificazione, l'idea è quella di imparare dalla gestione integrata dei flussi di informazioni in impianti di produzione all'avanguardia e dall'evoluzione MES nella produzione, invece di reinventare questa "ruota" pezzo per pezzo.

Lo sviluppo del software dal punto di vista della conoscenza è diverso da molte forme di produzione industriale e spesso ha molte forme di imprevedibilità e non determinismo. *Martin Naedele* individua che :<<molti processi industriali di produzione sono caratterizzati da una differenziazione tra il processo di progettazione-sviluppo e la produzione/assemblaggio ripetuto delle stesse parti, facendo uso di macchine, robot e manodopera non qualificata. D'altra parte, ci sono operazioni di produzione che utilizzano lavoratori altamente qualificati e la risoluzione dei problemi è basata su un insieme di competenze, processi e prodotti semilavorati.>>

Per diversi tipi di progetti software, commerciali o open source, il tipo e la quantità di informazioni necessarie possono variare, ma potrebbero tutti beneficiare dello sviluppo guidato dal sistema MES incentrato sull'integrazione delle informazioni. L'idea di collegare i vari flussi di informazioni su persone e strumenti è intrinsecamente preziosa nello sviluppo del software, indipendentemente dalla correlazione delle operazioni effettive nella produzione industriale.

I principi del MES, incentrati sull'integrazione delle informazioni, non sono recenti. Tuttavia, il loro pieno utilizzo rimane ancora oggi una visione per lo sviluppo del software.

## 2. Funzionalità MES applicate all'ingegneria del software

Il primo e fondamentale principio del MES è che le sue aree funzionali sono tutte basate sui processi di prodotto di uso comune e sui dati che possono essere raccolti dai processi. Nella produzione con MES, i dati grezzi vengono costantemente raccolti, registrati e organizzati dai processi di produzione per l'uso in altre aree. La raccolta di misure è il fattore più importante per ottenere un processo controllato. Sebbene ciò sia vero anche in teoria per lo sviluppo del software, in pratica, la raccolta e l'acquisizione automatizzata di dati nei progetti di sviluppo software oggi non sono comuni.

Nei progetti software è necessaria una vasta gamma di misurazioni, inclusi non solo i dati relativi alla funzione del software, numero di bug, righe di codice, ma anche indici di qualità e produttività relativi agli sviluppatori.

*Martin Naedele* afferma che si distinguono le seguenti 10 aree funzionali:

#### **I) Gestione del lavoro**

La gestione del lavoro diretto dirige e tiene traccia della disponibilità e dell'utilizzo del personale di produzione in base a competenze e qualifiche nonché a vincoli come le assenze. Informazioni complete sugli sviluppatori, oltre a quelle necessarie nei sistemi MES tradizionali, potrebbero essere prese in considerazione durante l'assegnazione delle attività di sviluppo software.

#### **II) Allocazione e stato delle risorse**

L'allocazione delle risorse con il MES riguarda la direzione e il monitoraggio della mappatura specifica di persone, strumenti e materiali alle attività. Nello sviluppo del software, le principali risorse che devono essere allocate sono le persone. Per i nuovi sviluppi, soprattutto quando si utilizzano pratiche agili, le allocazioni delle attività sono in genere informali e guidate dalla disponibilità e dall'interesse personale dello sviluppatore che seleziona l'attività, ma non da aspetti organizzativi come le esigenze di formazione incrociata. Potrebbe essere necessario gestire anche altre risorse scarse, ad esempio licenze per strumenti speciali e accesso a schede di prototipazione e strumenti di debug dell'hardware.

#### **III) Dispacciamento di unità produttive**

La fase di dispacciamento si occupa della decisione su quali attività lavorare su quelle successive, date priorità, dipendenze e risorse. Analogamente all'allocazione delle risorse, l'invio di attività di sviluppo software viene in genere eseguito dai team leader in modo informale sulla base di elenchi di requisiti e pianificazioni acquisiti nei piani di gestione del progetto. L'invio delle attività di test può essere più formale se si utilizzano piani di gestione dei test. I test di compilazione e integrazione sono spesso automatizzati e attivati dal check-in del codice nel sistema di gestione della configurazione del software.

#### **IV) Tracciabilità del prodotto e genealogia**

Un'organizzazione produttrice di software per il mercato di massa potrebbe non essere interessata a dove i loro prodotti sono venduti, installati e utilizzati e quindi potrebbe non essere necessario tracciare il prodotto. Tuttavia, in un numero crescente di domini applicativi, il business del software non è un

evento di vendita occasionale; la vendita iniziale è solo il punto di partenza per una serie continua di aggiornamenti avviati dal fornitore. A tale scopo, il fornitore del software deve sapere quale cliente ha quali versioni del software in modo che la comunicazione con i clienti e l'aggiornamento delle implementazioni possano essere pianificati ed eseguiti in modo efficiente. Oggi c'è una crescente aspettativa che i fornitori di software accettino la responsabilità di supportare i propri clienti nella rimozione di vulnerabilità legate alla sicurezza o difetti rilevati dopo il rilascio, e ad un certo punto questo potrebbe persino diventare legalmente obbligatorio in alcuni settori.

Il monitoraggio della provenienza dei contributi al prodotto software è importante per tre motivi: il primo deriva dalla proprietà intellettuale e dalle leggi sul copyright. E' necessario assicurarsi e documentare che nell'applicazione sviluppata non venga utilizzato alcun IP senza licenza. Il secondo motivo deriva da altri requisiti legali che richiedono la prova che gli sviluppatori coinvolti nella creazione di determinati artefatti hanno determinate qualifiche o soddisfano altri vincoli personali come la cittadinanza o l'autorizzazione di sicurezza. Una combinazione di genealogia del prodotto e funzioni di gestione del lavoro può raggiungere questo obiettivo. Anche se non soggetti a requisiti a livello di individui, le normative sul controllo delle esportazioni di alcuni paesi richiedono che un fornitore sia in grado di documentare le regioni geografiche da cui provengono determinati sottosistemi, ad esempio la crittografia. In un caso più generale, esistono vari standard che richiedono la raccolta e la presentazione di prove alle agenzie di certificazione che sono stati seguiti determinati requisiti del processo di ingegneria del software e del sistema. La presente documentazione di conformità per la certificazione, ad es. IEC 61508 (sicurezza) o IEC 15408 (criteri comuni di sicurezza) è impegnativa e costosa da creare senza strumenti integrati. Preoccupazioni per le backdoor o altre vulnerabilità di sicurezza intenzionali o funzionalità dannose forniscono una terza motivazione per il monitoraggio della provenienza. Un cliente potrebbe voler conoscere l'origine di tutti i pezzi in un'applicazione software o in un sistema incorporato per valutare il rischio di infiltrazione di malware.

Per far fronte alle sfide sopra descritte, un'applicazione software MES dovrebbe essere in grado di cercare la base di codice prodotta per le collisioni con noto codice sorgente problematico e anche di gestire in modo sicuro certificati dettagliati di provenienza / originalità forniti dagli sviluppatori insieme a ogni pezzo e versione di codice sottoposti al sistema di gestione della configurazione del software. Per ogni prodotto e versione il MES dovrebbe essere in grado di fornire una "distinta materiali" software annotata con informazioni sulla provenienza a prova di manomissione.

## **V) Gestione della qualità**

In un MES, la gestione della qualità comporta la registrazione e il monitoraggio dei parametri di qualità misurati dei prodotti e dei processi di lavoro, confrontandoli con gli obiettivi e innescando reazioni sulla qualità inferiore agli obiettivi. Molti strumenti di sviluppo software dispongono di API (Application Programming Interface) per il calcolo delle metriche, ma tale raccolta di dati avviene raramente in modo integrato e con ampia copertura. Data l'ampia accettazione dei sistemi di localizzazione e controllo delle versioni, diventa possibile rintracciare ogni difetto in tempi concreti. Sebbene un gran numero di articoli di ricerca abbia proposto di sfruttare tali dati ai fini di varie analisi, come la previsione dei difetti, oggi non è disponibile un meccanismo integrato e sistematico di raccolta e sintesi dei dati.

## **VI) Analisi di performance**

In un MES, l'analisi delle prestazioni comprende la misurazione dei parametri di esecuzione delle attività, il calcolo degli indicatori chiave di prestazione (KPI), in termini di qualità, disponibilità, produttività e il confronto con gli obiettivi fissati dall'organizzazione o da organismi di regolamentazione esterni, nonché la presentazione e la visualizzazione di questi KPI per varie parti interessate. Nei progetti di sviluppo software, l'analisi delle prestazioni per diverse parti interessate è simile. A tale scopo sono disponibili varie metriche relative al processo e al prodotto. Mentre alcuni cicli di feedback basati sull'analisi delle prestazioni sono ovvi, si potrebbero anche immaginare applicazioni più sofisticate, ad esempio per fornire alle architetture software un feedback tempestivo sull'attuazione accurata ed efficiente. Bisogna fare attenzione a gestire il compromesso tra analisi dettagliata dei dati di qualità e prestazioni e valutazione delle prestazioni rilevanti per gli incentivi per i singoli dipendenti e unità che potrebbero produrre effetti collaterali non intenzionali e controproducenti o addirittura provocare conflitti con le leggi locali sul lavoro e i requisiti sindacali. Un software MES potrebbe garantire che a ciascun stakeholder siano disponibili solo informazioni adeguatamente aggregate.

## **VII) Gestione dei processi (avanzamento dello sviluppo)**

La gestione dei processi in MES prevede la direzione e il monitoraggio del flusso di lavoro attraverso l'impianto, la creazione di allarmi in caso di deviazioni e il supporto decisionale per correggere le deviazioni o reagire ad altri eventi, inclusi i flussi di lavoro di approvazione e la gestione delle escalation. Sono disponibili strumenti per rilevare e fornire indicazioni sulle



deviazioni dei processi nello sviluppo del software, ad esempio sotto forma di sistemi di build che inviano avvisi in caso di build non funzionanti, suite di test di regressione e visualizzazione del software e strumenti di analisi dell'impatto per supportare il team di sviluppo nella ricerca dell'approccio meno rischioso per apportare le modifiche necessarie.

#### **VIII) Operazioni / programmazione dettagliata**

In un MES, la pianificazione comporta il sequenziamento ottimale delle attività considerando le capacità finite delle risorse e altri vincoli. Il supporto per la pianificazione nello sviluppo di software esiste sotto forma di strumenti di definizione delle priorità dei requisiti online e offline, strumenti di pianificazione della gestione dei progetti tradizionali e strumenti di gestione degli arretrati.

#### **IX) Controllo documenti**

In un MES, il controllo dei documenti comporta la distribuzione di informazioni pertinenti alle persone che svolgono le attività al momento giusto (si parla di documentazione di processo, documentazione di progettazione, ordini di lavoro) e la raccolta di nuovi documenti risultanti dalla produzione (ad es. Documentazione di progettazione, documenti di prova / controllo qualità, certificazioni di provenienza). L'ingegneria dei processi di produzione industriale si impegna molto nel rendere chiare e concise le istruzioni sull'attività da svolgere e nel rendere disponibili al lavoratore le informazioni di supporto necessarie al momento e nel luogo giusti. L'obiettivo è ridurre al minimo il tempo necessario al lavoratore per cercare informazioni o strumenti. Parte della funzionalità di controllo dei documenti del software MES potrebbe quindi anche essere costituita da interfacce per sperimentare sistemi di gestione, fornire esperienze utili allo sviluppatore appena in tempo sulla base del contesto del progetto e fornire informazioni sull'utilizzo e sul beneficio nel repository di esperienze. Nello sviluppo del software, esiste in genere un sistema di gestione dei documenti per l'archiviazione a lungo termine e la gestione delle versioni dei documenti. Oltre a ciò, gli sviluppatori di software ricevono scarso supporto dai sistemi che forniscono documentazione selezionata per l'attività da svolgere. Informazioni come requisiti correlati, descrizioni di progettazione e ticket di tracciamento dei problemi sono generalmente conservati in sistemi separati e devono essere integrati manualmente dallo sviluppatore.

#### **X) Gestione della manutenzione**

In un MES, la gestione della manutenzione comporta la raccolta di statistiche sulle prestazioni e il tempo di attività degli strumenti e la pianificazione di

lavori di miglioramento e investimenti. Poiché nello sviluppo del software sono coinvolti pochi strumenti fisici soggetti a usura, la manutenzione della macchina è di scarsa importanza. Tuttavia, è chiaro che il software cambia molto più frequentemente di quanto la manutenzione dell'hardware e del software, nel senso di accogliere nuove funzionalità, possa consumare fino all'80% dello sforzo complessivo del progetto.

Inoltre, si potrebbe immaginare che il rallentamento e i tempi di inattività dell'infrastruttura IT per gli aggiornamenti di software o hardware o le scansioni antivirus potrebbero essere integrati con gli strumenti di pianificazione e invio per evitare inutili tempi di attesa. Altri aspetti di manutenzione relativi all'utilizzo degli strumenti e alla soddisfazione dell'utente potrebbero innescare la sostituzione degli strumenti o la formazione degli utenti.

I dati temporali sull'uso degli strumenti possono essere utilizzati per identificare dove viene impiegato il tempo nel progetto e quindi trovare quali elementi di processo sono inefficienti e causano “strozzature”.

#### 4. Lacune tra gli strumenti di sviluppo software esistenti e la visione MES

Come visto dalla sezione precedente, esiste un notevole potenziale di produttività, efficienza e miglioramenti della qualità nel prestare funzionalità MES comprovate, dalla produzione al dominio di sviluppo software. Tuttavia, la mappatura delle aree funzionali MES al processo di sviluppo del software è, sorprendentemente, precisa. Analizzando le proprietà “uniche” del software e del suo sviluppo, possiamo analizzare i principali divari tra l'ingegneria del software all'avanguardia e le pratiche MES. Si noti che non stiamo sostenendo che queste lacune sono impossibili da colmare, al contrario. Ci sono molte sfide. Tuttavia, affermiamo che i set di strumenti di ingegneria del software esistenti oggi ignorano ampiamente queste lacune, a scapito dei sistemi e dei progetti che questi set di strumenti pretendono di supportare. Quindi come fa notare *Martin Naedele*, tra le varie lacune distinguiamo:

,

- **Mancanza di uso integrato dei dati relativi alle persone**

La gestione delle qualifiche e dei talenti e gli aspetti di sviluppo personale o della carriera sono raramente integrati in tali strumenti e nei relativi processi. La visibilità e la pianificazione delle risorse dei membri del team sono raramente raggiunte e ciò è ancora più difficile quando il team è distribuito a livello globale. I dati relativi alle serie temporali potrebbero anche essere utilizzati per monitorare e valutare i tassi di successo della formazione del personale.

Rispetto ad altri tipi di dati di progetti software, come la storia dell'evoluzione, i dati sulle persone in genere non vengono registrati come parte della gestione del progetto software. E tali dati, che sono comunemente disponibili nei sistemi HR o ERP, vengono raramente utilizzati per la gestione dei team di sviluppo software. Attualmente la maggior parte delle organizzazioni di sviluppo software non dispone dei dati integrati necessari per supportare tale processo decisionale.

- **Mancanza di un'infrastruttura di raccolta dati efficace e unificata**

Sebbene alcuni dei dati necessari nello sviluppo del software MES esistano in vari strumenti nell'uso attuale, questi dati hanno formati eterogenei associati ai propri strumenti per i propri scopi. La cronologia delle revisioni e i dati di tracciamento dei bug, ad esempio, sono generalmente gestiti da strumenti separati, anche se strettamente correlati. È possibile creare documenti relativi a requisiti e progetti, ma la loro evoluzione non è gestita e controllata attentamente come quella del codice sorgente e la gestione di questi documenti è disconnessa da altri fattori, come codici e casi di test. Più seriamente, nelle grandi organizzazioni, la progettazione dell'architettura e il controllo qualità sono generalmente gestiti da dipartimenti diversi, utilizzando suite di strumenti separate, rendendo più difficile la raccolta uniforme dei dati.

Alcuni lavori di ricerca sono stati condotti sulla costruzione di infrastrutture per la raccolta di dati di ingegneria del software ma nonostante i casi studio che riportano risultati positivi, forniscono solo una parte del MES previsto per il software e in ogni caso non sono stati ampiamente adottati. Per consentire un'analisi approfondita significativa o persino il controllo a circuito chiuso dei processi di sviluppo, sarà necessario raccogliere i dati delle serie temporali campionati a intervalli regolari invece di raccogliere solo i dati associati ad eventi come il check-in del codice.

- **Mancanza di quadri concettuali comuni che guidano i cicli di miglioramento dai dati di sviluppo**

Per realizzare un processo di sviluppo software basato sulla visione MES, è necessario combinare e correlare misure e dati provenienti da diverse aree. Ad esempio, stime accurate sulle dimensioni e sullo sforzo dimostrano che queste dipendono dalla raccolta di dati storici di alta qualità sullo sforzo necessario per

le attività di implementazione insieme a parametri correlati come i livelli di qualificazione degli sviluppatori e la qualità del codice .Il degrado della produttività e della qualità sono generalmente il risultato di un degrado architettonico. Pertanto sono necessari metodi di analisi per chiudere il circuito tra architettura e implementazione.

Per creare sistemi di analisi, previsione e avviso, dobbiamo aver concordato comunemente metriche e indicatori, API standardizzate per l'estrazione dei dati dagli strumenti e basi di riferimento valide per diversi tipi di progetti di sviluppo, ad esempio applicazioni open source o commerciali.

- **Manca di supporto per proiezioni e simulazioni future integrate**

Nella produzione con il MES, la pianificazione prevede la selezione delle attività da svolgere nel prossimo futuro sotto vincoli quali risorse limitate e l'obiettivo di ottimizzare i risultati. Un elemento importante nella pianificazione è la proiezione del prossimo futuro: quali requisiti devono essere affrontati nella prossima versione? Quali bug dovrebbero essere corretti per primi? Quali parti del codice dovrebbero essere refactored? Quali saranno le conseguenze del refactoring, o non refactoring, in termini di costi e benefici? Sfortunatamente, mentre esiste un supporto metodologico per combinare l'analisi dell'architettura e l'analisi costi / benefici , non esistono strumenti o framework che consentano la futura proiezione e simulazione che sono necessarie per un'efficace programmazione e dispacciamento. ‘

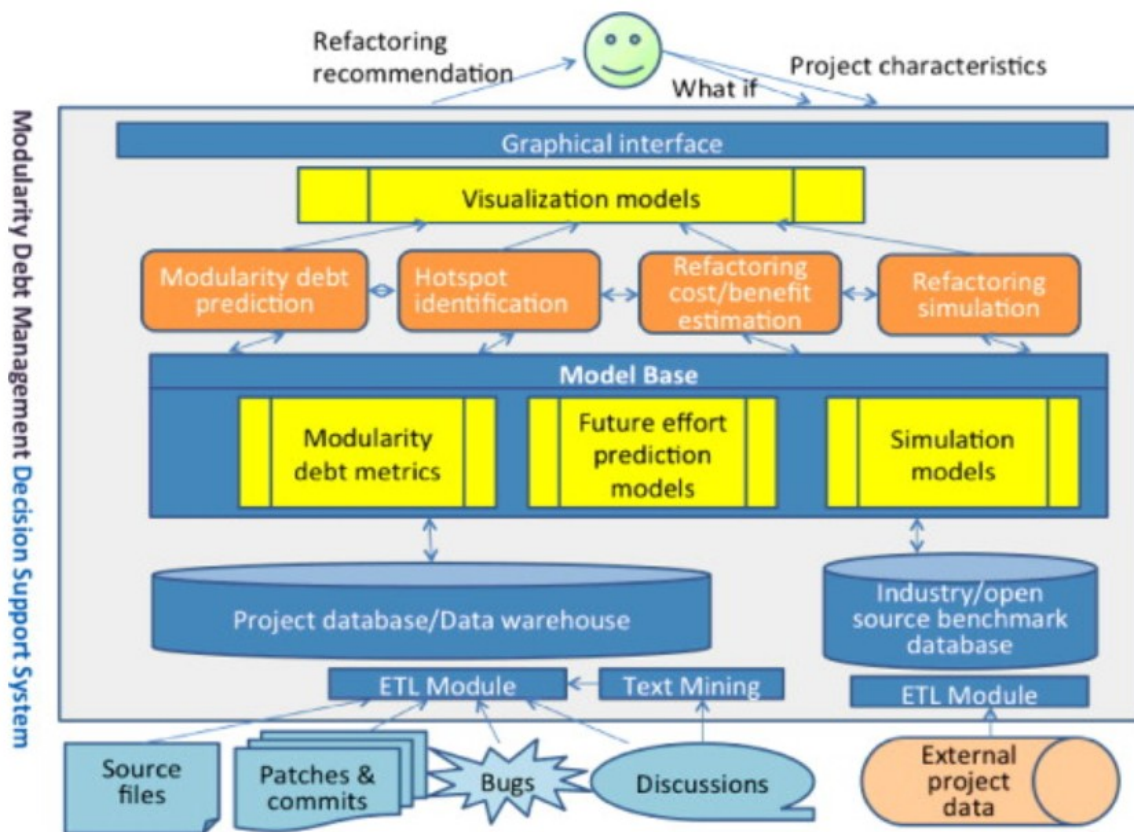
In sintesi, dati i recenti progressi negli strumenti di gestione dell'ingegneria del software, come i sistemi di tracciamento dei problemi, i sistemi di gestione degli arretrati, nonché i social media che supportano la collaborazione e le comunicazioni tra gli sviluppatori, la maggior parte dei dati necessari come base per un software MES sono prontamente disponibili. Tuttavia, a causa del fatto che questi dati sono prodotti da strumenti separati e di solito gestiti da diversi dipartimenti di una grande organizzazione, il framework necessario per l'integrazione e l'acquisizione delle informazioni non è ancora disponibile. Inoltre, le informazioni sulle persone, che di solito sono gestite dall'ufficio risorse umane, dovrebbero essere integrate con altri dati di progetto generati dal processo di sviluppo.

Nota. Letteralmente deposito o ripostiglio, in informatica, il repository è l'ambiente di un sistema informativo in cui vengono gestiti i metadati attraverso tabelle relazionali. [Wikipedia]

## 7.1 PROTOTIPO MDM-DSS

Martin Naedele presenta un sistema prototipo , sviluppato negli ultimi anni, chiamato **Sistema di supporto alle decisioni sulla gestione del debito in modularità** che dimostra come si possono colmare le lacune sopra individuate, spostandoci verso la visione dello sviluppo di software guidato tramite MES. L'MDM-DSS è illustrato di seguito.

Prototipo MDM-DSS. (Martin Naedele,2015,Science Direct)



L'obiettivo che motiva questo esempio è la *gestione della qualità del software*. In particolare, si cerca di misurare e gestire il debito di modularità (progettazione) in progetti software complessi. Per raggiungere questo obiettivo sono stati applicati i principi MES e costruito un'*infrastruttura di raccolta dati* che costituisce la base per un sistema di supporto alle decisioni. Gli input per il sistema (inclusi codice sorgente, patch, segnalazioni di errori, ecc...) sono gli output di un tipico processo di sviluppo software. I moduli ETL (extract, transform, and load), gli strumenti di mining del testo e il data warehouse del progetto, è

simile all'infrastruttura di raccolta e acquisizione dei dati di un sistema MES. I modelli di previsione dello sforzo e i modelli di simulazione sono equivalenti ai componenti di aree funzionali specifiche di un MES, come la gestione della qualità e l'analisi delle prestazioni. Analogamente, la previsione del debito di modularità, l'identificazione di hotspot, la stima dei costi / benefici del re-factoring e la simulazione del re-factoring possono essere considerati equivalenti alle aree MES di allocazione delle risorse, gestione della manutenzione e pianificazione.

Nell'infrastruttura MDM-DSS i dati vengono raccolti da progetti e persone. Secondo *Martin Naedele*, «essi possono interessare dati sui file di origine, modifiche nel tempo a tali file, bug e rapporti sui problemi che interessano il sistema e archiviati in un “magazzino dati” specifico del progetto». Per stimare lo sforzo vengono modellati i dati delle persone ed analizzate le discussioni associate. Così facendo si possono anche determinare i profili di diversi programmatori in relazione all'efficacia alla produttività e all'esperienza.

Nell'MDM-DSS è inoltre consentito utilizzare i dati *esterni* a un determinato progetto. Ciò è particolarmente utile se un progetto è giovane e quindi non ha una lunga storia su cui basare le decisioni. L'uso di dati di progetto esterni consente di prendere decisioni basate su una serie di progetti standard a livello aziendale o industriale.

Per limitare la terza lacuna (Mancanza di quadri concettuali comuni che guidano i cicli di miglioramento dai dati di sviluppo), *Martin Naedele* suggerisce di estrarre le metriche di complessità del software e le misure di sforzo del progetto. Usando queste misure possiamo determinare “aree di debito” a modularità potenzialmente elevata. Tramite il mining della cronologia del progetto, possiamo determinare se le aree della base di codice identificate sono anche siti di cambiamenti futuri previsti. Difatti, non ha senso usare risorse di progetto per "riparare" una parte del codice che cambia raramente. Per questo motivo occorre effettuare un'attività di simulazione, per determinare il potenziale payoff associato alla riduzione del debito tecnico. Tutte queste informazioni possono quindi essere presentate a un manager, il quale eseguendo una serie di diversi scenari ipotetici, può prendere decisioni in base ai costi previsti e ai potenziali benefici di vari re-factoring. Per minimizzare la quarta lacuna (Mancanza di supporto per proiezioni e simulazioni future integrate) si è

sperimentato l'uso del metodo Datar – Mathews come mezzo per valutare l'attività di ri-modularizzazione (re-factoring).

Una vera opzione è il diritto, ma non l'obbligo, di effettuare un investimento in futuro. Il metodo Datar-Mathews è stato originariamente sviluppato per essere utilizzato nella Boeing Corporation ed è più trasparente e intuitivo da applicare per i manager pur essendo analiticamente equivalente al Black-Scholes. Inoltre, può essere facilmente implementato utilizzando la simulazione Monte Carlo. La simulazione Monte Carlo consiste in genere in una struttura matematica e in una suite di strumenti di accompagnamento. Questo ci consente di simulare il valore delle attività di modularizzazione proposte, negli scenari che scegliamo. Il valore del re-factoring di una parte specifica di un corpus di software, ad esempio, è legato al modo in cui tale parte dovrebbe evolversi, che a sua volta dipende dalle esigenze degli utenti. Il valore dell'opzione reale di un'attività di re-factoring viene calcolato simulando la seguente formula utilizzando un pacchetto di simulazione, come Oracle Crystal Ball o Palisade @Risk:

### **Real Option Value=Average[ $\text{MAX}(\text{profit}-\text{cost},0)$ ]**

profit= distribuzione degli utili attualizzati al momento 0

cost= costo stimato per implementare le specifiche attività di rimodularizzazione.

Ciò che stiamo cercando di modellare con questo metodo è chiaro. Più spesso ci si aspetta di modificare un modulo, più valore si otterrà "acquistando l'opzione" per rendere più semplice la modifica e la manutenzione di quel modulo. Dal punto di vista pratico, *Martin Naedele* prende in considerazione il seguente esempio. << Se la logica aziendale in un sito di e-commerce viene frequentemente modificata, allora è vantaggioso che questa logica sia "facile da cambiare">>. Inoltre << Per stimare il vantaggio del re-factoring della logica aziendale, le parti interessate devono stimare la futura volatilità di quella parte del codice: *con quale frequenza si prevede che la logica aziendale cambi e in che modo?*>> Un project manager può fare queste stime in base all'intuizione o, meglio ancora, dai dati storici del progetto. La distribuzione utilizzata nella simulazione richiede che lo stakeholder del progetto stimi un valore

ottimistico, pessimistico e molto probabile per qualsiasi parametro stimato. Dato il *numero* previsto di modifiche al modulo, lo si moltiplica semplicemente per il *risparmio sui costi previsti* per determinare i benefici totali. Il manager può sfruttare i dati raccolti dalla cronologia del progetto nell'MDM-DSS per stimare questi risparmi sui costi (il vantaggio) e può utilizzare il modulo identificato come candidato di re-factoring per stimare il costo del re-factoring stesso.

## **CONCLUSIONI**

Siamo ancora agli inizi della Quarta Rivoluzione Industriale, ma ciò nonostante sembra ben delineata la strada che verrà seguita nell'ambito dell'organizzazione e pianificazione della produzione aziendale. Alla base dell'evoluzione a cui stiamo assistendo c'è una sempre più stretta collaborazione tra uomo e macchina che potrebbe portare anche ad una completa automazione di alcune attività produttive.

Un cambiamento di questo tipo ed entità si ripercuoterà anche nella pianificazione della produzione che, si prevede, necessiterà sempre più di sistemi integrati di analisi e controllo come il MES. I sistemi MES stanno progressivamente acquisendo importanza nelle aziende manifatturiere perché permettono di ottenere molti vantaggi nell'ambito operativo, della tempistica e della flessibilità. Tuttavia, i sistemi MES sono costosi e richiedono integrazioni complesse e questo li rende non accessibili o funzionali per tutti i tipi di aziende. Gli imprenditori sono ancora scettici sull'utilizzo di questo strumento. Non tanto perché sottovalutano i vantaggi che rappresentano, quanto perché vedono nei costi, nell'organizzazione interna e nelle iniziali difficoltà di implementazione delle difficoltà insormontabili. È necessario un cambio di mentalità imprenditoriale per passare da una filosofia "vecchia" di azienda manifatturiera ad una di "Industry 4.0" che, come discusso, è per sua natura indirizzata all'utilizzo di sistemi smart ed integrati. Una volta valutati tutti quei fattori di rischio che possono comprometterne il corretto funzionamento, il sistema MES implementato ed interfacciato in modo corretto, sicuramente permette all'azienda di ottenere un notevole vantaggio competitivo sul mercato accrescendo così reputazione e relativi ricavi.



Secondo quanto analizzato sopra una tecnologia importante per lo sviluppo del MES è quella RFID. Possibili evoluzioni importanti sono anche i modelli “olonici” e “ad agente”. Tutte queste architetture, non sempre riscontrabili nei processi industriali, nel futuro prossimo dovranno essere considerate come parte integrante del processo produttivo.

Questo dovrà sempre più essere integrato all’ingegneria del software ed evolversi verso un’ottica di Lean Production dove la produzione viene effettuata in maniera profondamente diversa rispetto a quella tradizionale. In conclusione, come già visto, l’implementazione di un sistema MES richiede rilevanti investimenti economici, organizzativi e temporali. Ma nella rivoluzione industriale ,che sta portando a ridisegnare i prodotti e i processi produttivi, il MES diventa un investimento particolarmente elevato considerando le potenziali ottimizzazioni che si otterrebbero a livello di pianificazione, controllo, efficienza, flessibilità e quindi costi di produzione.

## **BIBLIOGRAFIA**

(materiale didattico corso di “Meccanica delle macchine” 2019/2020)

(materiale didattico corso di “Logistica industriale” 2019/2020)

(Wikipedia)

(siti internet)

(sito ufficiale Tecnest)

(Martin Naedele, 2015)

(Rafal Cupek, 2016)

(Gianluca D’Antonio, 2017)

(Sherwin Menezes, 2018)

## **RINGRAZIAMENTI**

Si dice che dopo i 18 anni il tempo voli e in questo caso non è stata fatta eccezione. Sembrava ieri che iniziavo ad approcciare con il mondo universitario nella facoltà di ingegneria gestionale ed ora, a distanza di pochi anni, mi trovo in procinto di conseguire la laurea triennale. Senza dubbio è stata un'esperienza unica, che ha contribuito alla mia formazione sia dal punto di vista didattico che da quello umano. Tutte le esperienze vissute hanno contribuito a fornirmi un bagaglio tecnico-culturale, difficilmente riscontrabile in altri ambienti e questo è stato forse uno degli elementi più rilevanti del percorso.

Come in ogni avventura, d'altronde, si sono presentate delle difficoltà e degli ostacoli che da solo non avrei potuto superare e qui di seguito vorrei ringraziare quelle persone che sono state importanti se non fondamentali per il raggiungimento di questo traguardo.

Innanzitutto vorrei citare e ringraziare il professor Maurizio Bevilacqua che ha coordinato l'attività di tirocinio e la preparazione di questa tesi, riguardanti il suddetto MES, nonché per le conoscenze in ambito aziendale fornite nel corso di "Logistica industriale". Vorrei ringraziare Emiliano Massi e il suo team, inclusi tutti i collaboratori/insegnanti affiliati con cui ho avuto il piacere di lavorare e che hanno giocato un ruolo fondamentale per il superamento di alcuni esami particolarmente impegnativi. Ugualmente importante è stato il supporto di Marco Colavecchia che ha monitorato l'operato contribuendo, così, alla realizzazione della tesi in maniera efficiente e professionale. Inoltre non posso non citare i miei "colleghi di lavoro", o meglio amici di università con i quali ho condiviso importanti esperienze "lavorative" e personali. Senza il loro aiuto sarebbe stato molto più difficile il superamento di determinati esami e non avrei vissuto momenti fantastici, anche al di fuori delle mura universitarie. In particolare li ringrazio per aver risposto ai lunghi interrogatori ai quali sono stati sottoposti. Proseguendo devo, obbligatoriamente, includere in questo paragrafo tutti i miei gruppi di

amici più stretti, al di fuori dell'università, con i quali ho condiviso feste, vacanze, discussioni e tanto altro ancora. Sono innumerevoli le esperienze fatte e sicuramente ce ne saranno altrettante.

Anche grazie a loro ho liberato la mente dallo studio nei momenti più impegnativi, il che mi ha dato una spinta fondamentale verso la meta finale.

Per evitare di dimenticare qualcuno ringrazio tutti quelli che hanno contribuito alla mia formazione e mi hanno consigliato di scegliere questa facoltà, tramite suggerimenti ed esperienze personali.

Infine ,per ultimi ma non per importanza un enorme GRAZIE va alla mia famiglia, in particolare ai miei genitori Elisio e Sandra, a mio fratello Paolo e alle mie nonne; senza dimenticare cugini e zii. In più, con un pensiero speciale a chi da lassù mi guida costantemente nella vita di tutti i giorni. Inutile dire che senza il sostegno della mia famiglia non sarei quello che sono oggi e di conseguenza tutto questo non sarebbe stato possibile, pertanto ogni parola in aggiunta sarebbe superflua. Purtroppo non ho potuto inserire tutti i nomi per evitare di creare solamente un unico grande elenco, ma la cosa che mi premeva di più era quello di includervi in questo paragrafo.

Per concludere questa piccola parte di ringraziamenti vi dico ancora una volta **GRAZIE**, grazie per aver giocato un ruolo fondamentale in questo percorso di laurea triennale e non solo.

Non potrei desiderare di meglio per affrontare la laurea magistrale, il mondo lavorativo e soprattutto le sfide quotidiane che la vita ci mette davanti.