



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

**Il MES: studio e valutazione dell'applicabilità per la
pianificazione della produzione di motori elettrici**

The MES: study and evaluation of the applicability for the
production planning of electric motors

Relatore:

Prof.ssa. **Maura Mengoni**

Tesi di Laurea di:

Francesco Cicconi

Anno Accademico 2019/2020

Indice

INTRODUZIONE	2
CAPITOLO 1	3
1 CONTESTO: INDUSTRIA 4.0	3
1.1 RIVOLUZIONI INDUSTRIALI	4
1.2 CARATTERISTICHE INDUSTRIA 4.0	6
1.3 SOFTWARE PER LA GESTIONE AZIENDALE	8
CAPITOLO 2	10
2 MES	10
2.1 DEFINIZIONI DI MES	11
2.1.1 MESA	11
2.1.2 ISA-95	13
2.1.3 NAMUR	14
2.1.4 VDI.....	15
2.2 FUNZIONI MES.....	16
2.3 FOCUS GESTIONE DELLA PRODUZIONE CON MES	19
2.3.1 PIANIFICAZIONE:	19
2.3.2 CONTROLLO:.....	21
2.4 STATO DELL'ARTE.....	22
2.4.1 TENDENZE PER LO SVILUPPO DEL MES	22
2.4.2 RUOLO DEL MES NELL'INDUSTRIA 4.0	25
2.5 INTERFACCIA ERP-MES:	27
CAPITOLO 3	29
3 ELSAMEC:	29
3.1 PRODOTTI:.....	30
3.2 PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE	32
3.3 VANTAGGI E SVANTAGGI NELL'INTRODUZIONE DEL MES.....	36
3.4 ANALISI SWOT	37
3.5 BUSINESS PROCESS REENGINEERING	41
CONCLUSIONE	43
BIBLIOGRAFIA	44

Introduzione

Le industrie manifatturiere nel corso degli anni hanno affrontato radicali cambiamenti sia nel modo di produrre, sia nel modo in cui vengono gestite le informazioni. I software per la gestione aziendale stanno diventando sempre più importanti per mantenere un'organizzazione competitiva, di fronte ad un mercato sempre più esigente. Il presente elaborato ha l'obiettivo di descrivere uno di questi sistemi, il MES, incentrato sul controllo delle funzioni di produzione, andando ad esaminare gli aspetti positivi e negativi che questi software generano all'interno di un contesto aziendale tradizionale. Il punto di partenza coincide con la descrizione del contesto attuale dell'industria 4.0, per poi proseguire con la trattazione delle origini del MES. Sono state elencate le diverse definizioni date nel corso del tempo, basate sulle funzioni e sui compiti tipici di questi sistemi, fino ad arrivare agli sviluppi che hanno permesso al MES di conservare la propria importanza all'interno della struttura produttiva. La seconda parte dell'elaborato invece riguarda il lavoro svolto presso la Elsamec, azienda leader nella produzione di elettroriduttori per serrande. In particolare, è stato compilato un piano di produzione per una serie di articoli che devono subire operazioni di tornitura, utilizzando un foglio di calcolo Excel. Sono stati quindi individuati i vantaggi e gli svantaggi che potrebbero emergere in seguito all'implementazione del MES, facendo riferimento all'esperienza aziendale descritta. Lo studio si è concluso con un'ulteriore analisi, utilizzando come strumento la matrice Swot; essa permette alle organizzazioni di effettuare una prima valutazione generale e da diverse prospettive su un investimento importante come l'installazione del MES.

Capitolo 1

1 Contesto: Industria 4.0

La produzione industriale è oggi guidata dalla competizione globale e dalla necessità di un rapido adattamento della produzione alle mutevoli richieste del mercato. Questi requisiti possono essere soddisfatti solo da radicali progressi nell'attuale tecnologia di produzione. L'Industria 4.0 è un approccio basato sull'integrazione dei processi di business e di produzione, nonché sull'integrazione di tutti gli attori nella catena del valore dell'azienda (fornitori e clienti). Il termine Industria 4.0 indica la quarta rivoluzione industriale, definita come un nuovo livello di organizzazione e controllo sull'intero ciclo di vita dei prodotti. L'industria 4.0 è un concetto che include Internet of Things, Industrial Internet of Things, Smart Manufacturing and Cloud based Manufacturing.

L'**IoT** è una rete di dispositivi connessi che possono comunicare tra loro e fornire dati agli utenti tramite Internet. I dispositivi IoT possono collegarsi a Internet e spesso dispongono di sensori che gli permettono di raccogliere dati. [1]

L'**IIoT** è una sottocategoria dell'IoT. Il termine si riferisce alle tecnologie IoT applicate all'ambiente industriale, ovvero nelle infrastrutture del settore manifatturiero. [1]

MESA¹ definisce la **Smart Manufacturing** come una forma di “*organizzazione e ottimizzazione intelligente e in tempo reale dei processi aziendali, fisici e digitali all'interno delle fabbriche e lungo l'intera catena del valore. Risorse e processi sono automatizzati, integrati, monitorati e valutati continuamente sulla base di tutte le informazioni disponibili il più possibile in tempo reale*”.

Infine, il **Cloud based Manufacturing** può essere rappresentato come un metodo per abilitare, tramite la rete, l'accesso diffuso agevole e a richiesta, ad un insieme

¹ MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) International è un'organizzazione no profit globale che fornisce formazione su Smart Manufacturing e MES / MOM. I membri di MESA includono produttori, leader del settore e fornitori di soluzioni che si concentrano sull'ottimizzazione dei risultati aziendali a partire dalle informazioni di produzione.

condiviso e configurabile di risorse manifatturiere (ad esempio software di supporto alla produzione, risorse e capacità produttive) che possono essere acquisite e rilasciate rapidamente e con minimo sforzo di gestione o di interazione con il fornitore di servizi. [2]

1.1 Rivoluzioni industriali

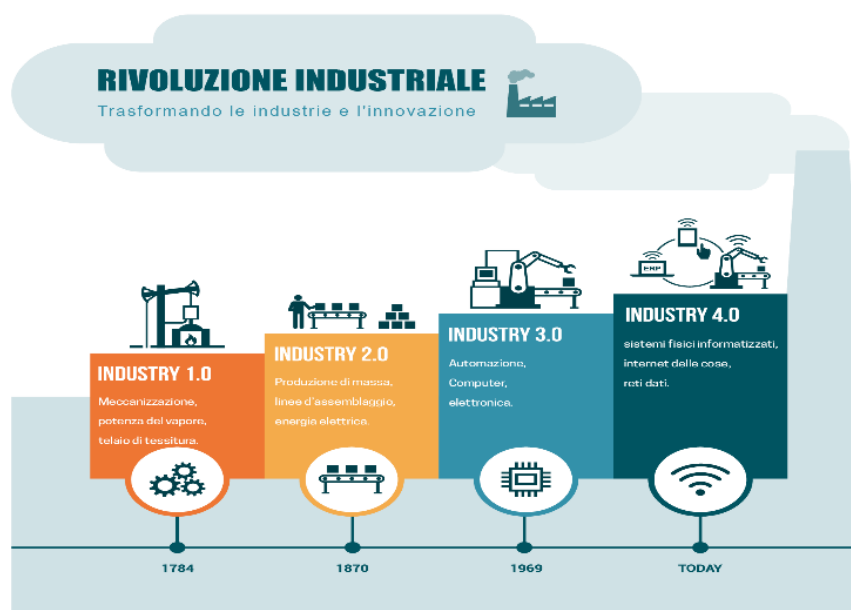


FIGURA 1 SCHEMATIZZAZIONE DELLE QUATTRO RIVOLUZIONI INDUSTRIALI [6]

La quarta rivoluzione industriale è stata preceduta da altre tre: la prima iniziò con la meccanizzazione e la generazione di energia meccanica nel 1800. Ha portato il passaggio dal lavoro manuale ai primi processi di fabbricazione, principalmente nell'industria tessile. Una migliore qualità della vita è stata il principale motore del cambiamento. La seconda rivoluzione industriale è stata innescata dall'elettrificazione che ha consentito l'industrializzazione e la produzione di massa, senza la possibilità di personalizzazione dei prodotti. La terza rivoluzione industriale è caratterizzata dalla digitalizzazione con introduzione di microelettronica e automazione. Ciò facilita una produzione flessibile, in cui una varietà di prodotti viene fabbricata su linee di produzione configurabili con macchine programmabili. Il termine "Industria 4.0" è diventato noto pubblicamente

nel 2011, quando un'iniziativa denominata "Industrie 4.0" (un'associazione di rappresentanti delle imprese, della politica e del mondo accademico) ha promosso l'idea come un approccio per rafforzare la competitività dell'industria manifatturiera tedesca. Il governo federale tedesco ha sostenuto l'idea annunciando che l'industria 4.0 sarà parte integrante della sua iniziativa "Strategia high-tech 2020 per la Germania", mirando alla leadership dell'innovazione tecnologica. Il gruppo di lavoro "Industria 4.0" successivamente formato ha quindi sviluppato le prime raccomandazioni per l'attuazione, che sono state pubblicate nell'aprile 2013. In questa pubblicazione viene descritta la visione dell'industria 4.0 come segue: *“In futuro, le aziende stabiliranno reti globali che incorporano i loro macchinari, sistemi di deposito e impianti di produzione sotto forma di sistemi cibernetici (CPS). Nell'ambiente di produzione, questi sistemi cyber-fisici comprendono macchine intelligenti, sistemi di archiviazione e strutture di produzione in grado di scambiare informazioni in modo autonomo, innescando azioni e controllandosi reciprocamente in modo indipendente. Ciò facilita i fondamentali miglioramenti dei processi industriali coinvolti nella produzione, ingegneria, utilizzo dei materiali e catena di approvvigionamento e gestione del ciclo di vita. Le Smart Factory che stanno già iniziando ad apparire utilizzano un approccio completamente nuovo alla produzione. I prodotti intelligenti sono identificabili in modo univoco, possono essere localizzati in ogni momento e conoscere la propria storia, stato attuale e percorsi alternativi per raggiungere il loro stato target. I sistemi di produzione integrati sono collegati in rete verticalmente con i processi di business all'interno di fabbriche e imprese e collegati in orizzontale a reti di valore disperse che possono essere gestite in tempo reale (dal momento in cui un ordine viene effettuato fino alla logistica in uscita). Inoltre, entrambi consentono e richiedono una progettazione end-to-end nell'intera catena del valore”*. [3]

1.2 Caratteristiche industria 4.0

Il processo principale è rappresentato dalla conversione da digitale a fisico in un sistema di produzione riconfigurabile. Il primo passo per raggiungere tale riconfigurabilità sono state le linee di produzione fisse con le macchine dedicate all'esecuzione di compiti specifici in modo da poter produrre un solo prodotto. Il passo successivo è stato rappresentato dai sistemi di produzione flessibili con macchine programmabili, che consentivano la produzione di una varietà di prodotti diversi, senza offrire flessibilità nella capacità di produzione. I risultati dell'ultimo sviluppo hanno portato a sistemi di produzione riconfigurabili, in grado di adattare i loro componenti hardware e software per seguire le mutevoli esigenze del mercato relative al tipo e alla quantità dei prodotti. Le macchine dell'Industria 4.0 sono sistemi cyber-fisici (CPS), apparecchiature fisiche integrate con componenti ICT². Sono sistemi autonomi che possono prendere le proprie decisioni sulla base di algoritmi di machine learning e acquisizione di dati in tempo reale, risultati di analisi e comportamenti passati registrati con successo. Tipicamente, vengono utilizzate macchine programmabili, con una grande parte di agenti mobili e robot con capacità di auto-organizzazione e auto-ottimizzazione. I prodotti in questo contesto sono "intelligenti", con sensori integrati che vengono utilizzati tramite rete wireless per la raccolta di dati in tempo reale per la localizzazione, per misurare lo stato del prodotto e le condizioni ambientali. I prodotti intelligenti hanno anche capacità di controllo ed elaborazione. In questo modo possono controllare il loro percorso logistico attraverso la produzione e persino controllare/ottimizzare il flusso di lavoro di produzione che li riguarda. Inoltre, sono in grado di monitorare il proprio stato durante l'intero ciclo di vita, in modo da consentire una manutenzione proattiva basata sulle condizioni, particolarmente utile per i prodotti che vengono integrati in sistemi più grandi. In Industry 4.0, gli elementi di produzione hanno accanto alla loro rappresentazione fisica anche un'identità virtuale, che può includere una varietà di dati e informazioni sul prodotto, dai documenti ai modelli 3D, dati sullo stato corrente, informazioni sulla storia e dati di misurazione/test. Elementi importanti del concetto di Industria 4.0 sono anche

² ICT: Information and Communications Technology

l'interoperabilità e la connettività. Dovrebbe essere istituito un flusso continuo di informazioni tra dispositivi e componenti, interazione Machine-to-Machine (M2M), sistemi di produzione e attori. Le macchine, i prodotti e le fabbriche possono connettersi e comunicare tramite l'IoT industriale (principalmente basato sulla rete wireless). Un altro argomento importante è la collaborazione Human-To-Machine (H2M) che è necessaria in quanto alcune attività di produzione sono troppo destrutturate per essere completamente automatizzate. Molte attività di ricerca sono attualmente incentrate anche nella cosiddetta robotica collaborativa. Qui i lavoratori umani e i robot appositamente progettati lavorano insieme nell'esecuzione di compiti di lavoro complessi e non strutturati nella linea di produzione manifatturiera. Tali compiti venivano eseguiti completamente manualmente prima. Interfacce utente avanzate sono sviluppate per nuove forme di comunicazione H2M e includono spesso il telelavoro e si basano su ambienti di realtà aumentata. Tra le tecnologie di produzione dell'industria 4.0, la produzione additiva, come la stampa 3D, viene spesso indicata come una delle tecnologie chiave. In combinazione con metodi di prototipazione rapida, compresa la modellazione 3D, è possibile stabilire un collegamento diretto dalla progettazione alla produzione, diminuendo il tempo che intercorre tra l'ideazione e il prodotto stesso.

1.3 Software per la gestione aziendale

Il corretto funzionamento della smart factory è garantito dalla presenza di strumenti software. La figura 2 mostra la ben nota struttura piramidale dei software di supporto ai moderni sistemi di produzione.

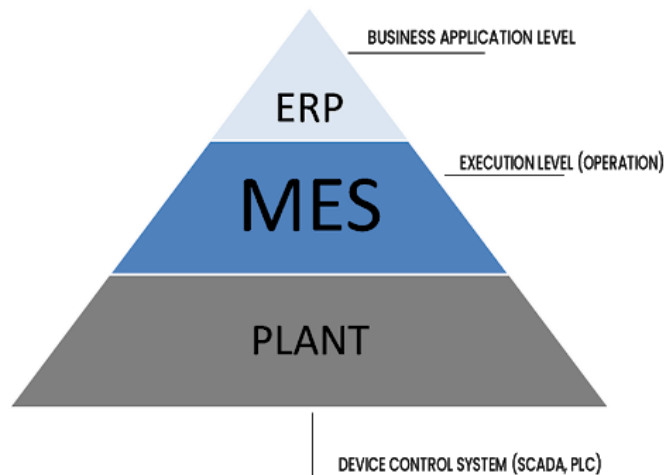


FIGURA 2 PIRAMIDE SOFTWARE PER LA GESTIONE AZIENDALE

A livello aziendale, viene implementato lo strumento Enterprise Resource Planning (ERP). L'ERP supporta la pianificazione a livello aziendale come la gestione della catena di approvvigionamento, vendite e distribuzione, contabilità, gestione delle risorse umane. La maggior parte di queste soluzioni disponibili sul mercato non supporta l'adattamento rapido nella pianificazione della produzione a causa di eventi non pianificati. Al secondo livello della piramide dell'automazione tradizionale troviamo il Manufacturing Execution System (MES). Supporta report di produzione, pianificazione, invio, tracciabilità dei prodotti, operazioni di manutenzione, analisi delle prestazioni, tracciamento della forza lavoro, allocazione delle risorse e simili. Copre aspetti come la gestione della fabbrica e la comunicazione con i sistemi aziendali. Il livello operativo successivo è il controllo a livello di processo basato sull'architettura del sistema di controllo SCADA³, seguito da controllori a livello di macchina/dispositivo come controllori logici programmabili (PLC), controllori di robot etc. L'ultimo livello della piramide

³ SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition, indica un sistema informatico distribuito per il monitoraggio e la supervisione di sistemi fisici

dell'automazione è il livello macchina/dispositivo. Gli strumenti ERP e MES rappresentano i software di base per le aziende e vengono utilizzati dagli anni Novanta. Entrambi i sistemi hanno in genere una struttura modulare, ma sono centralizzati e non distribuiti agli elementi dell'officina. Questo è un fattore limitante quando è necessaria una certa flessibilità, a causa della dinamica del flusso degli ordini dei clienti e/o del cambiamento dell'ambiente di produzione, inclusa la configurazione dell'officina. Tuttavia, i sistemi ERP e MES convenzionali già implementati non dovrebbero essere visti come i principali ostacoli all'introduzione del concetto di Industria 4.0, ma piuttosto come un passo verso di esso. In particolare, già l'introduzione di uno strumento MES richiede un'infrastruttura IT avanzata a livello di officina e ciò costituisce anche una premessa per un ulteriore sviluppo verso una fabbrica intelligente.

Capitolo 2

2 MES

Negli ultimi anni del XX secolo, molte aziende hanno tentato di affrontare la concorrenza globale concentrandosi sulla riduzione del costo del prodotto finito. Pertanto, numerose strutture sono state delocalizzate nei paesi caratterizzati da un basso costo del lavoro. Tuttavia, oggi i clienti richiedono prodotti personalizzabili di alta qualità, quindi un'efficace gestione dei costi non è sufficiente per soddisfare le richieste del mercato. Diverse aziende manifatturiere stanno spostando l'attenzione dei loro modelli di business dal costo di produzione alla qualità e al contenuto innovativo dei loro prodotti. Questo processo è supportato dalla distribuzione di strumenti IT che consentono prestazioni di processo e livelli di automazione più elevati; rendono possibile una migliore qualità e personalizzazione del prodotto, nonché una cooperazione estesa tra aziende e fornitori lungo la catena del valore. Product Lifecycle Management (PLM), Enterprise Resource Planning (ERP) e Manufacturing Execution Systems (MES) sono tra i sistemi IT maggiormente utilizzati nelle moderne aziende manifatturiere. Il PLM è un approccio aziendale strategico che integra tutte le informazioni relative ai prodotti e alle attività dell'azienda in tutto il ciclo di vita del prodotto; supporta la creazione, la gestione, la diffusione e l'uso collaborativi delle informazioni sulla definizione del prodotto in tutta l'azienda estesa, dal concepimento al fine vita, consentendo la condivisione di informazioni e conoscenze all'interno e tra le organizzazioni. L'obiettivo del PLM è garantire la ricerca, il perfezionamento, la distribuzione e il riutilizzo dei dati necessari per le operazioni quotidiane in modo rapido, semplice e senza problemi. I sistemi ERP sono programmi software utilizzati dalla direzione aziendale per integrare e coordinare le informazioni in ogni area dell'azienda. ERP fornisce un database aziendale in cui vengono tracciate tutte le azioni relative a finanza, vendite, marketing, acquisti e risorse umane. Un MES è uno strumento di comunicazione che consente lo scambio di dati tra il livello organizzativo, di solito supportato da un ERP, e i sistemi di controllo dell'officina, in cui vengono utilizzate diverse applicazioni software e molto

personalizzate. Lo scopo di un MES è duplice: innanzitutto il sistema deve valutare la pianificazione ottimale della sequenza tenendo conto delle caratteristiche di base del processo, come i tempi di elaborazione e configurazione e la capacità delle stazioni di lavoro, considerando i requisiti e le necessità fornite dal livello organizzativo dell'azienda. Il sistema deve anche gestire e allocare risorse come il personale e il materiale necessario per il processo di fabbricazione. Il secondo obiettivo di un MES è la gestione del flusso di dati dal basso verso l'alto: le informazioni raccolte dai sistemi di monitoraggio a livello di officina possono essere utilizzate per valutare la qualità del prodotto e le prestazioni del processo. Il MES analizza tali dati; i risultati vengono forniti a livello organizzativo e utilizzati per le attività di controllo dei processi.

2.1 Definizioni di MES

2.1.1 MESA

Le funzionalità di un MES sono state raggruppate nel 1997 in 11 categorie da MESA International e comprendono:

- 1) Operazioni/Sequenziamento dettagliato: l'ottimizzazione della sequenza e dei tempi degli ordini viene effettuata in base alle prestazioni delle macchine, compresa la loro capacità limitata e ad altre risorse.
- 2) Dispacciamento di unità produttive: gestione dei materiali di input e dei prodotti intermedi utilizzati nella produzione, questo in alcuni casi allo scopo di documentare i consumatori di materiali.
- 3) Tracciabilità del prodotto e genealogia: documentazione di tutti gli eventi legati alla creazione di un prodotto, registrazione dei dettagli dei materiali di input e delle condizioni ambientali.
- 4) Gestione del lavoro: gestione degli ordini, controllo e definizione delle operazioni e invio ai centri di lavoro e al personale.
- 5) Gestione della qualità: registrazione, monitoraggio e analisi del prodotto e del processo e verifica dei valori ideali.

- 6) Gestione della manutenzione: manutenzione e assistenza, pianificazione e attuazione di misure adeguate a consentire a macchine e impianti di raggiungere i propri obiettivi prestazionali.
- 7) Allocazione e stato delle risorse: gestione e monitoraggio delle risorse, come macchine, strumenti e così via; registrazione e visualizzazione dello stato attuale delle risorse.
- 8) Controllo documenti: gestione e distribuzione di informazioni su prodotti, processi, progetti o ordini, nonché istruzioni di lavoro che aiutano a garantire la qualità.
- 9) Analisi di performance: confronto e valutazione di valori effettivi misurati e registrati per installazioni o aree rispetto a obiettivi operativi, obiettivi del cliente, ecc.
- 10) Gestione dei processi: controllo e gestione del flusso di lavoro in un impianto di produzione secondo i carichi e le specifiche pianificati e attuali.
- 11) Raccolta e acquisizione dei dati: visualizzazione, registrazione, raccolta e organizzazione dei dati di processo, dei materiali e delle materie prime, della gestione del personale, delle funzioni della macchina e del loro controllo.

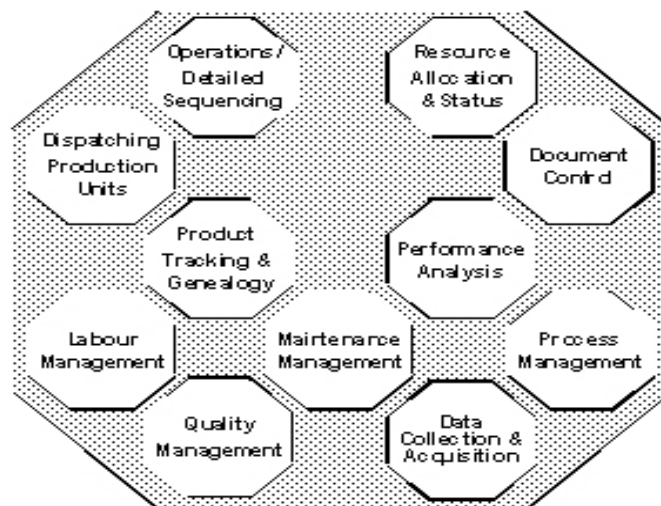


FIGURA 3 RAPPRESENTAZIONE DELLE FUNZIONALITÀ DEL MES [7]

Tutti questi gruppi di funzioni o combinazioni ragionevoli di essi possono formare una soluzione MES totale. Alla conferenza MESA del 2004 tenutasi vicino a Chicago, fu coniato il termine C-MES (MES collaborativo). Le funzioni MES di

MESA descritte sopra sono state ridisegnate e in alcuni casi sono state unite o modificate con differenti significati. Qui MES non serve solo come intermediario tra automazione e gestione aziendale, ma è anche visto come il fulcro di dati e informazioni. In questo caso MESA arriva a considerare C-MES come la piattaforma di integrazione all'interno di un'azienda. Secondo questo approccio, anche le funzionalità aziendali, tecniche e logistiche sono solo utenti che accedono alla piattaforma MES. Non c'è dubbio che questa è un'interpretazione molto ampia. In un'azienda manifatturiera, tuttavia, la produzione è l'elemento chiave e deve pertanto essere considerato non del tutto assurdo raggruppare tutti i servizi attorno a questo importante aspetto. Il MES è qui visto non solo come una raccolta di funzioni nella gestione della produzione ma anche come un hub integrato per le informazioni in tutta l'azienda.

2.1.2 ISA-95

Contrariamente al modello MESA, che è fondamentalmente un modello di business aziendale, il modello ISA-95 è, in sostanza, un modello informativo. ISA-95 è stato sviluppato congiuntamente dall'International Society of Automation (ISA) e dall'American National Standards Institute (ANSI). Lo sviluppo dello standard ISA-95 è iniziato nel 1995 quando i computer hanno cominciato a penetrare nei sistemi di informazione e controllo della produzione. A differenza del modello MESA, incentrato sui processi aziendali, il modello ISA-95 si concentra sull'architettura delle informazioni. Il modello ISA-95 divide i sistemi di produzione in 5 livelli, basati sul modello Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA). In questo modo, lo standard ISA-95 aiuta a definire i confini tra i sistemi. I dispositivi intelligenti, come i sensori, appartengono al Livello 1. I sistemi di controllo come PLC, DCS, OCS, appartengono al Livello 2. MES, appartiene al Livello 3. ERP al Livello 4. Posizionando MES al livello 3, ISA-95 implica che MES collega la produzione con i sistemi aziendali, gestisce i flussi di lavoro per produrre prodotti finali, mantiene registri di produzione e ottimizza il processo di

produzione. L'obiettivo era sviluppare uno standard che consentisse un'interfaccia e un'integrazione efficienti tra un sistema ERP e un MES.

Quindi MESA definisce il MES per le funzioni, mentre ISA-95 per l'architettura delle informazioni. Tuttavia, poiché ogni settore e tipo di attività manifatturiera ha requisiti diversi in termini di produzione, qualità, processi aziendali e ambiente normativo, i MES variano in base al settore e al tipo di operazioni produttive. Ci sono stati tentativi specifici dei vari settori di standardizzare le definizioni MES.

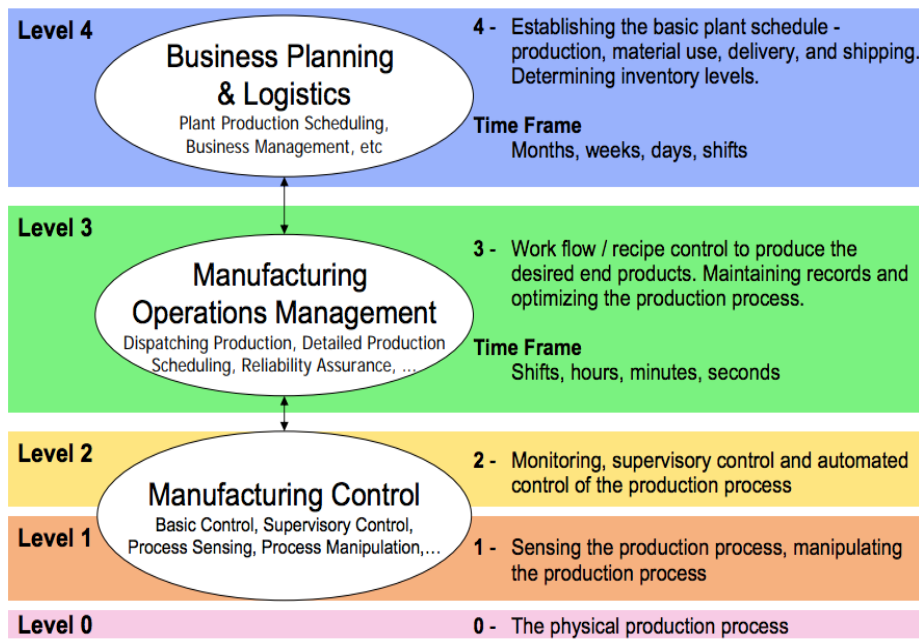


FIGURA 4 MODELLO ISA-95 [7]

2.1.3 Namur

NAMUR, ad esempio, è un gruppo di utenti finali particolarmente coinvolti nell'industria di processo, chimica e farmaceutica per la maggior parte. Le loro raccomandazioni si basano sull'ISA-95, ma il gruppo fornisce definizioni più concrete per le esigenze del proprio settore. A un livello più ampio, possiamo distinguere tra Process manufacturing (industria di processo) e Discrete manufacturing (industria dell'auto, dei giochi, degli smartphone etc.). Naturalmente, ogni tipo di operazione ha una serie diversa di requisiti, quindi un MES al servizio di ciascuno differirà in modi importanti. Nel process manufacturing il MES è visto come un sistema di controllo delle macchine e

dell'impianto. Mentre per la Discrete manufacturing è considerato un sistema di informazione online, un sistema di feedback e controllo per la produzione.

2.1.4 VDI

Anche VDI⁴ ha lavorato per definire il termine MES in una linea guida. L'attenzione del VDI si è focalizzata nel dare un significato fisso e quindi impedire che venga abusato da alcuni venditori di sistemi, che tendono a usare ogni nuova "parola d'ordine" per scopi puramente di marketing. L'obiettivo è mantenere una percezione forte e orientata ai benefici agli occhi dei leader del settore manifatturiero. Questa guida cerca di distinguere tra i requisiti e le funzioni MES tra i vari tipi di produzione. Una linea di produzione altamente automatizzata avrà requisiti di funzionamento diversi da quelli del produttore di piccole serie. Nella sua struttura la guida non si occupa principalmente delle funzioni che un sistema MES dovrebbe fornire, ma cerca piuttosto di definire i compiti che dovrebbe svolgere in un'impresa manifatturiera. Questi compiti secondo VDI sono:

- Pianificazione dettagliata e controllo dettagliato della programmazione
- Gestione delle risorse operative
- Gestione dei materiali
- Gestione del personale
- Acquisizione ed elaborazione dei dati
- Analisi delle prestazioni
- Gestione della qualità
- Gestione delle informazioni.

⁴ Verein Deutsche Ingenieure, cioè l'associazione degli ingegneri tedeschi, è un'organizzazione tedesca che conta più di 150000 ingegneri e scienziati.

2.2 Funzioni MES

Le molteplici funzionalità di un sistema di esecuzione della produzione possono essere raggruppate in tre categorie principali: produzione, qualità e risorse umane.

Il gruppo di funzioni denominato produzione può includere i seguenti moduli:

- PDA (production data acquisition), nel quale vengono registrati i tempi e le quantità relativi agli ordini. Nelle quantità viene fatta una distinzione tra articoli conformi e scarti. È anche possibile registrare direttamente il consumo dei materiali e l'usura delle risorse operative, associandole agli ordini corrispondenti. I dati che si sono accumulati in turni, giorni o settimane vengono preparati e resi disponibili per le applicazioni di gestione aziendale.
- MDC (machine data collection) è il modulo che comprende la gestione delle macchine o di altre risorse operative. I dati acquisiti manualmente e automaticamente possono essere forniti in forma condensata alla direzione aziendale come base per le dichiarazioni di efficacia ma anche, nella loro forma dettagliata, per l'analisi dei punti di debolezza all'interno del reparto produttivo.
- Control station, planning table (stazione di controllo, tabella di pianificazione) sono funzioni che in un sistema MES pongono l'accento sulla preparazione di piani tecnicamente fattibili, la cui fattibilità dovrebbe essere valutata sulla base di una situazione attuale. Qui i moduli di pianificazione dettagliati di un MES non dovrebbero solo consentire interventi manuali semplici dal punto di vista dell'operatore, ma anche offrire supporto per il caricamento completamente automatizzato, nonché per la simulazione e l'ottimizzazione.
- TRM, DNC (tool and resource management and transmission of machine settings). Un MES dovrebbe essere in grado di gestire strumenti, materiali e attrezzature ausiliari e di tracciare lo stato delle risorse operative e delle attuali disponibilità. Dalla vicinanza diretta alla raccolta dei dati macchina, emergono anche possibilità di manutenzione preventiva, evitando quindi periodi di inattività.

- MPL (material and production logistics) è il gruppo che si occupa di quei materiali che sono in circolazione o che sono tenuti in strutture temporanee di stoccaggio. Il modulo di logistica dei materiali e della produzione aiuta a mantenere una visione d'insieme e ad avviare le attività di trasporto al momento giusto. A differenza delle funzioni di gestione del magazzino, MPL si occupa esclusivamente di WIP (work in progress), cioè i materiali che circolano al di fuori della classica struttura di stoccaggio, fornendo informazioni sui quantitativi attualmente in circolazione.

Il secondo gruppo di funzioni, la qualità, comprende:

- SPC (statistical process control) si occupa del collegamento di strumenti di misurazione per consentire l'acquisizione dei valori misurati, il confronto online dei valori con uno di riferimento e l'immissione immediata di avvisi qualora i due valori differiscano per livelli di tolleranza precedentemente specificati. SPC salva questi campioni casuali e consente il monitoraggio di determinate tendenze, che possono anche essere visualizzate direttamente online nell'impianto di produzione per identificare e prevenire qualsiasi tipo di malfunzionamento.
- NCM (non-conformance management) permette di studiare i prodotti che sono oggetto di reclami per risalire a eventuali errori tecnici, condizioni di produzione o materiali di input errati. Le contromisure vengono introdotte e tracciate tramite un sistema di misurazione di risposta.
- La funzione Incoming goods (beni in arrivo) riguarda la registrazione delle merci consegnate o di quelle spedite, la verifica della numerazione dei lotti e una funzione di allarme se determinati valori sono fuori tolleranza.
- Inspection equipment management (gestione delle apparecchiature di ispezione) comprende la gestione delle apparecchiature di ispezione, misurazione e collaudo. Viene inoltre garantito che soddisfino gli standard richiesti e quindi che possano essere utilizzate correttamente. Queste informazioni devono ovviamente essere disponibili con accesso immediato durante le procedure di ispezione e collaudo.

- PDP (process data processing). Il modulo di elaborazione dei dati di processo sottolinea il fatto che la qualità non è semplicemente una proprietà del prodotto, ma dipende anche dalle circostanze di produzione. Ad esempio, le pressioni e le temperature utilizzate nel processo di produzione sono di fondamentale importanza per la qualità e per questo motivo un MES dovrebbe essere in grado di acquisire direttamente questi valori.

Il terzo gruppo, le risorse umane, racchiude:

- Registrazione del tempo di lavoro del personale. Nel corso della sua storia, il gruppo di funzioni delle risorse umane è sempre stato strettamente legato alla gestione aziendale. Mappando la gestione del personale legato alla produzione con un sistema MES sono emerse una serie di semplificazioni. Il modulo di registrazione del tempo di lavoro del personale copre le timbrature e i tempi di assenza. Questo approccio risulta ideale quando le capacità di lavoro negli impianti di produzione svolgono un ruolo importante e devono quindi essere programmate in modo tempestivo ed efficiente.
- Salari incentivanti. La registrazione del tempo di lavoro del personale nel MES è molto utile quando si vogliono implementare sistemi di bonus. Grazie alla vicinanza all'acquisizione dei dati di produzione, il modulo di calcolo dei salari incentivanti può creare in modo molto efficace la connessione tra i tempi di assenza e i tempi degli ordini di lavoro e semplificare notevolmente il calcolo dei livelli di prestazione.
- Pianificazione della manodopera a breve termine, grazie alla quale è possibile ottenere una panoramica del personale attivo e preparare i relativi piani del personale, anche con l'ausilio di funzioni automatiche. Questi programmi tengono conto delle situazioni di carico a livello di reparto, azienda o impianto. Bisogna sottolineare che i piani a breve termine possono essere efficientemente redatti solo sulla base di dati di produzione aggiornati.

2.3 Focus gestione della produzione con MES

2.3.1 Pianificazione:

All'interno di un'azienda ci troviamo di fronte a diversi tipi di pianificazione, in base all'orizzonte temporale e alla precisione considerata. Ponendo la nostra attenzione sul MES, il livello di riferimento è quello della pianificazione dettagliata. Qui gli ordini programmati in maniera approssimativa (ad esempio con un sistema ERP), vengono assegnati alle risorse attualmente disponibili, per essere successivamente eseguiti. I report sullo stato della produzione vengono ricondotti alla pianificazione dettagliata, consentendo in tal modo un confronto continuo del piano con ciò che sta realmente accadendo. Poiché la realtà si discosterà dal piano con una probabilità che si avvicina alla certezza, una pianificazione dettagliata deve rispondere a deviazioni di questo tipo. Infatti, possono verificarsi svariate situazioni:

- Problemi tecnici negli impianti di produzione (tempo di inattività della macchina, rottura degli utensili, etc.);
- Problemi nella lavorazione del materiale utilizzato;
- Nuove priorità nel piano di produzione, causate per esempio dalla richiesta di un cliente;
- Dipendenti assenti per malattia;
- Fattori molto indiretti come influenze ambientali.

Questo elenco dimostra l'elevata possibilità che si verifichino variazioni nella pianificazione. Diventa quindi necessario prendere decisioni sulle misure adeguate da adottare, quasi costantemente. Riassumendo i compiti principali della pianificazione e del controllo dettagliati in un ambiente di produzione integrato, troviamo: l'assegnazione delle risorse, il controllo del flusso, la risoluzione dei problemi e il bilanciamento nei confronti della pianificazione approssimativa.

Quindi lo scopo principale della pianificazione dettagliata è preparare un piano per l'esecuzione degli ordini che emergono da una programmazione approssimativa, utilizzando le capacità disponibili e tenendo conto dei vincoli tecnici. Un piano di

questo tipo viene prodotto allocando le varie risorse; per questo l'attività di pianificazione corrispondente è anche nota come assegnazione delle risorse. Nell'ambito della pianificazione dettagliata con MES, sono disponibili varie strategie per ottenere obiettivi diversi, che riguardano l'ottimizzazione dei tempi di set-up, la riduzione dei tempi di consegna, la minimizzazione degli inventari nel corso delle lavorazioni o il rispetto delle scadenze. Un sistema di questo tipo supporta anche la simulazione e l'ottimizzazione. Per quanto riguarda la prima innanzitutto può essere salvato un piano come simulazione, oltre ai dati di base che possono essere la strategia di pianificazione, la capacità disponibile e la situazione di partenza. Tutte le simulazioni devono partire dalla stessa situazione iniziale per poter essere confrontate. Successivamente possono essere generati diversi piani variando i parametri o le strategie rispetto a quello di base. Per ottenere una comparazione obiettiva le simulazioni sono valutate attraverso parametri chiave (ritardi totali, tempi di inattività, rispetto delle scadenze, tempi di set-up). Una volta confrontate diverse simulazioni e scelta una variante, questa può essere accettata e salvata. Normalmente la situazione iniziale cambia nel corso del tempo, di conseguenza l'accettazione deve far riferimento alla situazione attuale. Inoltre, il sistema consente agli utenti, che hanno esigenze molto diverse, di impostare in maniera flessibile altri criteri di valutazione oltre a quelli chiave. La situazione generale può essere continuamente affinata trovando piani migliori; ciò che è di importanza decisiva per la qualità della scelta e il successo di questa procedura è la coerenza con l'obiettivo individuale. I produttori di sistemi MES offrono diverse strategie per l'ottimizzazione, in particolare nella pianificazione della produzione. C'è un continuo lavoro di ricerca di algoritmi per la risoluzione di queste problematiche, con lo svantaggio di essere estremamente specifici e poco adatti per l'uso in sistemi standard. Alcuni venditori di MES hanno comunque riconosciuto l'importanza di questo aspetto e grazie alla collaborazione con istituti, università e clienti hanno potuto utilizzare le loro scoperte e incorporarle nel proprio prodotto come funzionalità specifiche.

2.3.2 Controllo:

Oltre alla pianificazione futura, un compito essenziale è monitorare l'esecuzione di un ordine. Nei sistemi MES ciò avviene mediante feedback continuo della situazione attuale per consentire il confronto con il piano dettagliato. Estrapolando, ad esempio, il tempo di esecuzione rimanente per un'operazione sulla base degli attuali messaggi di stato si può vedere direttamente se la pianificazione verrà rispettata. Grazie alla disponibilità di tali informazioni con un breve ritardo, è possibile prendere le misure appropriate o persino risolvere i problemi in modo da consentire il raggiungimento del tempo target. Un altro esempio è quando viene rilevato un fermo macchina: questo può essere ricondotto direttamente alla pianificazione dettagliata e visualizzato nella tabella di pianificazione grafica. L'utente può quindi vedere immediatamente quale sia la fonte del problema e i suoi effetti sulla pianificazione. La tabella offre una panoramica completa della produzione ed è quindi uno strumento importante all'interno di un sistema MES integrato. Contrariamente a ciò, la procedura tradizionale per la programmazione della produzione è quella di eseguire la pianificazione indipendentemente e senza riferimento alla realtà. Le informazioni sullo stato dalla produzione vengono inviate a intervalli troppo lunghi di tempo e vengono quindi prese in considerazione durante la successiva sessione di pianificazione, andando ad eliminare gli arretrati o le deviazioni. Rispetto a questa situazione, i vantaggi offerti dall'uso di un sistema MES sono molteplici. Il monitoraggio infatti abilita la pianificazione reattiva, cioè la capacità di apportare modifiche alla programmazione in seguito agli imprevisti che vengono rilevati in tempo reale.

2.4 Stato dell'arte

2.4.1 Tendenze per lo sviluppo del MES

La rappresentazione e le funzionalità precedentemente elencate rappresentano l'approccio classico all'identificazione del MES. Con il passare degli anni questo sistema ha visto numerosi cambiamenti per cercare di adattarsi alle nuove esigenze di produzione. Lo sviluppo del mercato MES ha fatto emergere sei tendenze rilevanti per i sistemi di esecuzione della produzione [4]:

1. La completa integrazione del MES nella fabbrica digitale. Tra le altre cose, questo mira a una disposizione di pianificazione permanente, vale a dire che i cambiamenti nella produzione comportano immediatamente l'aggiornamento di tutti i sistemi coinvolti.
2. Il supporto da parte di simulatori simultanei. In questo processo, il simulatore agisce come un'interfaccia per l'utente, cioè una simulazione in tempo reale, consentendo agli utenti di rispondere a eventi imprevedibili in produzione in modo immediato ed efficace.
3. L'integrazione verticale con il livello di officina sottostante.
4. A livello di produzione, l'integrazione orizzontale dei singoli moduli MES, anche se forniti da produttori diversi.
5. La scalabilità dei sistemi MES, compreso il supporto per una produzione decentralizzata e auto-organizzata. Ad esempio, l'acquisizione dei dati di fabbrica automatizzata per mezzo sistemi RFID (identificazione a radiofrequenza, tecnologia per l'identificazione e/o memorizzazione automatica di informazioni).
6. L'avvicinamento tra MES e operatore grazie alla capacità di fornire agli utenti le informazioni specifiche per ogni ruolo e attività (le informazioni necessarie per svolgere il compito esatto degli utenti nel processo).

1: Gli strumenti della fabbrica digitale vengono utilizzati principalmente per pianificare i sistemi di produzione, mentre il funzionamento in corso è supportato

dai sistemi di esecuzione della produzione. L'integrazione tra pianificazione ed esecuzione richiede, ad esempio, la standardizzazione delle interfacce tra i mondi del sistema. I dati necessari per personalizzare i sistemi MES vengono raccolti dagli strumenti della fabbrica digitale in un formato di scambio neutro come XML e messi a disposizione dell'ingegneria MES. La fabbrica digitale memorizza le informazioni sulla struttura dell'impianto, i parametri dell'impianto, i processi di produzione e la disposizione delle apparecchiature. L'ingegneria MES richiede anche informazioni sulla struttura degli impianti di produzione e sui loro parametri, sui processi di produzione. In futuro, le informazioni memorizzate negli strumenti della fabbrica digitale verranno utilizzate per parametrizzare gli impianti di produzione e i sistemi IT sovraordinati, nonché per avviarli e gestirli virtualmente. Questo mira ad avere i relativi sistemi informatici operativi e pienamente disponibili quando gli impianti di produzione modificati o nuovi saranno messi in funzione.

2: Non appena si verifica un guasto in un'apparecchiatura di produzione, il simulatore prevede l'output che ci si deve aspettare e gli stati del buffer nei turni a venire. Il vantaggio immediato per l'utente è che gli effetti dei guasti nei sistemi di produzione complessi diventano immediatamente trasparenti. Ciò consente più spazio di manovra per la manutenzione dei guasti e per testare le misure sulla base del simulatore.

3: I sistemi di produzione vengono adattati continuamente man mano che i prodotti cambiano, le capacità devono essere riadattate a causa delle diverse richieste e vengono applicate tecnologie di produzione più efficienti. In pratica, le modifiche negli impianti di produzione non comportano solo lo spostamento fisico delle apparecchiature all'interno di un impianto. Piuttosto, comportano aggiustamenti nel software che controlla soprattutto macchinari e attrezzature. Ciò include controllori logici programmabili (PLC) e la tecnologia dell'informazione sovraordinata al controllo immediato delle apparecchiature.

4: Esistono sistemi IT autonomi per vari compiti MES. In molti casi, questi sistemi non scambiano dati né sono collegati ad altri componenti MES. È utile collegare i vari sistemi autonomi per consentire di supportare in modo trasparente e coerente le decisioni prese in officina. Inoltre, i sistemi IT di solito hanno cicli di vita più lunghi rispetto ai prodotti, motivo per cui necessitano di una maggiore flessibilità.

5: Da tempo ormai la produzione deve far fronte a sfide crescenti, derivanti da lotti più piccoli, tempi di consegna più brevi e una gamma più ampia di varianti, mentre rimangono invariati i requisiti in termini di scadenze, bassi costi di allestimento e scorte minime. In un ambiente di produzione altamente incostante, non ha senso elaborare un piano esatto perché anche il prossimo futuro dell'officina è imprevedibile. Per questo motivo, una soluzione di controllo decentralizzata sembra l'ideale. Consente agli utenti di rispondere immediatamente a eventi imprevedibili come guasti o ordini urgenti. Le decisioni non sono più prese da un'entità centrale e imposte a ordini e risorse. Piuttosto, pezzi di lavoro, macchine e sistemi di flusso dei materiali agiscono come agenti liberi di prendere decisioni, consentendo loro di perseguire i propri obiettivi, il che si traduce in una produzione auto-organizzata. Eventi imprevedibili come i guasti vengono integrati quasi senza problemi nel processo decisionale autonomo di ordini e risorse.

6: I sistemi MES devono essere in grado di fornire ai membri del personale che hanno ruoli e interessi diversi informazioni che soddisfano le loro esigenze specifiche e tengono conto del loro. Questo può essere fatto centralmente in una sala di controllo per diversi compiti o in modo decentralizzato utilizzando dispositivi mobili. I dispositivi smart nelle fabbriche con intelligenza decentralizzata assistono il personale e i team nella risoluzione di compiti complessi come la gestione dei guasti. Utilizzando dispositivi mobili il personale dell'officina o i capisquadra si connettono automaticamente all'apparecchiatura mentre sono in

officina. Le informazioni sulla condizione operativa o sull'ordine attualmente elaborato sono presentate loro in modo adeguato.

2.4.2 Ruolo del MES nell'industria 4.0

La capacità di adeguamento alle crescenti esigenze dell'ambiente produttivo permette al MES, ancora oggi, di ricoprire un ruolo fondamentale all'interno di molte aziende.

Una sfida molto difficile è riuscire a mantenere questa importanza in un contesto come quello dell'industria 4.0, in cui le applicazioni centralizzate cesseranno di esistere a favore di soluzioni decentralizzate. I futuri MES dovranno tenere conto di alcuni pilastri principali, in stretto rapporto con le tendenze precedentemente descritte. Il primo aspetto che deve essere chiarito è il **decentramento**. Sappiamo che i prodotti intelligenti o i CPS sono in grado di raccogliere ed elaborare dati per prendere decisioni in maniera autonoma, senza l'aiuto di un sistema centralizzato. Di conseguenza nel futuro più che uno strumento per la pianificazione, il MES rappresenterà l'interfaccia tra l'uomo e il sistema produttivo, grazie alla grande quantità di dati a disposizione. Ciò permetterà anche di mantenere il ruolo fondamentale dell'uomo all'interno della fabbrica.

La **connettività** all'interno dell'officina deve essere raggiungibile con una certa facilità, con un impatto significativo nelle operazioni di produzione complessive. Gli ambienti di produzione avanzati hanno tale connettività da molto tempo, ma l'industria 4.0 sta creando una vera democratizzazione, diffondendola in impianti di produzione con diversi livelli di sofisticazione. Da un lato, i tag (etichette elettroniche) di identificazione passiva sono sempre più convenienti; questi consentono a tutte le entità di officina di mantenere le proprie coordinate di posizionamento. Le entità MES logicamente autonome possono memorizzare questi dati sulla posizione e mostrarli in tempo reale su mappe interattive. Dall'altro lato l'IIoT si traduce in hardware a basso costo e sistema operativo snello, che consentono una vera connettività con apparecchiature che non richiedono sistemi e interfacce pesanti.

Sul fronte MES più operativo, la connettività e la combinazione **mobile** devono consentire interfacce più adattabili. La stessa combinazione di dispositivi mobili con l'aumento dei sistemi di posizionamento affidabili ed economici consentirà anche la rappresentazione del posizionamento in tempo reale nelle mappe 3D, aprendo la porta a scenari di realtà aumentata. Si prevede che ciò porterà vantaggi tangibili in settori quali l'identificazione e la localizzazione di materiali o contenitori o in attività connesse alla manutenzione.

Il **cloud computing** e l'**analisi avanzata** costituiscono il terzo pilastro del MES del futuro. Sia CPS che CPPS genereranno enormi quantità di dati, che devono essere archiviati ed elaborati. La visione dell'Industria 4.0 sulla Smart Factory richiede di ottenere un panorama globale delle operazioni di produzione. Chiaramente ciò può avvenire solo integrando dati provenienti da fonti diverse. Sono quindi necessarie analisi avanzate per comprendere interamente le prestazioni dei processi di produzione, la qualità dei prodotti e l'ottimizzazione della catena di approvvigionamento. L'analisi dei dati storici permetterà anche l'identificazione di inefficienze, attuando azioni preventive o corretti.

Possiamo concludere quindi dicendo che il MES potrebbe conservare la propria importanza anche di fronte a nuovi scenari, dal momento in cui riuscisse a sostenere tutte le modifiche descritte. [5]

2.5 Interfaccia ERP-MES:

È stato precedentemente affermato che uno dei compiti principali dei sistemi di esecuzione della produzione è mettere in comunicazione l'ERP con il livello di officina. Ciò è possibile solo se la comunicazione tra controllo di processo e MES e tra MES e ERP è garantita. A metà degli anni '90 l'ISA ha iniziato a sviluppare un nuovo standard, chiamato ISA-95, per rispondere a questa esigenza. Il rilascio dello standard ha coinciso con lo sviluppo del linguaggio XML ⁵ e dell'uso di servizi web per lo scambio di dati aziendali, sia internamente che esternamente all'azienda. L'obiettivo era ridurre il rischio, i costi e gli errori associati all'implementazione delle interfacce tra le operazioni aziendali e di produzione e le funzioni di controllo, per consentire a questi sistemi di interagire ed essere facilmente integrati. Lo standard ISA-95 è composto da più parti: 1, 2 e 5 definiscono lo scambio di dati di produzione tra i sistemi aziendali e quelli dell'impianto, 3 e 4 affrontano le funzioni MES tipiche ed ampliano il lavoro svolto nelle altre parti, definendo lo scambio di dati di manutenzione, inventario e qualità. A supporto di ISA-95 è stato sviluppato il B2MML, Business To Manufacturing Markup Language, linguaggio usato per lo scambio di informazioni di testo. Basato su XML e su Web Service, la tecnologia B2MML è stata progettata e implementata come uno schema di interfaccia di integrazione MES, caratterizzato da alta efficienza, basso costo, buona apertura ed estensibilità e fornisce una struttura di dati XML comune per l'utilizzo di ERP e MES da parte delle aziende manifatturiere. Dal punto di vista funzionale, gli aspetti più utilizzati di ISA-95 e B2MML sono il download dei programmi di produzione dai sistemi ERP ai sistemi MES e il caricamento delle informazioni sulle prestazioni di produzione dai sistemi MES ai sistemi ERP. Quest'ultimo aspetto consente di avere un collegamento automatico e bidirezionale con il sistema di produzione, consentendo così un trasferimento più rapido delle istruzioni di produzione agli stabilimenti e il trasferimento in tempo reale dei dati effettivi di produzione ai sistemi aziendali.

⁵ XML: eXtensible Markup Language, linguaggio ampiamente utilizzato per la rappresentazione di strutture di dati arbitrarie come quelle utilizzate nei servizi web

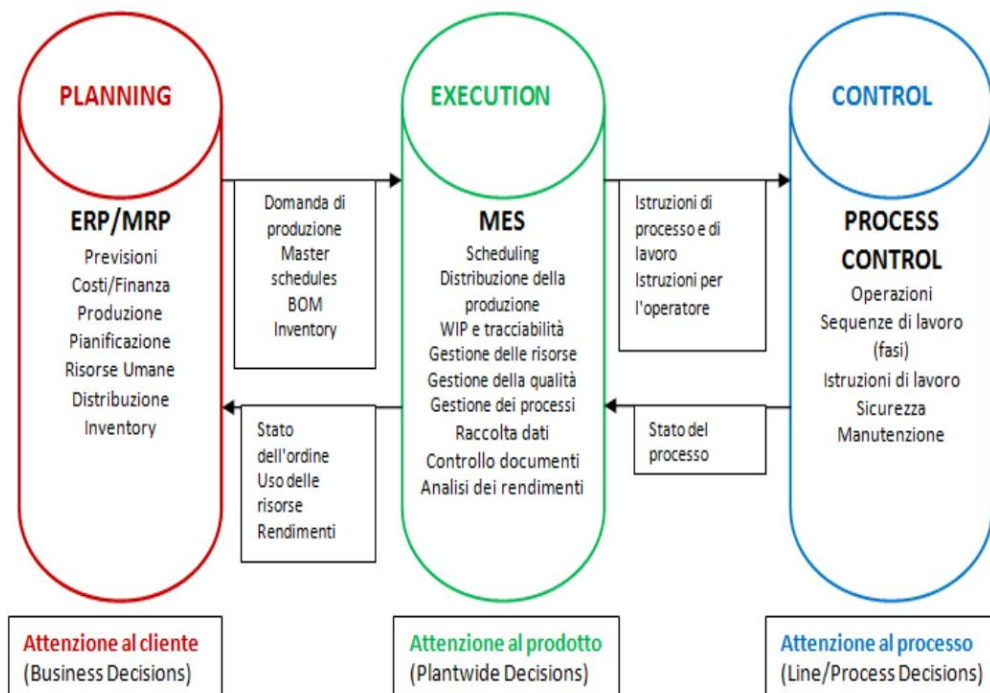


FIGURA 5 SCAMBIO DATI TRA LE AREE AZIENDALI

La figura 5 sottolinea l'importanza dello scambio bidirezionale di dati tra i sistemi di pianificazione aziendale e il MES, che a sua volta fornisce e raccoglie informazioni dall'officina. Questo flusso continuo di informazioni consente di avere una situazione costantemente aggiornata sullo stato dei processi e degli ordini, favorendo una pianificazione basata su dati che rispecchiano il più possibile la situazione reale.

Capitolo 3

3 Elsamec:

La Elsamec è un'azienda leader nella produzione di motori per serrande. Tutto nasce da una piccola officina di riparazioni di motori elettrici avviata nel dopoguerra dai fratelli Santarelli. Alla fine degli anni '60 si assiste ad una vera rivoluzione all'interno della Elettromeccanica Santarelli: da semplici riparatori e manutentori, si decide di passare alla produzione di motori elettrici, in particolare, di elettroriduttori per serrande, soprattutto serrande del tipo a molle. Per un breve periodo la produzione di elettroriduttori per serrande fu affidata ad una nuova società della quale i fratelli Santarelli erano soci insieme ad altri. La Elettromeccanica Santarelli continuava delle riparazioni e delle manutenzioni. Poi, nel 1972, Renato, Dino e Giovanni decisero di tornare a far da soli i motori e fondarono la Elsamec. L'azienda nasce con un motore per serranda nuovo, rivoluzionario, destinato a modificare radicalmente il modo di operare degli installatori di automatismi per serrande. Fino ai primi anni '70 l'automazione delle serrande veniva espletata da motori a blocco unico. Ciò significava che, per montarli, occorreva segare il tubo di avvolgimento delle serrande, infilare il motore sull'asse e saldare nuovamente il tubo. Era opportuno semplificare il lavoro agli installatori. Come per tutte le cose innovative e destinate a lasciare il segno, si trattò, anche in questo caso, di una intuizione geniale per quanto semplice. L'elettroriduttore per serrande venne reso scomponibile in più parti. Dunque, non più il blocco unico, intero, chiuso, e fu una novità prorompente, che agì con grande efficacia sul mercato rivoluzionando i sistemi di installazione a livello mondiale. Il motore spaccato, come si decise di chiamarlo, rivelò subito la sua carta vincente: era estremamente facile da montare. Questa fu la sua fortuna. L'idea, ovviamente, venne brevettata. Le fu assegnato, dall'Ufficio Centrale Brevetti del Ministero dell'Industria, il numero 976 441 ed il titolo "elettroriduttori per il comando automatico di serrande metalliche avvolgibili tipo spaccato".

Oggi la Elsamec è guidata dai figli di Dino e Giovanni, Gianrico e Vittoria, con l'obiettivo di mantenere l'azienda ai massimi livelli di produzione, qualità e innovazione, attraverso la ricerca tecnologica e lo studio di nuovi prodotti. I prodotti di grande qualità vengono progettati, prodotti e assemblati nel luogo esatto in cui un tempo sorgeva l'officina dei tre fondatori di Elsamec, a Fermo. Tutti i prodotti prima di essere immessi sul mercato vengono sottoposti a controlli di qualità e test di sicurezza e sono conformi alle disposizioni legislative europee. Grazie alla competenza, alla puntualità e alla cortesia, Elsamec è riuscita a diffondere i propri prodotti in tutto il mondo, consolidando e accrescendo ogni anno il proprio bacino di utenza.

3.1 Prodotti:

La produzione dei motori Elsamec si suddivide in due parti, elettroiduttori **centrali** e **lateral**i.

Motori centrali:

La serie Uniko fa parte della prima categoria di motori, caratterizzati da elevata capacità di adattamento a tutte le serrande con asse compensato. La produzione si articola su due modelli, 1M cioè monomotore e 2M, bimotores. Appartengono alla stessa categoria i motori ES76 1M evo, ES76 2M evo e Gulliver.

Quest'ultimo viene utilizzato per la motorizzazione di serrande con asse compensato di grandi dimensioni. Può essere adottato sia in ambito civile, che industriale e commerciale, grazie



Figura 6 Uniko 1M Evolution [8]



Figura 7 Gulliver [8]

all'elevata forza di sollevamento (400 kg) e alla larghezza massima consentita (7 m).

Motori laterali:

Appartiene a questa categoria la linea Taurus, composta da elettroriduttori laterali per il sollevamento di serrande senza molla di compensazione. La disposizione esterna e parallela rispetto al tubo della serranda permette una notevole riduzione di ingombro laterale, favorendo una rapida e semplice installazione e facilitando qualsiasi intervento di manutenzione. Anch'essi hanno un uso sia civile che industriale. L'ampia gamma di motori permette una notevole flessibilità di impiego, fino ad arrivare al sollevamento di serrande di grandi quadrature e peso elevato.

Ad esempio, l'elettroriduttore Mini Taurus 5,4 T è particolarmente indicato per l'automazione di serrande di piccole e medie dimensioni (portata fino a 260 kg) non compensate da molle, che hanno un uso intensivo e gravoso.



Figura 8 Mini Taurus 5,4 T [8]

Diversamente dal precedente, il motore Taurus 12-M è adatto per un uso industriale e non intensivo. In base agli accessori installati (tipologia di bandiera e tubo utilizzati) la portata può arrivare fino a 1000 kg.



Figura 9 Taurus 12-M [8]

3.2 Programmazione della produzione

In riferimento allo studio svolto con la Elsamec, abbiamo preso in considerazione una serie di articoli lavorati internamente dall'azienda, utilizzati per la costruzione degli elettroriduttori. In particolar modo l'attenzione si è focalizzata sui componenti che subiscono lavorazioni di tornitura. L'obiettivo è stato quello di assegnare una stima della domanda annua degli articoli, divisa in lotti, sulle macchine utensili, in maniera da capire quante macchine sono necessarie e come può essere organizzata la produzione. I componenti individuati sono stati 79 e per ognuno di questi abbiamo raccolto una serie di dati:

- La stima della domanda annua per ogni articolo, sulla base dei valori degli anni passati.
- Il numero di lotti per ogni articolo. La domanda di ogni componente, a seconda del suo volume, è stata suddivisa in un certo numero di lotti. Questo è utile anche per distribuire i costi di set-up.
- Il tempo ciclo unitario rappresenta il tempo di lavorazione di un singolo pezzo.
- Il tempo di avviamento giornaliero indica il tempo che impiega la macchina per entrare in funzione dopo l'accensione. Non lavorando 24h su 24, è un valore di cui bisogna tener conto giornalmente.
- Il tempo di avviamento invece è il tempo di attrezzaggio della macchina ogni volta che cambiamo l'articolo da produrre.
- Il tempo di controllo e sostituzione degli utensili. Questa operazione viene effettuata in maniera ripetitiva dopo un certo numero di articoli lavorati. È necessaria per prevenire rotture ed errori nella produzione dei pezzi.

CODICE ARTICO	DESCRIZIONE	Domanda a	lotti annui	tempo ciclo u	tempo avviar	tempo avviar	tempo controllo
31110900	Alberino Tor. Fir	33000	12	30	15	90	5
31110930	Distanziale Bl.El	1000	1	13	15	90	5
31110949	Alber. Riarmo T	300	1	14	15	90	5
31111222	Perno Calettam	1500	1	16	15	90	5
31111237	Colonnina Dista	300	1	15	15	90	5
31111249	Perno Por.Arp.	300	1	18	15	90	5
31111337	Perno Tag.Tor. I	200	1	25	15	90	5
31111349	Distanziale Tagl	300	1	16	15	90	5
31111437	Vite Senza Fine	300	1	40	15	90	5
31111449	Perno Fis.Pie. Ta	600	1	15	15	90	5
31111516	Perno Calettam	500	1	14	15	90	5
31111517	Alberino Rot.To	13000	12	29	15	90	5
31111520	Alberino Rotore	30000	12	29	15	90	5
31111540	Perno Portasate	6000	3	15	15	90	5
31111542	Perno Portas. 2°	400	1	15	15	90	5
31111549	Per.Fis.Pie. Tag.	1000	1	14	15	90	5
31111649	Alber.Riarmo Ta	500	1	15	15	90	5
31111730	Pignone T.T. 2°S	500	1	23	15	90	5
31111740	Perno Portasate	6000	3	18	15	90	5
31111749	Perno Po.Ar. Ta	500	1	19	15	90	5
31112010	Pignone T.T. pe	12000	8	16	15	90	5
31112017	Pignone Tor. 1°	12000	8	20	15	90	5
31112149	Distanziale Tag.	500	1	16	15	90	5
31112820	Pignone T.T. 2°S	30000	12	37	15	90	5
31113949	Spina Fissag. Ar	600	1	14	15	90	5
31114949	Spina Fis. Arp. N	2000	1	10	15	90	5
31020540	Coperichio Torr	2000	5	176	5	60	5
31020640	Ruota Elicoidale	2000	4	217	5	60	5
31020740	Corona Est. Tor.	2000	4	237	5	60	5
31022049	Ingran. Riarmo	1000	2	20	15	90	5
31022130	Dist.Disc.Friz. Ta	200	1	23	15	90	5
31022140	Ada. Pig. Ta.To.	200	1	34	15	90	5
31022149	Pastiglia Freno T	400	1	50	5	60	5
31022740	Vite Senza Fine	2000	4	200	5	40	5
31022830	Albero Uscita Ta	200	1	21	15	90	5
31022840	Albero Uscita Ta	1800	3	21	15	90	5
31022849	Ingran. Riarmo	1000	2	20	15	90	5
31022863	Distanz. Tag.Tor	1500	2	19	15	90	5
31023031	Albero D.25,4 T	200	1	140	5	60	5
31023038	Sat.Tor. 1°S. S.T	600	1	40	5	40	5

TABELLA 1 RACCOLTA DATI DEI PRIMI 40 ARTICOLI

La tabella 1 contiene i dati raccolti per i primi 40 articoli, ed è formata nel seguente modo:

1. La prima colonna contiene il codice identificativo dell'articolo.
2. Nella seconda è presente la descrizione del codice.
3. La terza rappresenta la domanda annua, in pezzi, del componente.
4. Nella quarta troviamo il numero di lotti in cui viene suddivisa la domanda annua.
5. Nella quinta è indicato il tempo ciclo unitario, espresso in secondi.
6. Nella sesta il tempo di avviamento giornaliero, in minuti.
7. Nella settima il tempo di avviamento macchina, anch'esso in minuti.
8. Nell'ottava il tempo di controllo e sostituzione utensili, in minuti.

Dopo aver riempito la tabella, siamo andati a suddividere i giorni lavorativi presenti in un anno in 12 periodi, ciascuno di 21 giorni. Abbiamo quindi calcolato la capacità disponibile delle macchine in questi periodi, considerando un tempo di lavorazione di otto ore al giorno. A questo punto abbiamo assegnato i vari articoli a ciascun periodo, sottraendo di volta in volta alla capacità disponibile il tempo di lavorazione di ciascun lotto, tenendo sempre conto dei vari fermi macchina dovuti a set-up, avviamenti o controlli. I pezzi da lavorare sono stati allocati cercando di ottenere una capacità residua alla fine di ogni periodo molto ridotta.

ARTICOLI	CAPACITÀ RESIDUA	ORE PER LOTTO
	593040	
31110900	504840	24,5
31111517	468004	10,2
31111520	389504	21,8
31112820	291304	27,3
31026351	246883	12,3
31026451	167612	22
31026513	109612	16,1
31110930	91212	5,1
31110949	81612	2,7
31111222	51912	8,3
31111237	42012	2,8
31111249	31212	3
31111337	20812	2,9
31028249	412	5,7

TABELLA 2 DISTRIBUZIONE LOTTI IN UN PERIODO

La tabella 2 mostra una possibile distribuzione dei lotti da tornire durante un periodo. Nella prima colonna troviamo proprio i codici di questi articoli. La seconda invece rappresenta i tempi residui in secondi, cioè le capacità temporali ancora disponibili per eseguire ulteriori lavorazioni, calcolate sottraendo di volta in volta il tempo di lavorazione dei lotti e dei fermi macchina alla capacità iniziale. Nell'ultima colonna sono contenuti i tempi di lavorazione dei lotti, espressi in ore.

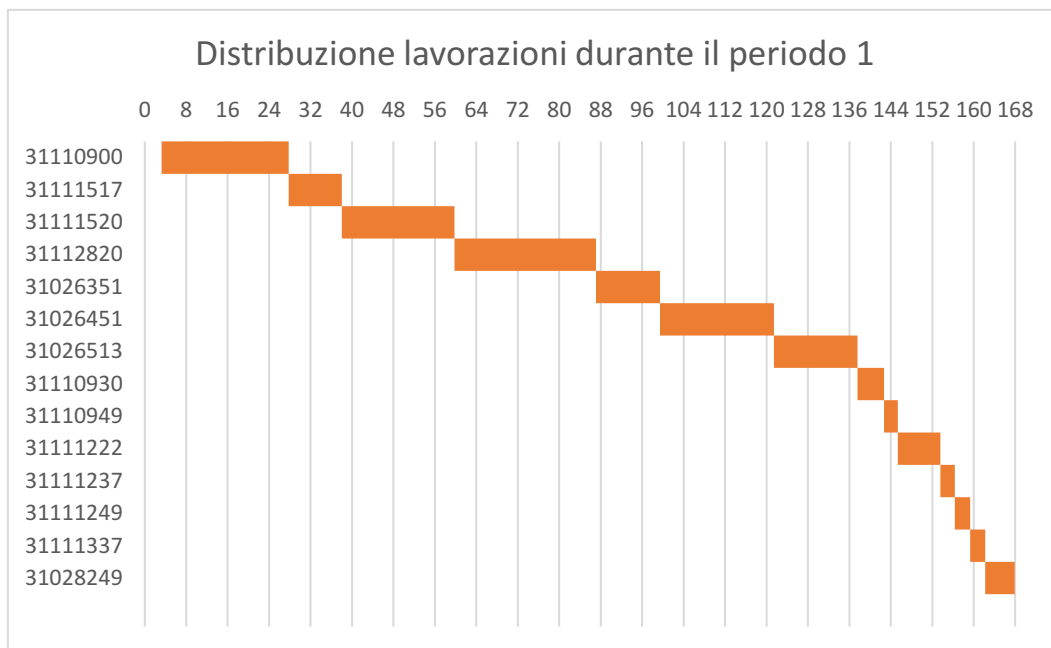


FIGURA 10 GRAFICO CHE RAPPRESENTA LA DISTRIBUZIONE DEI LOTTI

L'immagine 10 fornisce una rappresentazione grafica dei dati contenuti nella tabella. Ritrae infatti la distribuzione dei lotti da lavorare, identificati dai codici a sinistra, lungo tutto il corso delle 168 ore che costituiscono il periodo considerato. I segmenti arancioni indicano il tempo di lavorazione dei singoli lotti e la lunghezza è proporzionale al tempo necessario per il loro completamento.

La procedura mostrata è stata utilizzata anche per i periodi a seguire, fino alla completa distribuzione di tutti gli articoli ai centri di lavorazione. A partire da questo risultato è stato possibile dedurre che per completare tutti i pezzi sono necessarie due macchine, una impiegata per tutta la durata dell'anno, l'altra per un arco temporale di circa sette periodi.

3.3 Vantaggi e svantaggi nell'introduzione del MES

Ovviamente l'implementazione di un sistema di esecuzione della produzione all'interno di un'azienda manifatturiera porta con sé una serie di importanti vantaggi. Alcuni di questi possono essere evidenziati dal confronto con la programmazione della produzione descritta nel capitolo 3.2. Innanzitutto, il MES supporta l'ottimizzazione della produzione, cioè permette di effettuare una serie di simulazioni, partendo da un piano di partenza, sulla base dei risultati che si vogliono ottenere. Grazie ad algoritmi avanzati l'azienda può decidere di ottenere vantaggi come la riduzione dei tempi di set-up, piuttosto che la minimizzazione dell'inventario, compito che risulterebbe impossibile senza il supporto di un sistema di questo tipo. Un altro aspetto fondamentale è la continua disponibilità di dati in tempo reale, in grado di favorire una programmazione che rispecchi il più possibile la situazione attuale. Una pianificazione tradizionale, per quanto faccia riferimento a dati veritieri e consolidati nel tempo, non tiene conto di tutte le variazioni che possono verificarsi in situazioni reali. Questo fa emergere un ulteriore vantaggio, cioè il controllo continuo sullo stato della produzione. Le informazioni provenienti dall'officina sono molto utili e permettono un confronto continuo tra il piano effettivo e quello aspettato. Nel caso si verificassero scostamenti dovuti ad imprevisti di vario tipo, questi vengono immediatamente individuati e la programmazione viene modificata in base alle nuove esigenze, permettendo quel processo chiamato pianificazione reattiva. Grazie alle molteplici funzionalità supportate dal MES, possiamo trovare ulteriori vantaggi derivanti dalla sua implementazione. Su tutti abbiamo la completa integrazione della fabbrica, quindi il ruolo di intermediario che il MES svolge tra officina e direzione. Questo consente una certa facilità e velocità nel reperire informazioni in tutte le aree aziendali, che possono essere usate per effettuare analisi, misurare le prestazioni oppure individuare criticità all'interno dell'impianto produttivo. I fattori elencati determinano altri aspetti positivi come l'aumento della qualità del processo di produzione e la conseguente diminuzione degli errori di lavorazione.

L'installazione di un sistema complesso come il MES oltre a comportare una serie importante di benefici, porta con sé anche aspetti negativi. Un fattore che limita molte imprese è sicuramente l'elevato costo di implementazione: infatti oltre alla spesa necessaria per il software MES, bisogna tenere conto di tutti gli altri costi per l'adattamento della struttura IT aziendale ad un sistema di questo tipo. I costi aumentano anche a causa dei tempi di implementazione abbastanza lunghi, dovuti alla struttura modulare del MES e alla necessaria integrazione con i sistemi di officina e di organizzazione aziendale a livello più alto. È un problema significativo per le piccole e medie imprese, mentre nelle grandi aziende assume minore importanza grazie all'elevata capacità di investimento e a strutture hardware molto avanzate. Un secondo svantaggio è rappresentato dalla resistenza al cambiamento da parte di alcuni dipendenti. Infatti, lo stravolgimento della fabbrica e delle abitudini dei lavoratori in seguito all'introduzione del MES potrebbe essere visto in maniera negativa dal personale, causando un mancato utilizzo o un uso errato delle potenzialità del sistema e rendendo inutile l'investimento. Altro svantaggio attribuibile sia all'installazione, sia al personale, è rappresentato dai costi per la formazione necessaria al corretto uso e al completo sfruttamento delle capacità del MES. È una spesa importante per l'azienda perché implica il fermo di personale, particolarmente influente in quelle imprese con un numero di dipendenti non molto elevato.

3.4 Analisi Swot

L'analisi Swot è uno strumento di pianificazione strategica usato per valutare i punti di forza, Strengths, le debolezze, Weaknesses, le opportunità, Opportunities, e le minacce, Threats, di un progetto o in un'impresa o in ogni altra situazione in cui un'organizzazione o un individuo debba svolgere una decisione per il raggiungimento di un obiettivo. Nel nostro caso la matrice Swot è stata utilizzata per analizzare l'impatto del MES all'interno della struttura aziendale. Il punto di partenza è la definizione dell'obiettivo che si vuole raggiungere, dopo di che si possono definire i 4 punti principali dell'analisi, in particolare:

- Punti di forza, cioè le peculiarità del sistema che sono utili a raggiungere l'obiettivo;
- Debolezze, quindi le caratteristiche dannose per la buona riuscita dell'investimento;
- Opportunità, rappresentate dalle condizioni esterne utili al completamento dell'obiettivo;
- Minacce, cioè le condizioni esterne che potrebbero recare danni allo scopo finale.

Nel nostro caso specifico l'obiettivo da raggiungere è l'implementazione nel MES all'interno di un'organizzazione produttiva e i quattro elementi che costituiscono la matrice Swot sono stati studiati su questa base. Partendo dai fattori interni positivi, i punti di forza, i primi quattro che sono stati indicati fanno riferimento ai vantaggi elencati nel capitolo 3.3 e sono strettamente legati alle opportunità che offre il MES. Questi vantaggi sono: l'ottimizzazione e il controllo della produzione, l'integrazione della struttura aziendale, la disponibilità di dati in tempo reale e la valutazione delle prestazioni. A questi è stato aggiunto un altro elemento, cioè la spinta verso l'industria 4.0, per sottolineare come l'introduzione del MES, richiedendo un'infrastruttura IT avanzata, costituisca un punto di partenza per ulteriori sviluppi della fabbrica. Passando ai fattori negativi esterni, le debolezze, anch'esse fanno riferimento agli svantaggi riportati nel capitolo 3.3. Un'infrastruttura hardware e software non adeguata, la resistenza al cambiamento da parte dei dipendenti e la mancanza di personale specializzato per sfruttare e mantenere il MES sono elementi che ovviamente frenano le aziende intenzionate a installare il sistema e di cui è importante tenere conto ai fini di una corretta analisi. Oltretutto, è necessario un adeguamento delle macchine già presenti in officina: esse vanno dotate di strumenti per il controllo e l'esecuzione delle operazioni, la raccolta e la comunicazione delle informazioni che poi saranno inviate ed elaborate dal MES. In particolare, devono essere installati strumenti come i PLC, fondamentali per l'automazione dei macchinari e la raccolta di dati a livello di impianto. Se consideriamo ora le condizioni esterne positive, i vantaggi offerti dal MES creano importanti opportunità. Grazie ad un accurato controllo e ad una pianificazione della produzione basata su dati reali è possibile garantire al cliente

una migliore stima e il rispetto dei tempi di consegna. Inoltre, l'analisi delle prestazioni dei sistemi produttivi consente di migliorare i processi di fabbricazione, favorendo l'aumento della qualità dei prodotti immessi sul mercato. L'ultima analisi riguarda le minacce, cioè i fattori esterni negativi. I primi due elementi individuati sono strettamente legati alle debolezze. Gli elevati costi di implementazione e manutenzione infatti, oltre a essere dovuti alla complessità del MES, dipendono dai profondi stravolgimenti da apportare nel caso di infrastrutture informatiche non adeguate. Allo stesso modo la mancanza di personale specializzato nell'uso/manutenzione del sistema determina elevati costi di formazione. L'ultimo fattore da tenere fortemente in considerazione è la sicurezza. Il MES raccoglie e gestisce un'enorme quantità di dati che vanno quindi protetti e gestiti con la massima attenzione.

La matrice in figura 11 raccoglie tutti gli elementi precedentemente elencati. È suddivisa in base ai fattori positivi e negativi, come se fossero disposti sull'asse delle ascisse, interni ed esterni, sulle ordinate. I punti fondamentali per l'analisi Swot sono distribuiti nei quattro quadranti. All'interno di ognuno di questi troviamo i vari aspetti, positivi e negativi, che emergono dallo studio del nostro obiettivo finale. Un'azienda può utilizzare questa analisi per valutare in generale se l'introduzione del MES potrebbe portare benefici all'organizzazione e soprattutto per confrontare gli elementi vantaggiosi con gli svantaggi individuati. Bisogna comunque sottolineare che è uno strumento che descrive la realtà in maniera semplice e di conseguenza dovrà essere integrato con studi più approfonditi, ma è molto utile nella fase di definizione e valutazione delle diverse scelte strategiche.

Matrice Swot	Fattori positivi	Fattori negativi
Fattori interni	<p>S Punti di forza</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione e controllo produzione; - integrazione struttura aziendale; - disponibilità di dati in tempo reale; - valutazione prestazioni; - spinta verso l'industria 4.0. 	<p>W Debolezze</p> <ul style="list-style-type: none"> - Infrastruttura IT non adatta; - riluttanza dei dipendenti al cambiamento; - mancanza di personale specializzato nell'uso/manutenzione MES. - adeguamento macchine;
Fattori esterni	<p>O Opportunità</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miglior controllo sui tempi di consegna ai clienti; - Incremento qualità dei prodotti. 	<p>T Minacce</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elevati costi di implementazione e manutenzione; - alti costi di formazione; - sicurezza.

FIGURA 11 MATRICE SWOT

3.5 Business Process Reengineering

L'obiettivo di molte aziende nel corso del tempo si è concentrato, e continua a concentrarsi, sull'ottimizzazione e sulla ridefinizione dei processi di business, favorendo una significativa riduzione di tutte le attività che non creano valore aggiunto. BPR, cioè la reingegnerizzazione dei processi aziendali, è stata definita da Hammer e Champy nel seguente modo: *“La reingegnerizzazione è il ripensamento fondamentale e la riprogettazione radicale dei processi aziendali per ottenere notevoli miglioramenti nelle misurazioni critiche e contemporanee delle prestazioni come costi, qualità, servizio e velocità”*. Questa metodologia a supporto di drastici cambiamenti nel modo di fare business, si basa su un concetto fondamentale: il passaggio da AS-IS PROCESS a TO-BE PROCESS (WITH CHANGE). Il primo passo è quindi la modellazione AS-IS, cioè dello stato attuale dei processi, in maniera tale da identificare inefficienze, rischi di malfunzionamenti e discordanze con gli obiettivi strategici da raggiungere. Poi si passa alla modellazione TO-BE, che coincide con la definizione dei nuovi processi di business, caratterizzati da profondi cambiamenti rispetto a quelli di partenza.

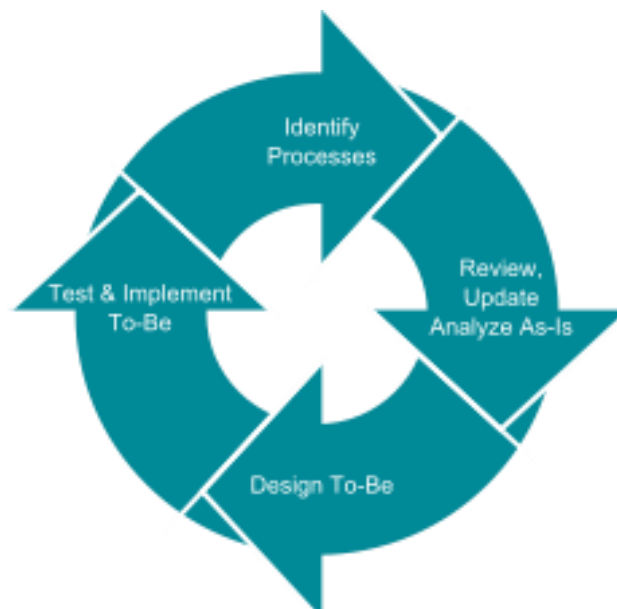


FIGURA 12 FASI PRINCIPALI BPR [12]

La rappresentazione delle attività è supportata da diversi strumenti, in particolare da linguaggi di modellazione come UML⁶ e IDEF⁷. È importante anche sottolineare il legame tra BPR e infrastrutture IT. Lo sviluppo di nuove tecnologie informatiche, infatti, rappresenta il motore principale del passaggio da as-is a to-be process. Esse permettono di ridisegnare il modo con cui vengono gestite molte operazioni, ottimizzando in maniera significativa diverse attività aziendali. Questo concetto assume grande rilevanza nel nostro studio: il MES è uno strumento di profondo cambiamento all'interno di uno stabilimento produttivo, determina la variazione di molti processi che precedentemente venivano svolti in modi differenti. Permette, inoltre, di automatizzare attività dispendiose come il rintracciamento, la raccolta e l'elaborazione di dati. Un'azienda che ha l'obiettivo ampio di ridisegnare la propria struttura, renderla completamente connessa, reingegnerizzare i sistemi di raccolta delle informazioni, modificare il modo di controllare e ottimizzare le operazioni di produzione, può utilizzare il MES, insieme ad altre tecnologie avanzate, come vettore per il raggiungimento dello scopo finale. Il BPR è ovviamente un processo dispendioso in termini di risorse umane, temporali e di costo, ma permette di far fronte ai continui cambiamenti imposti dal mercato, mantenendo elevata la propria competitività.

⁶ UML (Unified Modeling Language): linguaggio grafico che consente di specificare e documentare sistemi software, tramite un approccio orientato agli oggetti.

⁷ IDEF (Integrated DEfinition Methods): sono una famiglia di metodi che si supportano l'un l'altro per un approccio strutturato all'analisi di processo. Essi sono ampiamente usati come strumenti di analisi di sistema, come strumenti di progettazione e come strumenti di gestione di progetti.

Conclusione

È evidente che la competitività di un'azienda al giorno d'oggi non dipende solo dalla qualità dei prodotti offerti, ma anche dal modo in cui vengono gestiti tutti gli altri processi di business. Questo compito è affidato ai software per la gestione aziendale. Da un lato è comprensibile l'esitazione delle piccole e medie imprese di fronte ad investimenti di questo tipo, dall'altro i vantaggi riscontrati sono importanti. Attraverso questi strumenti è possibile automatizzare molte attività che non creano valore aggiunto, lasciando più spazio ad operazioni fondamentali come l'innovazione e la progettazione, che permettono di mantenere i prodotti sempre su standard elevati. Dallo studio è chiaro il ruolo del MES all'interno delle organizzazioni produttive: l'ottimizzazione e il controllo della produzione, l'analisi delle prestazioni degli impianti produttivi, l'integrazione delle varie aree aziendali, sono alcuni tra gli aspetti più importanti e delicati che il sistema può ricoprire. Queste funzionalità determinano vantaggi in termini di riduzione degli errori, miglior gestione delle risorse, incremento della produttività, ed hanno un impatto positivo direttamente sul cliente finale. Tutte le organizzazioni manifatturiere dovrebbero valutare in maniera accurata l'uso di queste soluzioni, avvalendosi ovviamente degli strumenti per lo studio, l'analisi e la simulazione, così da prendere decisioni corrette ed avere dei riscontri concreti e positivi in seguito all'implementazione.

Bibliografia

- [1] [Online]. Available: <https://www.copadata.com/it/prodotti/platform-editorial-content/significato-di-iiot-industrial-internet-of-things/>.
- [2] [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Cloud_manufacturing.
- [3] T. P. a. B. O. M. Hermann, «"Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios",» 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Koloa, HI, DOI 10.1109/HICSS.2016.488, pp. 3928-3937, 2016.
- [4] O. Sauer, «Trends in Manufacturing Execution Systems,» Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology, vol. 66, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-10430-5_53, pp. 685-693, 2010.
- [5] F. Almada-Lobo, «The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES),» Journal of Innovation Management JIM, vol. 3, n. 4, pp. 16-21, 2015.
- [6] [Online]. Available: <https://www.rematarlazzi.it/index.php/industry-4-0-lera-della-4-rivoluzione-industriale/>.
- [7] [Online]. Available: <https://tulip.co/blog/mes/mes-mesa-isa-95-namur-why-so-many-standards/>.
- [8] [Online]. Available: <https://www.elsamec.it/>.
- [9] P. A. S. B. Saurabh Vaidya, «Industry 4.0 – A Glimpse,» Procedia Manufacturing, vol. 20, DOI <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>, pp. 233-238, 2018.
- [10] A. Rojko, «Industry 4.0 Concept: Background and Overview,» International Journal of Interactive Mobile Technologies, vol. 11, n. 5 DOI <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>, pp. 77-90, 2017.
- [11] J. Kletti, Manufacturing Execution Systems — MES, Berlin: Springer, 2007.
- [12] [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Business_process_re-engineering.