



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale (L-9)

**IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI MES NEL PARADIGMA INDUSTRY 4.0:  
LO STATO DI AVANZAMENTO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE**

**MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM: IMPLEMENTATION IN THE FOOD  
AND BEVERAGE INDUSTRY**

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. **Maurizio Bevilacqua**

Tesi di Laurea di:

**Annalisa Valeriani**

**A.A. 2019 / 2020**

# INDICE

INTRODUZIONE .....	3
CAPITOLO 1: INDUSTRY 4.0 E LE TECNOLOGIE ABILITANTI .....	4
<b>1.1 Cos'è Industry 4.0</b> .....	4
<b>1.2 Le tecnologie abilitanti di Industry 4.0</b> .....	6
CAPITOLO 2: STRUTTURA E FUNZIONALITÀ DEI MES.....	15
<b>2.1 I MES nel paradigma Industry 4.0</b> .....	15
<b>2.1.1 Cos'è un MES e quali sono le sue promesse</b> .....	15
<b>2.1.2 La struttura di un MES</b> .....	18
<b>2.2 Le funzionalità di un MES nell'ingegneria del software</b> .....	27
CAPITOLO 3: L'IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI MES NELL'INDUSTRIA DEL FOOD & BEVERAGE .....	32
<b>3.1 Requisiti e aspettative dell'industria alimentare e delle bevande</b> .....	32
<b>3.1.1 Caratteristiche del processo di produzione di alimenti e bevande</b> .....	32
<b>3.1.2 I requisiti</b> .....	33
<b>3.2 Il supporto del MES nell'industria alimentare e delle bevande</b> .....	38
<b>3.2.1 Le barriere</b> .....	39
<b>3.2.2 Le soluzioni</b> .....	40
CAPITOLO 4: PRESENTAZIONE DI UN CASO DI STUDIO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE .....	43
<b>4.1 Descrizione dell'approccio per la generazione automatica di un MES</b> .....	43
<b>4.1.1 Un approccio model-driven per MES</b> .....	44
<b>4.1.2 I quattro metamodelli</b> .....	46
<b>4.2 Caso d'uso nel dominio di produzione della birra</b> .....	49
<b>4.2.1 Biblioteche per la produzione di birra</b> .....	49
<b>4.3 Modellazione degli elementi nella produzione della birra</b> .....	53
<b>4.4 La valutazione</b> .....	56
CONCLUSIONI .....	60
BIBLIOGRAFIA.....	61
RINGRAZIAMENTI.....	63

## INTRODUZIONE

Questo elaborato è suddiviso in quattro sezioni. La prima sezione presenta il paradigma Industry 4.0, dalla nascita fino ai recenti sviluppi, ed esplora le numerose tecnologie abilitanti che lo caratterizzano, delineandone i relativi vantaggi e le opportunità offerte all'industria. Nel secondo capitolo si offre una descrizione dei sistemi MES (Manufacturing Execution System), affrontando i cenni storici che ne spiegano la genesi, i benefici che apportano al processo decisionale, la struttura secondo gli standard, le organizzazioni no-profit in ambito MES e le loro funzionalità nell'ingegneria del software. La terza sezione esplora le caratteristiche dell'industria alimentare e delle bevande in riferimento ai requisiti e alle aspettative. L'ultimo capitolo si occupa di esporre gli elementi di modellazione per un approccio model-driven che consenta la generazione automatica di un MES laddove il MES stesso non possa essere implementato causa le difficoltà del settore analizzato. Il quarto capitolo include la presentazione di un caso d'uso nel dominio di produzione della birra e tratta dell'applicazione degli elementi presentati alle fasi di processo che caratterizzano questa produzione. Segue inoltre una valutazione finale degli esperti nel caso del birrificio per valutare attraverso cinque criteri se l'approccio basato sul modello possa implicare la fattibilità del MES. Le conclusioni ripercorrono il percorso compiuto nell'elaborato e mostrano che lo stato di avanzamento dei MES in questo settore è in attesa di essere condotto ad una più ampia standardizzazione. In ultimo seguono i ringraziamenti finali.

# CAPITOLO 1: INDUSTRY 4.0 E LE TECNOLOGIE ABILITANTI

## 1.1 Cos'è Industry 4.0

Industry 4.0 è un paradigma produttivo che ha contribuito ad integrare all'interno di ambienti produttivi le tecnologie di tipo informatico: si tratta di una visione che oltrepassa il livello di automazione proiettandosi verso il tema della digitalizzazione.

Il termine *paradigma* richiama il tentativo di modellare un ambiente virtuale in modo che sia il più possibile riferibile ad uno reale.

Industry 4.0 nasce nel settore dell'automotive: infatti, i modelli vincenti dell'industria manifatturiera sono stati generati sulla base di esperienze concrete e di successo in diversi contesti economici quali la produzione di massa (modello T della Ford) e la Lean Production in Toyota.

L'industria automobilistica rappresenta ancora oggi la sfida più complessa per qualsiasi modello organizzativo, in quanto il settore dell'auto è caratterizzato da grandi volumi, elevati costi, complessità e varietà dei componenti della distinta base. Quindi, l'industria dell'auto e soprattutto, l'industria dell'auto tedesca, costituiscono il punto di partenza del paradigma, con cui si intende la digitalizzazione dell'intera catena del valore.

L'obiettivo centrale di questo modello è perseguire le necessità del singolo cliente le cui influenze riguardano la gestione degli ordini, ricerca e sviluppo, messa in servizio della produzione e la consegna fino all'utilizzo e riciclaggio dei prodotti.

La principale differenza tra Industry 4.0 e l'ottica precedente Computer Integrated Manufacturing (CIM) è l'importanza conferita al ruolo umano nell'ambiente di produzione, poiché l'approccio CIM esclude la presenza degli operatori. Al contrario, Industry 4.0 promuove la connessione di elementi fisici come sensori, dispositivi e risorse aziendali, attraverso la rete Internet.<sup>1</sup>

La necessità è quella di convertire le macchine normali in macchine consapevoli di sé e auto apprendenti per migliorare le loro prestazioni complessive e la gestione della

---

<sup>1</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle, «Industry 4.0 – A Glimpse».

manutenzione con l'interazione circostante; l'intento infatti consiste nella costruzione di una piattaforma aperta e intelligente per l'applicazione di informazioni in una rete industriale.<sup>2</sup>

Industry 4.0 è un processo controverso per natura e definizione date le tecnologie abilitanti che gli consentono di esistere e le opportunità offerte.

L'espressione "quarta rivoluzione industriale" è stata introdotta per la prima volta nel 1988 per identificare i processi di evoluzione dell'innovazione grazie agli scienziati nei team di produzione; il termine è stato associato quindi allo sviluppo e applicazione delle nanotecnologie, mentre nel 2011 tale espressione è stata utilizzata per identificare il piano industriale tedesco.

Altri termini simili includono: "quarta rivoluzione industriale", "fabbrica digitale", "produzione digitale", "fabbrica intelligente", "fabbrica interconnessa", "industria integrata", "produzione 4.0" e "cooperazione uomo-macchina".

La "produzione digitale" è composta da circa 1200 tecnologie abilitanti che possono essere impiegate in una varietà di contesti quali fabbriche intelligenti, città, reti, applicazioni sanitarie, case, spazi, oggetti o macchine. Nonostante gli stakeholders, i responsabili politici, i manager, gli imprenditori e gli accademici abbiano diverse esigenze, tuttavia si rintracciano degli elementi in comune come i sistemi di automazione, la digitalizzazione, Internet, i cambiamenti nelle relazioni con gli stakeholders e nella governance.

I due fattori chiave per il successo di questo approccio sono l'integrazione e l'interoperabilità.

L'**integrazione** di sistemi di automazione industriale, come Cyber Physical System (CPS) e Cyber Physical Production System (CPPS), comporta un miglioramento delle caratteristiche attraverso il networking con le parti interessate.

L'**interoperabilità** facilita i processi di produzione per consentire l'interconnessione dei sistemi e lo scambio di conoscenze e competenze.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle.

<sup>3</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

Lo scopo della “quarta rivoluzione industriale” è quello di trasformare radicalmente la struttura dei sistemi di produzione per transitare da “sistemi produttivi interconnessi ma ottimizzati localmente” a “flussi produttivi integrati, automatizzati e globalmente ottimizzati ad alta flessibilità”.

Le opportunità che la “Fabbrica digitale” implica sono:

- **flessibilità produttiva**, che si manifesta nella lavorazione di piccoli lotti, per mezzo di una partecipazione diretta dell’operatore alle fasi di lavoro e/o controllo più complesse, eliminando i vincoli strutturali e tecnologici degli impianti automatici e fissi
- **maggior velocità nella creazione di prototipi**, ad esempio attraverso la realtà aumentata con cui progettare prodotti e processi
- **maggior capacità produttiva**, attraverso la possibilità di modificare i criteri di produzione, non solo per distribuire equamente le attività lavorative tra operatore e macchina, ma anche per consentire un lavoro più efficiente ed efficace
- **riduzione dei costi di set-up, degli errori e tempi di fermo macchina**
- **maggior qualità del prodotto e minori scarti di produzione**
- **migliore opinione dei clienti sui prodotti.**<sup>4</sup>

La flessibilità in particolare, è la chiave di questo paradigma: infatti affinché si possa competere sul mercato è necessario che l’offerta sia flessibile, tale da realizzare sempre più prodotti ad alta varietà in particolar modo prodotti personalizzati sulla base delle specifiche esigenze dei clienti: si parla infatti di Mass Customization.

## **1.2 Le tecnologie abilitanti di Industry 4.0**

Si descrivono di seguito i pilastri che costituiscono Industry 4.0 e che sono funzionali alla comprensione del ruolo dei sistemi MES nell’industria:

**Analisi di Big Data:** consiste nella raccolta e nell’analisi di un gran numero di dati provenienti da diverse fonti, i quali costituiscono un fondamentale supporto al processo decisionale.

---

<sup>4</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli.

Ciò comporta una valutazione del prodotto più precisa grazie alle comunicazioni più veloci, prodotti personalizzati e capacità di individuare il profilo del cliente e determinarne le relative esigenze.

L'analisi dei big data consente di stimare la domanda e quindi di ottenere una certa flessibilità e garantire una miglior qualità del prodotto e minori scarti di produzione, ottimizzando la catena di fornitura.<sup>5</sup>

Seconda la definizione di Forrester i Big Data consistono di quattro dimensioni: volume dei dati, varietà dei dati, velocità di generazione di nuovi dati e analisi, valore dei dati.<sup>6</sup>

Per elaborare continuamente grandi quantità di dati eterogenei non strutturati raccolti in formati come audio, video, testo o altro sono state introdotte ulteriori dimensioni per una migliore caratterizzazione dei BD: veridicità, visione, volatilità, verifica, validazione, variabilità.

Secondo diversi autori, la descrizione delle dimensioni è come segue:

- **Volume:** rappresenta le dimensioni dell'insieme di dati che consumano un ingente spazio di archiviazione o consistono in un numero elevato di raccolte; le dimensioni dei BD sono indicate in terabyte e petabyte.
- **Varietà:** si riferisce all'eterogeneità strutturale in un dataset.
- **Velocità:** si riferisce alla velocità di generazione dei dati e alla stessa per analizzarli.
- **Veridicità:** rappresenta l'inaffidabilità delle fonti di alcuni dati, i quali richiedono l'analisi dei BD per ottenere una previsione certa.
- **Visione:** solo un processo mirato dovrebbe inviare la generazione dei dati, la cui probabilità è affrontata in questa dimensione.
- **Volatilità:** è relativa al ciclo di vita dei dati, assicura il rifornimento dei dati obsoleti con i nuovi.
- **Verifica:** rappresenta la conformità dei dati ad un insieme di specifiche.
- **Validazione:** riguarda la conformità visiva dei dati generati.
- **Variabilità:** velocità di flusso dei dati misurata dalla sua variazione.

---

<sup>5</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli.

<sup>6</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle, «Industry 4.0 – A Glimpse».

- **Valore:** attraverso l'estrazione e la trasformazione, definisce fino a che punto l'analisi dei BD genera intuizioni e vantaggi economicamente validi.<sup>7</sup>

L'analisi dei dati precedentemente registrati viene utilizzata per scoprire le minacce verificatesi in precedenti processi di produzione e per prevedere i nuovi problemi che si verificano così da individuare le varie soluzioni per impedire che ciò si ripeta nell'industria.

**Robot autonomi:** i robot stanno incrementando la loro autonomia, flessibilità e operatività fino al punto in cui interagiranno gli uni con gli altri e lavoreranno in sicurezza al fianco di esseri umani tale da imparare dagli stessi. Un robot autonomo infatti, è abituato a eseguire metodi di produzione in indipendenza e a lavorare nei luoghi in cui si trovano lavoratori umani limitati nelle attività. Inoltre può completare un determinato compito in modo preciso e intelligente entro il tempo stabilito e concentrarsi anche sulla sicurezza, flessibilità, versatilità e collaborazione.<sup>8</sup>

**Blockchain:** è una struttura dati condivisa e immutabile, definita come un registro digitale le cui voci sono raggruppate in blocchi, concatenati in ordine cronologico e la cui integrità è garantita dall'uso della crittografia. Sebbene la sua dimensione sia destinata a crescere nel tempo, è immutabile in quanto, di norma, il suo contenuto una volta scritto non è più né modificabile né eliminabile, a meno di non invalidare l'intera struttura.

Le caratteristiche che accomunano i sistemi sviluppati con le tecnologie Blockchain sono la digitalizzazione dei dati, decentralizzazione, programmabilità e tracciabilità dei trasferimenti, trasparenza/verificabilità, immutabilità del registro. Grazie a tali caratteristiche infatti, la blockchain è considerata un'alternativa in termini di sicurezza, affidabilità, trasparenza e costi alle banche dati e ai registri gestiti in maniera centralizzata da autorità riconosciute e regolamentate.

**Simulazione:** nonostante la simulazione sia già impiegata in fase di progettazione, l'utilizzo di sistemi simulativi sarà esteso a tutti i processi produttivi. Tali sistemi elaboreranno i dati raccolti in tempo reale in modelli simulativi virtuali al fine di testare

---

<sup>7</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>8</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle, «Industry 4.0 – A Glimpse».



e ottimizzare le prestazioni delle macchine, prodotti e processi e di anticipare i problemi prima che avvengano nella realtà.

È possibile ottenere delle simulazioni 2D e 3D per la messa in servizio virtuale e per la simulazione dei tempi ciclo, dei consumi energetici o degli aspetti ergonomici di un impianto di produzione.<sup>9</sup>

Le opportunità che la simulazione offre sono la maggiore velocità nella creazione di prototipi e la riduzione dei costi di set-up, di errori e tempi di fermo macchina.<sup>10</sup>

**Integrazione orizzontale e verticale dei sistemi informativi:** l'integrazione dei dati e dei sistemi lungo la catena del valore farà in modo che tutti i reparti e le funzioni aziendali diventino parte di un unico sistema integrato.

L'integrazione offerta da Industry 4.0 è caratterizzata da due dimensioni: interna ed esterna.

La prima (integrazione orizzontale) concerne lo scambio di informazioni tra le diverse aree dell'azienda e costituisce la base per una stretta collaborazione tra aziende, utilizzando i sistemi informativi per arricchire il ciclo di vita del prodotto, creando un ecosistema interconnesso all'interno della stessa rete di creazione del valore.

L'integrazione verticale è un sistema di produzione in rete intraziendale ed è la base per lo scambio di informazioni e la collaborazione tra i diversi livelli della gerarchia d'impresa come la pianificazione aziendale, la programmazione o la gestione della produzione. Essa consente di "digitalizzare" tutto il processo all'interno dell'intera organizzazione, considerando tutti i dati dei processi di produzione, ad esempio la gestione della qualità, l'efficienza dei processi o la pianificazione delle operazioni che sono disponibili in tempo reale.

Secondo diversi autori, il paradigma di Industry 4.0 nei sistemi di produzione ha un'ulteriore dimensione tra l'integrazione orizzontale e quella verticale considerando l'intero ciclo di vita del prodotto. In una visione dell'ingegneria digitale olistica, come

---

<sup>9</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle.

<sup>10</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

flusso naturale di un modello digitale persistente e interattivo, lo scopo dell'integrazione end-to-end consiste nel colmare i divari tra progettazione/produzione del prodotto e il cliente, ad esempio, dall'acquisizione di materie prime per il sistema di produzione, all'uso del prodotto e alla fine dello stesso.<sup>11</sup>

L'integrazione comporta un abbassamento dei costi, un incremento della produttività, la capacità di identificare, diagnosticare e risolvere problemi e un miglior collegamento nelle catene di approvvigionamento in entrata e in uscita.<sup>12</sup>

**Internet of Things:** si intende quell'insieme di tecnologie e sensori che permetteranno a device e a prodotti finiti di comunicare e interagire tra loro o con le persone via rete.

IoT è la connessione di due parole, "internet" come rete delle reti, sistema globale che serve gli utenti di tutto il mondo con reti di computer interconnesse che utilizzano il protocollo TCP/IP standard, mentre per "cose" si intende un qualsiasi oggetto o persona.<sup>13</sup>

IoT che dovrebbe anche essere conosciuto come IoE (Internet of Everything), consiste in Internet of Service (IoS), Internet of Manufacturing Services (IoMS), Internet of People (IoP) e Integration of Information and Communication Technology (IICT).

Contesto, onnipresenza e ottimizzazione costituiscono le tre caratteristiche chiave dell'IoT in cui il contesto fa riferimento alla possibilità di evoluzione dell'interazione dell'oggetto con l'ambiente esistente e di avere una risposta immediata se qualche fattore dovesse cambiare. L'onnipresenza fornisce le informazioni su posizione, condizioni fisiche e atmosferiche di un oggetto, mentre l'ottimizzazione mostra che gli obiettivi di oggi sono molto più che una semplice connessione degli operatori umani all'interfaccia uomo-macchina.<sup>14</sup>

Le tecnologie IoT consentono di conoscere le preferenze del cliente in modo tale da personalizzare i prodotti attraverso un processo di inclusione del cliente stesso nella produzione e nella creazione di valore. In aggiunta ne deriva una maggiore garanzia sull'origine, uso e destinazione dei prodotti che assicura un'efficace tracciabilità del prodotto dalla fabbrica al cliente. Per di più tra i benefici apportati dall'Internet of Things

---

<sup>11</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>12</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

<sup>13</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>14</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle, «Industry 4.0 – A Glimpse».

vi è la riduzione dei tempi di set-up, poiché la capacità di rilevare macchinari usurati o rotti in tempo reale consente un intervento di manutenzione proattivo.<sup>15</sup>

**Tecnologia RFID:** si tratta di una tecnologia che utilizza la comunicazione wireless tra un oggetto (o un tag) e un lettore per tracciare ed identificare automaticamente tali oggetti.

16

**Cybersecurity:** a causa dell'aumento della connettività tra device e quindi dell'elevato numero di informazioni, aumenterà l'esigenza di proteggere i sistemi di produzione e la rete informatica da potenziali minacce.

Le operazioni di produzione possono essere interrotte da attacchi informatici per i quali le aziende subiscono perdite di denaro, ma il problema principale è caratterizzato da quegli attacchi che prendono di mira i sistemi che richiedono operazioni di sicurezza e quindi rappresentano un grave rischio per la sicurezza degli operatori. Alcuni potenziali minacce possono riguardare la modifica dei progetti del prodotto, la modifica dei processi di produzione o la manipolazione dei dati. Le conseguenze di ciò possono essere: ritardi nei lanci dei prodotti, produzione di prodotti modificati, compromissione della fiducia dei clienti e aumento dei costi di garanzia.<sup>17</sup>

**Cloud computing:** le tecnologie di cloud computing facilitano l'archiviazione e l'elaborazione di una grande quantità di dati con elevate prestazioni in termini di velocità, flessibilità ed efficienza.

Il cloud computing si traduce in un maggior numero di servizi per un sistema produttivo sviluppati sulla base dei dati per garantire la qualità e migliorare operazioni/produzione.<sup>18</sup>

L'adozione di CC ha diversi vantaggi legati alla riduzione dei costi, ad esempio i costi diretti e indiretti legati alla rimozione dell'infrastruttura IT nell'organizzazione, il servizio di razionalizzazione delle risorse da parte degli utenti dinamicamente scalabili che consumano solo le risorse di elaborazione che effettivamente utilizzano o la

---

<sup>15</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

<sup>16</sup> Bai et al., «Industry 4.0 Technologies Assessment».

<sup>17</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>18</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

portabilità durante l'utilizzo di qualsiasi dispositivo connesso a Internet come telefoni cellulari o tablet che accedono da qualsiasi luogo nel mondo.

In questo modo il cloud può avere quattro tipi di accesso: pubblico (di solito in una posizione del data center, gestito da fornitori e disponibile per tutto il pubblico), privato (stesso luogo dell'organizzazione che offre vantaggi speciali), ibrido (combinazione di cloud pubblici e privati) e comunità (condivisa da più organizzazioni e supportata da una specifica condivisione di interessi e preoccupazioni).<sup>19</sup>

**Intelligenza artificiale:** è un'area dell'informatica che enfatizza la creazione di macchine intelligenti che funzionano e reagiscono come gli esseri umani.<sup>20</sup>

**Realtà aumentata:** si tratta di una serie di dispositivi che arricchiscono o diminuiscono la percezione sensoriale umana attraverso l'accesso ad ambienti virtuali il cui utilizzo è accompagnato dai sensi quali l'olfatto, il tatto e il suono. Tra i dispositivi rientrano:

- dispositivi mobili, ad esempio smartphone, tablet o PC
- sensori per aumentare la visione (occhiali per realtà aumentata), il suono (auricolari) o il tatto (guanti) per fornire informazioni multimediali.<sup>21</sup>

Facendo uso di hardware convenzionale, l'uso della realtà aumentata ha un grande vantaggio che consiste in una spesa minima o addirittura nulla. Un autore ha indicato un ulteriore vantaggio chiave per l'industria, ossia la soppressione della maggior parte dei documenti in quanto la realtà aumentata fornisce informazioni dinamiche in tempo reale.<sup>22</sup>

I sistemi basati sulla realtà aumentata supportano una varietà di servizi, come la selezione di parti in magazzino o l'invio di istruzioni di riparazione su dispositivi mobili. L'industria può servirsene per fornire ai lavoratori informazioni sui tempi, per migliorare il processo decisionale e le procedure di lavoro. I lavoratori infatti, possono ricevere istruzioni per la riparazione su come sostituire una parte particolare mentre stanno guardando il sistema effettivo che necessita la riparazione.<sup>23</sup>

---

<sup>19</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>20</sup> Bai et al., «Industry 4.0 Technologies Assessment».

<sup>21</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

<sup>22</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>23</sup> Vaidya, Ambad, e Bhosle, «Industry 4.0 – A Glimpse».

**Soluzioni avanzate di produzione:** si tratta della realizzazione di sistemi interconnessi e modulari che garantiscono piani industriali automatizzati. Queste tecnologie includono i sistemi di movimentazione automatica dei materiali e robotica avanzata, come i robot collaborativi, veicoli a guida automatizzata o veicoli aerei senza pilota.<sup>24</sup>

**Produzione additiva:** questo processo di produzione additiva è un processo industriale impiegato per fabbricare oggetti creando strati di materiale, come plastica, ceramica, metalli e resine, eliminando così la necessità di assemblare i materiali stessi.

Un esempio significativo è la stampa 3D.

I benefici che la produzione additiva offre sono:

- maggior velocità nella creazione di prototipi
- minori costi di produzione e degli scarti
- riduzione dei tempi di consegna grazie all'eliminazione della separazione tra le fasi di produzione e di assemblaggio<sup>25</sup>
- le parti sono prodotte direttamente da file di dati CAD (parti finali o quasi con elaborazione aggiuntiva minima o quasi)
- maggior personalizzazione senza strumenti o costi di produzione aggiuntivi
- produzione di geometrie complesse e di parti cave o strutture reticolari
- massimizzazione sull'uso dei materiali per l'approccio "zero rifiuti"
- ingombro operativo ridotto verso la produzione di una grande varietà di parti
- produzione su richiesta ed eccellente scalabilità.<sup>26</sup>

**Ulteriori tecnologie abilitanti:** vi sono delle tecnologie per campi specifici, come l'agroalimentare e l'economia bio-based, che prevedono strumenti in grado di determinare dove, quando e come le risorse energetiche saranno utilizzate con l'obiettivo di eliminare e ridurre gli sprechi.<sup>27</sup>

---

<sup>24</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

<sup>25</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli.

<sup>26</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

<sup>27</sup> Büchi, Cugno, e Castagnoli, «Smart Factory Performance and Industry 4.0».

Sono state appena presentate le tecnologie avanzate di automazione che costituiscono le fondamenta di I4.0. Riassumendo, poiché la sfida principale di questo paradigma è quello di rendere i sistemi di produzione più flessibili e collaborativi, ogni tecnologia implementata in modo individuale avrà un impatto inferiore rispetto ad un'adozione completa che addurrà nuove opportunità.

Infine uno sguardo sull'Unione Europea ci consente di analizzare che nelle PMI (piccole medio imprese), spina dorsale dell'economia e chiave per la competitività, debbono essere sviluppati approcci speciali per introdurre e applicare le tecnologie abilitanti. Le tecnologie costituiscono la base per la creazione di un tipo di catena del valore oltre i confini organizzativi, caratterizzata da intelligenza, rete e agilità. Di conseguenza, a causa del crescente livello di complessità, le PMI manifatturiere dubitano circa l'impegno finanziario richiesto, l'impatto sul modello di business e l'implementazione di Industry 4.0 può essere facilitata consentendo l'acquisizione di tecnologie per servizi digitali con investimenti interessanti.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Alcácer e Cruz-Machado, «Scanning the Industry 4.0».

## CAPITOLO 2: STRUTTURA E FUNZIONALITÀ DEI MES

### 2.1 I MES nel paradigma Industry 4.0

L'ottica di Industry 4.0 guida le imprese manifatturiere ad acquisire elevati livelli di capacità digitale. La "fabbrica intelligente" costituisce un cambiamento guidato dall'IT nei sistemi di produzione, poiché i suoi principi di progettazione enfatizzano l'interconnessione (collaborazione, standard, sicurezza) e la trasparenza delle informazioni (analisi dei dati, fornitura delle informazioni) per un processo decisionale decentralizzato.

Come la Germania, molti altri paesi industriali dovrebbero unirsi a seguire questa prospettiva per rilanciare le loro economie utilizzando tecniche avanzate nelle operazioni produttive, le quali potrebbero essere pianificate, eseguite e controllate facilmente rispetto a prima attraverso la **tracciabilità**, che consiste nella capacità di tenere traccia della storia di tutte le risorse nel processo produttivo.

Inoltre il modello Industry 4.0, come già ampiamente detto, prevede di ottimizzare la produttività soddisfacendo le crescenti richieste dei clienti attraverso tempi di risposta più rapidi, tramite un controllo decentralizzato della produzione. Queste aspettative possono essere esaudite dai sistemi MES per migliorare prestazioni, qualità e agilità delle imprese manifatturiere globalizzate.<sup>29</sup>

#### 2.1.1 Cos'è un MES e quali sono le sue promesse

I sistemi avanzati di automazione industriale includono sia sistemi di controllo dell'impianto, che software aziendali e servizi digitali. In particolare, i sistemi informativi aziendali (EIS) sono costituiti da computer, software, persone, processi e dati. Il sistema informativo aziendale, che svolge un ruolo importante nelle imprese supportando i processi aziendali, flussi di informazione e analisi dei dati, può essere classificato in 6 tipologie: Enterprise resource planning (ERP), Supply chain management (SCM), Manufacturing execution system (MES), Customer relationship management (CRM), Product Lifecycle management (PLM), Business Intelligence (BI).<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Mantravadi e Møller, «An Overview of Next-Generation Manufacturing Execution Systems».

<sup>30</sup> Mantravadi e Møller.

Negli anni '60 le organizzazioni manifatturiere iniziarono ad applicare le soluzioni software per automatizzare la loro area finanziaria, poiché il principale fattore competitivo era il costo. Alla fine degli anni '70 l'industria manifatturiera si stava focalizzando sul marketing e ciò ha portato all'adozione di strategie di mercato concentrate su una miglior programmazione della produzione. Il sistema Material Requirement Planning (MRP) che prevede in input le previsioni, il piano principale di produzione (MPS) e l'approvvigionamento, è stato introdotto per garantire il soddisfacimento della domanda, rilasciando una serie di ordini di produzione/fornitura per ogni articolo della distinta base che consente di sincronizzare le diverse attività. A causa della pressione competitiva del mercato globale, la strategia di produzione negli anni '80 si è spostata verso un controllo dettagliato dei processi, una produzione di livello mondiale e una riduzione dei costi generali. In questo contesto, l'MRP si è evoluto ed è diventato MRP II e ha fornito tre caratteristiche principali: pianificazione e controllo dei materiali e definizione dell'ordine di produzione. Nel 1973 fu proposto per la prima volta il concetto di computer per l'integrazione della produzione. Alla fine degli anni '80 IBM, una delle più grandi aziende statunitensi nel settore informatico, ha introdotto un nuovo framework di produzione integrato al computer per lo scambio di informazioni in tutta l'azienda. È stato tracciato così il percorso di migrazione dai primi MRP ai MRP II e successivamente agli Enterprise Resource Planning (ERP), che sono sistemi volti ad integrare le funzioni organizzative per un miglior supporto e pianificazione ai clienti. Gli ERP si sono distinti nel fornire migliori funzionalità di previsione e pianificazione, gestione dell'inventario e contabilità, ma non erano in grado di gestire le operazioni in officina, poiché queste applicazioni non avevano la granularità e la velocità richieste per queste attività. Infatti, i dati nelle applicazioni ERP sono registrati e riportati su base settimanale, mensile o giornaliera, mentre la gestione dell'impianto richiede la registrazione, segnalazione e reazione di ogni singola transazione in tempo reale.

Questa incapacità dei sistemi MRP/ERP ha accelerato lo sviluppo di applicazioni software per la raccolta dati istantanea e sono evolute nei sistemi MES che abbiamo oggi.

31

---

<sup>31</sup> Chen e Voigt, «Implementation of the Manufacturing Execution System in the Food and Beverage Industry».



MES è stato sviluppato quindi con lo scopo di integrare più sistemi e di conseguenza i fornitori sono stati in grado di impacchettare varie funzioni di esecuzione della produzione sotto forma di software.<sup>32</sup>

Il MESA international (un'organizzazione no-profit in ambito MES) definisce il MES come “il sistema che acquisisce e distribuisce informazioni che consentono l'ottimizzazione delle attività produttive dal lancio dell'ordine al prodotto finito. Utilizzando i 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 all'attenzione nella riduzione delle attività senza valore aggiunto, guidano le operazioni e i processi dello stabilimento al massimo dell'efficienza.”

In altre parole, MES rappresenta un sistema informatico costituito da un insieme di applicazioni software che implementano metodi e strumenti utilizzati nella produzione aziendale. Tale strumento, che essenzialmente è un sistema di supporto decisionale per i manager, promette una miglior pianificazione e accuratezza delle stime, una miglior gestione del personale e del talento, minori costi di produzione, migliore gestione delle conformità come richiesto nelle industrie aerospaziali, alimentari e farmaceutiche, migliore gestione dei fornitori, tempi di commercializzazione più brevi, allineamento degli obiettivi di produzione locale con gli obiettivi aziendali globali e riduzione dell'inserimento manuale dei dati.

Per realizzare queste promesse, un MES copre la raccolta e l'analisi di tre aspetti della produzione:

- **il passato:** ciò consiste in un'archiviazione e analisi dei dati storici delle esecuzioni dei processi passati
- **il presente:** controllo in tempo reale del processo sia ad anello aperto che ad anello chiuso
- **il futuro:** prognostica e esecuzioni future del processo, nonché preallarme di deviazioni processuali o di qualità.<sup>33</sup>

---

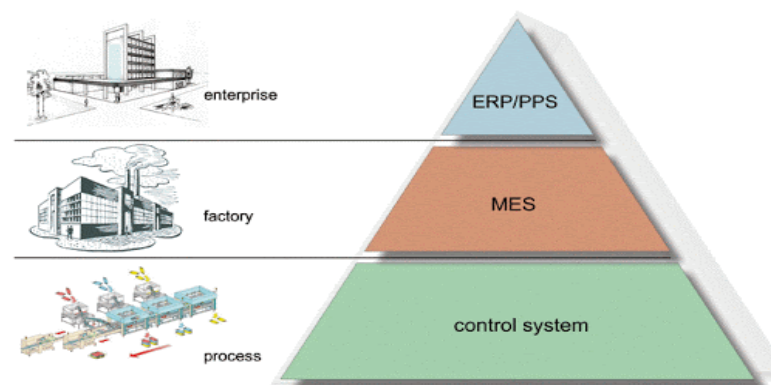
<sup>32</sup> Mantravadi e Møller, «An Overview of Next-Generation Manufacturing Execution Systems».

<sup>33</sup> Naedele et al., «Manufacturing Execution Systems».

I sistemi MES rispondono ad esigenze precise, quali il **tracking** e il **tracing**, in cui il tracking (tracciabilità), indica il processo che consente di stabilire quali informazioni debbano essere registrate e messe in evidenza ovvero, l'attività di tracciare mediante apposita etichettatura. Il tracing (rintracciabilità) indica la capacità di trovare queste stesse informazioni lungo la catena.

### 2.1.2 La struttura di un MES

Un MES si serve del paradigma client/server e basi di dati relazionali, prevede ulteriori interfacce per la connessione ad altri sistemi di gestione e supervisione e viene eseguito da uno o più calcolatori connessi in rete. Il sistema informatico svolge tre funzioni principali: raccoglie i dati in tempo reale, organizza e archivia i dati in un database centralizzato e rende i dati accessibili in tutta la rete, integrando i dati disomogenei provenienti da altri sistemi informativi. Il ruolo chiave di un MES è quello di colmare il vuoto tra il sistema di pianificazione (ERP) e il sistema di controllo (sensori, PLC), coniugando l'ottimizzazione dei processi produttivi e logistici con il controllo della disponibilità delle risorse e della qualità dei prodotti. Infatti l'azienda utilizza il processo di pianificazione (ERP) per determinare come i prodotti debbono essere fabbricati; una volta che tale piano di produzione è sviluppato il MES lo traduce in un linguaggio comprensibile per l'impianto.



**Figura 1**

Un sistema MES mette in relazione tutte le parti: riceve gli input dall'ERP, imposta il piano di produzione indicando i materiali da utilizzare e i tempi di lavorazione/fasi, gestisce le indicazioni per i PLC, raccoglie i dati in tempo reale e lo fornisce in output

all'ERP per memorizzare i dati e restituire una serie di informazioni e statistiche, utili a comprendere l'intero processo produttivo e a come ottimizzarlo.

Fra tutti i tentativi di definire gli aspetti strutturali e architettonici dei sistemi di gestione della produzione, lo standard ISA 95/ IEC 62264 ha raggiunto la popolarità tra i professionisti della produzione per l'integrazione ERP-officina. Lo standard definisce l'interfaccia tra i sistemi di business d'impresa e i sistemi di controllo della produzione per incrementare l'integrazione e la comunicazione tra le parti, indicando le informazioni che devono essere scambiate.<sup>34</sup>

### ***LO STANDARD ANSI/ISA 95***

Lo standard ANSI/ISA 95 costituisce la base su cui si sono sviluppati i sistemi MES. Esso fu redatto con lo scopo di migliorare l'integrazione tra i sistemi di business e i sistemi di gestione delle operazioni manifatturiere.

Lo standard nasce dalla cooperazione di due organizzazioni internazionali: l'American Nation Standard Institute (ANSI) e l'International Society of Automation (ISA).

### ***ANSI American Nation Standard Institute***



ANSI è una delle principali organizzazioni americane che si occupa della creazione, promulgazione e uso di standard. Si tratta di un'organizzazione privata no-profit fondata il 19 Ottobre 1918 e la sua mission è quella di accrescere sia la competitività del business americano sia la qualità della vita promuovendo l'adesione e la conformità a standard comuni.

ANSI è affiliata con altre importanti organizzazioni che si occupano di standard quali:

-ISO: International Organization for Standardization

---

<sup>34</sup> Mantravadi e Møller, «An Overview of Next-Generation Manufacturing Execution Systems».

-IEC: International Electrotechnical Commission

***ISA International Society of Automation***



ISA è un'organizzazione internazionale no-profit che si occupa di redigere standard sull'automazione. Fu fondata nel 1945 in Pennsylvania negli USA, e oggi conta ben 28.000 soci provenienti da più di 100 paesi diversi. L'obiettivo dell'organizzazione è, oltre quello di redigere standard sull'automazione per l'industria, fare studi di ricerca e sviluppo per nuove tecnologie, fornire formazione professionale, e tenere conferenze sui temi emergenti dell'automazione.

***MESA***

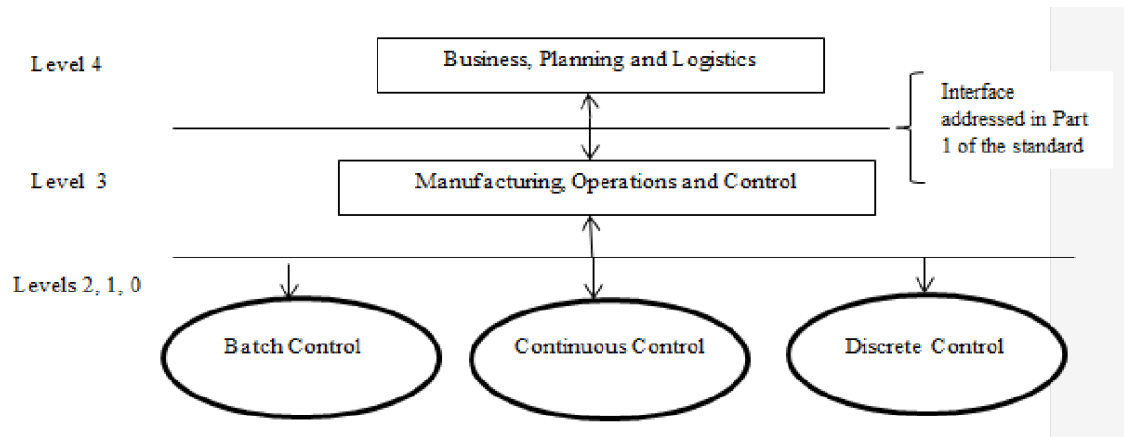


Un'ulteriore organizzazione in ambito MES, di cui è già stata citata la definizione, è costituita dal MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association). Questa organizzazione no-profit fu fondata nel 1992 dai principali produttori dei software MES e rappresenta una piattaforma per lo scambio di informazioni, esperienze e capacità tra produttori MES, integratori del sistema e personale d'azienda, con lo scopo di espandere e migliorare l'integrazione degli stessi nell'industria manifatturiera.

Lo sviluppo di ANSI/ISA 95, più comunemente chiamato ISA 95, è iniziato nel 1995 ma l'interesse per lo standard è in continuo aumento e il suo contenuto è ancora rilevante e valido. Lo standard è intitolato "Enterprise-Control System Integration" e tratta, come già detto, come i sistemi business dovrebbero essere integrati con i sistemi di controllo.

È attualmente composto da 3 parti e altre 2 in fase di sviluppo, il cui utilizzo si estende dalla comunità dei fornitori fino a quella degli utenti finali.<sup>35</sup>

Secondo ISA 95/ IEC 62264-3 i livelli di gerarchia funzionale sono i seguenti:



*Figura 2*

Il livello 4 comprende:

- la pianificazione aziendale e logistica
- la programmazione della produzione ed attività correlate al business, ad esempio l'ordine dei materiali o l'invio delle fatture.

Queste attività si spalmano su un orizzonte temporale lungo, dell'ordine di mesi o settimane.

Le attività finalizzate alla produzione del bene sono collocate al terzo livello e interessano i giorni, le ore e i minuti. Mentre dal livello 2 al livello 0 si hanno una serie di attività di monitoraggio e controllo dei processi fisici su un orizzonte di tempo breve, che riguarda i minuti, i secondi e millisecondi.

Nella figura 3, la quale mostra il modello di controllo aziendale funzionale, l'ampia linea tratteggiata illustra il confine dell'interfaccia di controllo aziendale. Il lato dell'interfaccia di controllo include la maggior parte delle funzioni relative al controllo stesso e alcune delle attività nelle altre principali funzioni.

<sup>35</sup> «(PDF) ISA 95 - how and where can it be applied».

Le frecce indicano degli importanti flussi informativi al controllo della produzione, mentre le funzioni incluse nel lato “aziendale” dell’interfaccia, ovvero le funzioni coinvolte in un sistema logistico e di pianificazione aziendale, sono mostrate all’esterno del largo cerchio tratteggiato. Lo standard fornisce una descrizione di ciascuna funzione, insieme ad un elenco di sotto-funzioni.<sup>36</sup>

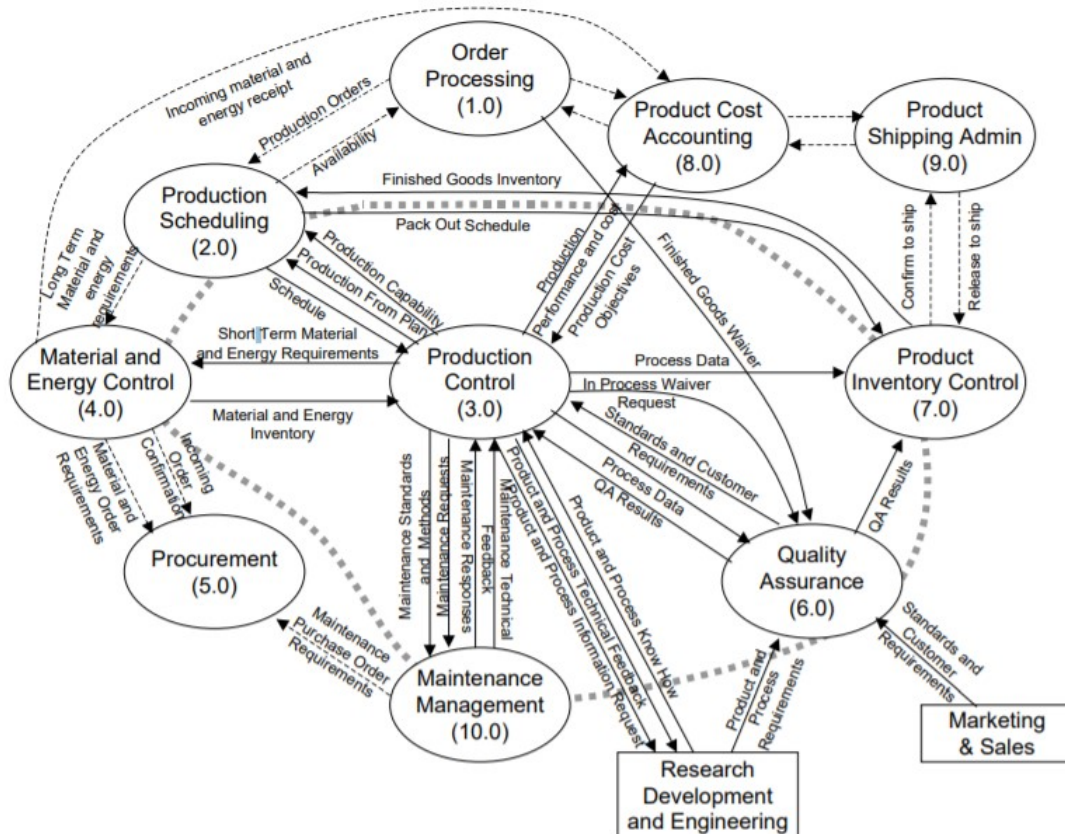


Figura 3

Le tre parti dello standard ISA 95, di cui ognuna possiede il proprio sottotitolo, trattano parti diverse dello standard “Enterprise-Control System Integration”. In particolare:

Parte 1: modelli e terminologia

Parte 2: attributi del modello a oggetti

Parte 3: modelli di attività di gestione delle operazioni di produzione

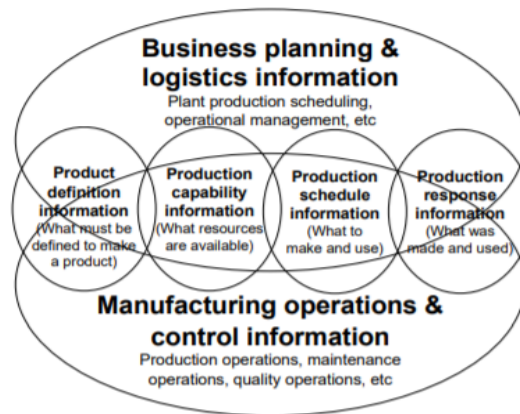
<sup>36</sup> «(PDF) ISA 95 - how and where can it be applied».

## ***ISA 95 PARTE 1***

L'ISA 95 parte 1 definisce le categorie di informazioni che dovrebbero essere scambiate tra il sistema azienda e il sistema delle operazioni di produzione. Sono definite quattro categorie:

- Definizione del prodotto
- Capacità di produzione
- Programma di produzione
- Prestazione di produzione

Le quattro categorie di informazioni sono mostrate nella figura 4:



*Figura 4*

Ciascuna di queste quattro categorie si basa su quattro risorse, definite in ISA 95 Parte 1.

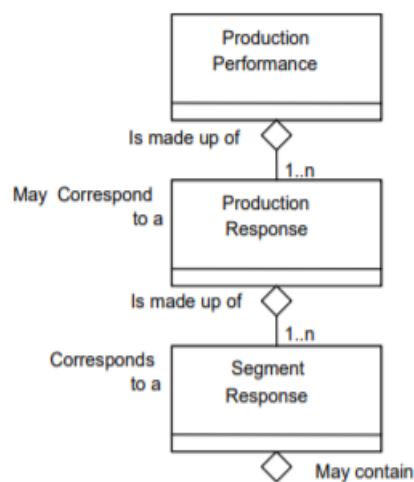
- Personale
- Attrezzatura
- Materiale
- Segmento di processo

Il contenuto di ciascuna delle quattro categorie e delle quattro risorse è specificato tramite modelli a oggetti, i quali sono definiti in ISA 95 Parte 1 e vengono presentati usando la notazione UML (Unified Modeling Language).<sup>37</sup>

## **ISA 95 PARTE 2**

ISA 95 Parte 2 definisce ulteriormente gli attributi per ciascuno degli oggetti contenuti nei modelli a oggetti. Grazie alla notazione UML, i modelli a oggetti sono indipendenti dal software e contengono un file descrizione che costituisce il contenuto dell'interfaccia, ovvero i dati da scambiare tra il sistema aziendale e il sistema delle operazioni di produzione.

Es: una parte del modello a oggetti "Prestazione di produzione"



**Figura 5**

La figura 5 contiene tre oggetti quali prestazione di produzione, risposta di produzione e risposta del segmento, e le informazioni su come essi sono relazionati. Come indicato nell'immagine, una performance di produzione dovrebbe essere data in termini di una o molte risposte di produzione e a sua volta, una risposta di produzione è data in termini di uno o più risposte di segmento. Ogni oggetto del modello a oggetti ha un insieme di attributi associati: questi sono presentati in ISA 95 Parte 2.<sup>38</sup>

<sup>37</sup> «(PDF) ISA 95 - how and where can it be applied».

<sup>38</sup> «(PDF) ISA 95 - how and where can it be applied».



### ISA 95 PARTE 3

ISA 95 Parte 3 si concentra sulle attività all'interno delle operazioni di produzione. Questa parte specifica un modello di attività generico che si applica a diversi tipi di operazioni quali produzione, manutenzione, inventario e qualità.

Ogni attività, i cui compiti sono descritti nello standard, è rappresentata da un ovale, mentre le quattro frecce in alto identificano i dati da scambiare con il sistema business.

Inoltre nella norma è specificato che il modello di attività generico e i modelli specifici non sono né destinati a rappresentare una reale implementazione di un sistema informativo di produzione, né a mostrare come dovrebbe essere strutturata un'organizzazione.

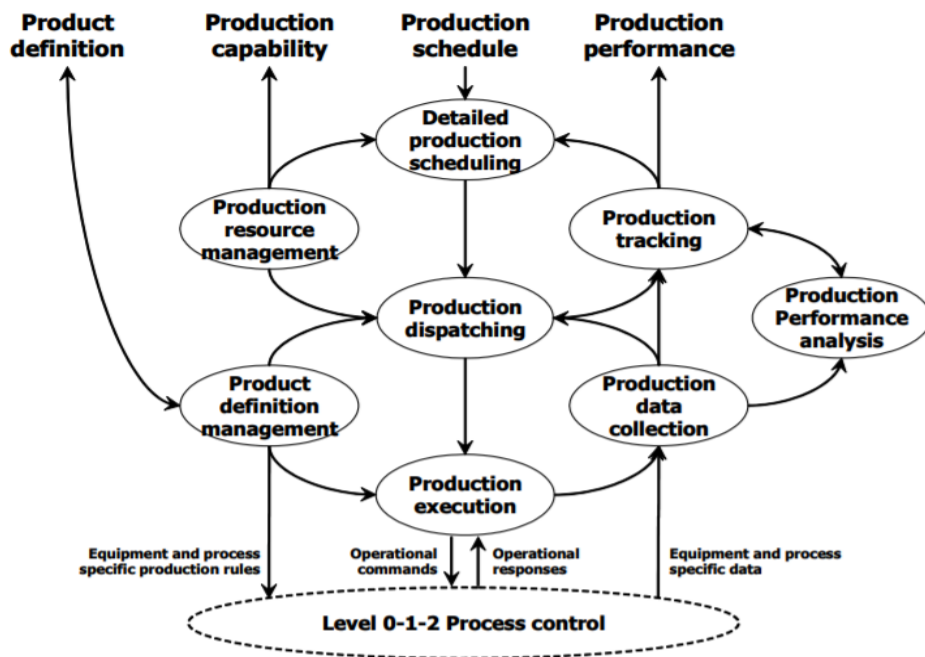


Figura 6

Il vantaggio più evidente dell'uso di uno standard è ovviamente la definizione di una terminologia comune, che rende possibile la comunicazione tra i dipendenti che lavorano a livello aziendale e i responsabili della produzione e del controllo, riducendo le incomprensioni, i ritardi e gli errori. Lo standard è stato sviluppato da un folto gruppo di

persone con background diversi e ciò che è stato concordato costituisce probabilmente la miglior soluzione per quanto riguarda i modelli e la terminologia da usare con successo.

Gli standard ANSI/ISA sono validi solo in America, tuttavia lo standard ISA 95 è ora sotto la valutazione da parte dell'IEC e dall'ISO per diventare internazionale. Lo standard corrispondente è denominato IEC 62264.<sup>39</sup>

Secondo MESA international, gli utenti di MES nelle aziende hanno riferito di trarne vantaggio, tuttavia non sono stati trovati studi accademici significativi relativi a casi aziendali che hanno segnalato il cambiamento nelle metriche delle prestazioni di un'organizzazione grazie all'implementazione di un sistema MES. Sono ancora in corso infatti degli studi di consulenza sui miglioramenti relativi al rendimento del processo e circa l'efficacia complessiva delle apparecchiature (OEE), ma sono tutti sulla base di studi qualitativi sul campo o dati provenienti da sondaggi.<sup>40</sup>

Riassumendo gli obiettivi dei MES sono:

- fornire un modello di produzione reale, controllando le disponibilità delle risorse e monitorando le attività dell'impianto con la precisione dell'ordine di minuti ed ore
- ottimizzare le attività manifatturiere, attraverso un'analisi dei dati per individuare i miglioramenti attuabili o le eventuali cause che limitano le prestazioni
- aumentare l'integrazione con il livello di business, definendo dei flussi informativi scambiati con lo stesso.

Le sfide pratiche di MES, identificate attraverso dei casi di studio, sono relative alla sicurezza informatica, ai costi aggiuntivi relativi all'acquisto del software, ai guadagni diretti e tangibili, ai problemi di integrazione verticale e ai costi elevati di implementazione di dispositivi di produzione intelligente.

Le opportunità che lo stesso offre però, indicano che può essere effettivamente utilizzato come gemello digitale di un processo produttivo. Per realizzare MES come gemello digitale, la produzione deve acquisire le migliori competenze IT, estendendo le proprie informazioni ai sistemi in modo da favorire l'integrazione con gli altri partner della catena

---

<sup>39</sup> «(PDF) ISA 95 - how and where can it be applied».

<sup>40</sup> Mantravadi e Møller, «An Overview of Next-Generation Manufacturing Execution Systems».

di approvvigionamento. Poiché i sistemi ERP non sono attrezzati per fornire informazioni centrate sul prodotto tali da consentire la tracciabilità a livello unitario, un'approfondita comprensione dei software di produzione delle fabbriche intelligenti (livello 3 di ISA 95) è un passaggio essenziale.<sup>41</sup>

## **2.2 Le funzionalità di un MES nell'ingegneria del software**

Sulla base dei dati raccolti dai vari processi, un MES supporta le seguenti 10 aree funzionali:

### ***1) GESTIONE DEL LAVORO***

La gestione del lavoro dirige e tiene traccia delle disponibilità e dell'utilizzo del personale di produzione in base alle competenze e alle qualifiche, nonché ai vincoli come le assenze. Inoltre la gestione del personale costituisce una preoccupazione importante anche nello sviluppo del software, poiché essendo il software distribuito a livello globale, la mancanza di interazione faccia a faccia richiede una gestione più disciplinata.

### ***2) ALLOCAZIONE E STATO DELLE RISORSE***

L'allocazione delle risorse in MES riguarda il monitoraggio della specifica mappatura di persone, strumenti e materiali per le attività. Nello sviluppare il software, le risorse principali che devono essere allocate sono le persone. Per ciò che concerne i nuovi sviluppi, 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. Potranno essere gestite ulteriori risorse quali licenze per strumenti speciali, accesso a schede di prototipazione e strumenti di debug hardware.

### ***3) DISPACCIAMENTO DELLE UNITA' DI PRODUZIONE***

La fase di invio si occupa di decidere quali attività vanno lavorate successivamente, note priorità, scadenze e risorse. Analogamente all'allocazione delle risorse, la spedizione delle attività di sviluppo software viene in genere svolta dai responsabili del team in modi informali sulla base di requisiti e programmi acquisiti nei piani di gestione del progetto.

---

<sup>41</sup> Mantravadi e Møller.

#### ***4) MONITORAGGIO E GENEALOGIA DEL PRODOTTO***

Un'organizzazione produttrice di software potrebbe non essere interessata al luogo in cui i suoi prodotti vengono venduti, installati e utilizzati, e quindi potrebbe non aver bisogno del monitoraggio del prodotto. Tuttavia, in un numero crescente di domini applicativi, il business del software non è un evento di vendita una tantum, poiché la vendita iniziale è solo il punto di partenza per una serie continua di aggiornamenti avviati dal fornitore. A tal fine, il fornitore del software deve sapere quale cliente ha quale versione, in modo che le comunicazioni con i clienti e le distribuzioni degli aggiornamenti possano essere pianificate ed eseguite in modo efficiente.

Un altro aspetto riguarda la necessità di sapere esattamente quale versione e quale configurazione è installata in quale sito. Essa si presenta quando il produttore si assume la responsabilità di supportare i propri clienti nella rimozione delle vulnerabilità o difetti relativi alla sicurezza o mancanze scoperte dopo il rilascio. Oggi c'è una crescente aspettativa che i fornitori di software accettino tale responsabilità che ad un certo punto questo potrebbe diventare persino legalmente obbligatorio in alcuni settori.

Il monitoraggio della provenienza dei contributi del prodotto software è importante per i seguenti tre motivi: il primo deriva dalla legge sulla proprietà intellettuale e sul copyright, poiché è necessario garantire e documentare che nell'applicazione sviluppata non sia utilizzato alcun indirizzo IP senza licenza. Il secondo motivo proviene da altri requisiti legali che richiedono di dimostrare che gli sviluppatori coinvolti nella creazione di determinati artefatti abbiano alcune qualifiche (ad esempio licenza di ingegnere professionista, certificazione di ingegnere della sicurezza, ...) o soddisfino altri vincoli personali come la cittadinanza o l'autorizzazione di sicurezza. Le normative sul controllo delle esportazioni di alcuni paesi richiedono che un fornitore sia in grado di documentare le regioni geografiche dalle quali provengano certi sottosistemi, ad esempio mediante crittografia. Nel caso più generale ci sono 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.

Inoltre, il fatto che un cliente potrebbe voler conoscere l'origine di tutti i pezzi di un'applicazione o di un sistema integrato per valutare il rischio di infiltrazione dei malware, fornisce la terza motivazione per il monitoraggio della provenienza.

## ***5) GESTIONE DELLA QUALITÀ***

In un MES la gestione della qualità implica la registrazione e il monitoraggio dei parametri di qualità misurati, sia dei prodotti che dei processi di lavoro. Questi parametri vengono confrontati con gli obiettivi e innescano reazioni qualora la qualità risultasse inferiore all'obiettivo.

In un progetto software, una qualsiasi delle metriche da sola non è sufficiente a fornire una base per il processo decisionale di gestione o per individuare processi problematici. Data l'ampia accettazione del monitoraggio dei problemi e dei sistemi di controllo della versione, diventa possibile ricondurre ogni difetto a tempi, versioni e sviluppatori concreti. Sebbene un gran numero di documenti di ricerca abbia proposto di sfruttare tali dati per varie analisi, come la previsione dei difetti, ad oggi non è disponibile un meccanismo di raccolta e di sintesi integrato e sistematico.

## ***6) ANALISI DI PERFORMANCE***

L'analisi delle prestazioni include la misurazione dei parametri di esecuzione dell'attività, il calcolo degli indicatori chiave di prestazione (KPI), il confronto con gli obiettivi fissati dall'organizzazione o da organismi di regolamentazione esterni, nonché la presentazione e la visualizzazione di questi KPI per le varie parti interessate, ad esempio risorse umane, gestione del prodotto, vendita, fornitura, manutenzione e logistica.

È necessario prestare attenzione nel gestire il compromesso tra l'analisi dettagliata dei dati su qualità e prestazioni e la valutazione delle prestazioni rilevanti per gli incentivi per i singoli dipendenti, in quanto potrebbe 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 solo le informazioni adeguatamente aggregate siano disponibili per ogni stakeholder.

## ***7) GESTIONE DEL PROCESSO (AVANZAMENTO DELLO SVILUPPO)***

La gestione del processo nei MES prevede il monitoraggio del flusso di lavoro attraverso l'impianto, la creazione di allarmi nel caso di deviazioni e il supporto decisionale per correggerle o reagire ad altri eventi. Sono disponibili inoltre degli strumenti per rilevare e fornire informazioni sulle divergenze del processo nello sviluppo del software, ad esempio, sotto forma di sistemi di compilazione che inviano avvisi in caso di build non

funzionanti e strumenti di analisi dell'impatto per supportare il team di sviluppo nella ricerca dell'approccio meno rischioso per apportare i cambiamenti necessari.

#### **8) OPERAZIONI/PIANIFICAZIONE DETTAGLIATA**

La pianificazione implica una sequenza ottimale di attività considerando le capacità di risorse finite e altri vincoli. Il supporto per la pianificazione nello sviluppo del software esiste sotto forma di strumenti di prioritizzazione dei requisiti online e offline, strumenti di pianificazione della gestione dei progetti tradizionali e strumenti di gestione dei backlog.

#### **9) CONTROLLO DEI DOCUMENTI**

Il controllo dei documenti implica la distribuzione di informazioni rilevanti alle persone che lavorano sulle attività e la raccolta di nuovi documenti risultanti dalla produzione. Poiché l'ingegneria dei processi di produzione industriale richiede molto impegno per fornire istruzioni chiare e concise sulle attività da svolgere, l'obiettivo è ridurre al minimo il tempo che il lavoratore ha per cercare informazioni o strumenti. Una buona parte delle funzionalità di controllo dei documenti nel software MES potrebbe quindi essere costituito da interfacce per i sistemi di gestione dell'esperienza, come sistema di raccomandazione per fornire esperienze utili just in time in base al contesto del progetto, oltre ai feedback sull'utilizzo e informazioni sui vantaggi nel repository delle esperienze.

Nello sviluppo del software, esiste in genere un sistema di gestione dei documenti per l'archiviazione a lungo termine e per la gestione delle versioni dei documenti. In aggiunta, gli sviluppatori di software hanno scarso supporto da parte dei sistemi che forniscono documentazione selezionata per l'attività da svolgere. Le informazioni come i requisiti correlati, le descrizioni dei progetti e il monitoraggio dei problemi vengono solitamente conservate in sistemi separati e devono essere integrate manualmente dallo sviluppatore.

#### **10) GESTIONE DELLA MANUTENZIONE**

La gestione della manutenzione implica la raccolta di statistiche sulle prestazioni e tempo di funzionamento, la pianificazione del lavoro di miglioramento e degli investimenti. Dal momento che ci sono pochi strumenti fisici soggetti ad usura coinvolti nello sviluppo del software, la manutenzione della macchina è di scarsa importanza. Tuttavia è chiaro che il software cambia molto più frequentemente rispetto alla manutenzione di hardware e

software insieme, e comporta un consumo fino all'80% dell'impegno complessivo del progetto.

Inoltre, si potrebbe immaginare che rallentamenti e tempi di inattività dell'infrastruttura IT per aggiornamenti software o hardware o scansioni antivirus possano essere integrati con gli strumenti di pianificazione per evitare inutili tempi di attesa. Infatti ulteriori aspetti di manutenzione relativi all'utilizzo degli strumenti e alla soddisfazione dell'utente potrebbe innescare la sostituzione dello strumento stesso. Di conseguenza, i dati delle serie temporali circa l'uso degli strumenti possono essere utilizzati per identificare dove viene speso il tempo nel progetto e quindi trovare quali elementi del processo sono inefficienti e causano colli di bottiglia.

La mappatura delle aree funzionali MES è, non sorprendentemente, imperfetta: vi sono infatti dei divari tra l'ingegneria del software all'avanguardia e i MES, ma le sfide attuali consistono nel superare tali lacune. In primo luogo manca un'integrazione dei dati sulle persone, che inibisce la pianificazione delle risorse dei membri del team; manca un'infrastruttura di raccolta dati efficace e unificata e dei quadri concettuali comuni che guidino cicli di miglioramento dei dati di sviluppo. Infine non ci sono strumenti che consentano la proiezione e la simulazione future necessarie per una pianificazione efficace.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> Naedele et al., «Manufacturing Execution Systems».

## CAPITOLO 3: L'IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI MES NELL'INDUSTRIA DEL FOOD & BEVERAGE

### 3.1 Requisiti e aspettative dell'industria alimentare e delle bevande

Lo scopo di questo capitolo consta nel presentare quali sono i requisiti del processo produttivo alimentare e analizzare i potenziali benefici e le barriere che l'implementazione dei sistemi MES in questo settore comporta. Infatti, nell'industria alimentare l'attuazione dei MES non è ancora ampiamente diffusa a causa delle normative severe, di una crescente competitività, della mutevolezza della domanda e in quanto soffre di margini di profitto bassi.

L'industria del Food&Beverage, i cui prodotti finali sono consumati in modo diretto da esseri umani, dovrebbe essere sottoposta a delle normative più rigorose e meticolose rispetto ad altri ambiti, poiché la qualità e la sicurezza devono essere garantite nella catena di fornitura del prodotto. Inoltre i prodotti dovrebbero essere tracciabili per fornire informazioni quali attributi alimentari, paese di origine e ingegneria genetica. Il fatto che ci sia la necessità di migliorare l'efficienza produttiva e ridurre il consumo di energia, ha contribuito a spingere verso un aggiornamento dei sistemi software di gestione della produzione.<sup>43</sup>

#### 3.1.1 Caratteristiche del processo di produzione di alimenti e bevande

Il processo di produzione nell'industria alimentare e delle bevande può essere classificato in tre tipologie: produzione per lotto, processo continuo e processo discreto.

Questa classificazione consente la gestione delle tre fasi principali di un processo, ossia lavorazione, miscelazione e confezionamento.

- **Produzione per lotto:** consiste nella produzione di quantità finite da materiale in input, es. il processo di cottura dell'impasto fino al pane finale.

---

<sup>43</sup> Chen e Voigt, «Implementation of the Manufacturing Execution System in the Food and Beverage Industry».



- **Processo continuo:** un flusso continuo di materiale attraversa l'attrezzatura di lavorazione, es. trasformazione di latte crudo in latte scremato e panna.
- **Processo discreto:** una quantità specificata di parti si muove come un'unità tra le stazioni di lavoro, es. riempimento di bevande sulla linea di riempimento.

Le caratteristiche dei processi dell'industria alimentare e delle bevande sono le seguenti:

- ✓ i processi di produzione di solito constano di processi divergenti combinati con processi convergenti, poiché la divisione e la miscelazione dei lotti sono attività comuni
- ✓ le rese produttive sono incerte, in quanto le materie prime e i semilavorati hanno spesso caratteristiche mutevoli nel tempo; le ricette sono variabili e ad esempio, materiali diversi possono portare a prodotti simili
- ✓ il riciclaggio di prodotti o semilavorati è comune nella lavorazione degli alimenti
- ✓ i programmi prerequisiti che comprendono principi, procedure e mezzi per una produzione alimentare sicura sono considerati pratiche e condizioni fondamentali da attuare, poiché la sicurezza e la qualità dei prodotti finali sono influenzate da: servizi igienico-sanitari ambientali, trasporto misto, condizioni di conservazione, igiene personale, qualità dei prodotti semilavorati e degli additivi
- ✓ i prodotti finali possono essere deperibili e hanno una durata di conservazione limitata
- ✓ l'uso dei dati su prodotti e processi è necessario per la pianificazione della produzione, la gestione degli ordini per acquisti e vendite, la gestione del magazzino e del trasporto, l'esecuzione dettagliata della produzione.<sup>44</sup>

### 3.1.2 I requisiti

Il campo degli alimenti e delle bevande, in quanto maggior settore manifatturiero dell'Unione Europea, rappresenta il 15,2% del fatturato manifatturiero totale, il 15% dell'occupazione manifatturiera dell'UE e il 13,8% della spesa per consumi delle famiglie in Europa. I processi di produzione costituiscono un'integrazione delle varie componenti della filiera alimentare, in quanto comprendono tutti gli attori e le attività dalla produzione

---

<sup>44</sup> Chen e Voigt.

primaria, trasformazione alimentare e distribuzione, vendita al dettaglio fino al consumo da parte degli utenti finali.

L'European Food Information Council (EUFIC) ha riassunto quali sono i fattori che influenzano la preferenza dei consumatori per cibo e bevande: determinanti biologici, quali fame, appetito e gusto; determinanti economici come costo, reddito e disponibilità; determinanti fisici di accesso, istruzione, abilità e tempo; determinanti sociali come la cultura, la famiglia, i coetanei e le abitudini alimentari; determinanti psicologici che possono includere umore, stress, ecc..; atteggiamenti, credenze e conoscenze sul cibo. Alcuni autori hanno sottolineato che tra i diversi fattori, il prezzo rimane quello determinante per la scelta.

Questa industria sperimenta richieste logistiche in aumento da parte dei clienti, crescente varietà dei prodotti e un'intensa concorrenza sul mercato globale. A causa della natura dinamica e competitiva del settore, i prodotti convenzionali possono perdere la loro redditività commerciale e per di più nuovi prodotti vengono introdotti in modo imprevedibile sul mercato. Inoltre spesso risulta difficile per i produttori decidere quali prodotti realizzare su ordinazione e quali prodotti stoccare. Di conseguenza, per soddisfare i desideri del cliente e rimanere flessibili contro i cambiamenti del mercato, mantenendo il costo di produzione a un livello ragionevole senza perdere la sua efficienza, i processi di produzione dovrebbero essere regolati attraverso un'efficace strategia di pianificazione.<sup>45</sup>

### **SICUREZZA E TRACCIABILITA'**

Con l'emergere di incidenti e scandali alimentari, come la produzione contaminata da diossina, alimenti contenenti ftalati, aggiunta di anidride ai prodotti a base di amido, i consumatori sono diventati sempre più critici e desiderano essere informati sulle origini e sui processi di approvvigionamento alimentare, livelli di sicurezza, metodi di produzione, igiene, uso di mangimi geneticamente modificati, applicazioni di pesticidi ecc..... Per rispettare le normative sempre più severe, i produttori devono applicare dei principi per migliorare e garantire la sicurezza del processo produttivo, come le buone pratiche di igiene (GHP), le buone pratiche di fabbricazione (GMP) e l'analisi dei rischi

---

<sup>45</sup> Chen e Voigt.

e controllo critico dei punti (HACCP). La serie di requisiti in GHP è stata definita per prevenire la contaminazione degli alimenti negli aspetti di produzione primaria, progettazione dello stabilimento, manutenzione e igiene, trasporto, tale da rendere i consumatori consapevoli oltre ad istituire programmi di formazione per i dipendenti. Il GMP garantisce che gli ingredienti, i prodotti e i materiali di imballaggio siano gestiti in modo sicuro e che i prodotti alimentari siano fabbricati in un ambiente adatto. Una volta che GHP e GMP sono in atto, il sistema HACCP può essere implementato per controllare i pericoli che possono influire sulla sicurezza alimentare.

Il Food Safety Modernization Act (FSMA), entrato in vigore nel 2011, ha cambiato l'attuale focus sulla sicurezza alimentare da un approccio reattivo a uno preventivo; ciò ha spinto i settori a concentrarsi sui controlli preventivi piuttosto che reagire semplicemente agli eventi di sicurezza alimentare. Alcuni autori nel 2017 hanno proposto un sistema di e-pedigree basato su rete di sensori wireless e identificazione a radiofrequenza (RFID, già citata tra le tecnologie abilitanti) per documentare la posizione del prodotto, la temperatura e l'umidità durante lo stoccaggio e il trasporto. Basato sulla tecnologia RFID, altri hanno introdotto un indicatore di temperatura critico per monitorarne il profilo tale da assicurare certezza nella catena di approvvigionamento. La refrigerazione infatti, ha un ruolo importante nella riduzione del tasso di crescita degli organismi patogeni e nel rallentamento del processo di deterioramento. Già nel 2015 era stato sviluppato un software FRISBEE, che consentiva l'ottimizzazione della qualità del cibo refrigerato, l'uso di energia e l'impatto sul riscaldamento globale delle tecnologie di refrigerazione lungo la catena europea del freddo.<sup>46</sup>

### **EFFICIENZA ENERGETICA E PRODUTTIVA**

L'elettricità e l'energia termica costituiscono le principali forme energetiche utilizzate nei processi di produzione di alimenti e bevande. Prendendo come esempio il consumo di energia in un birrificio, il 70% di elettricità viene consumato da refrigerazione, imballaggio e aria compressa, mentre il processo di fermentazione domina l'uso di energia termica al 45% per il riscaldamento del tino di ammostamento e l'idromassaggio durante la produzione di mosto.

---

<sup>46</sup> Chen e Voigt.

L'industria alimentare e delle bevande, poiché sta affrontando un aumento delle normative da parte di organizzazioni nazionali e internazionali, come l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), la Food and Drug Administration (FDA) e la Commissione Europea (CE), subisce un aumento dei costi per il miglioramento dei processi in altre aree.

Weinekotter (2009) ha riferito che i macchinari per la lavorazione e il confezionamento nell'industria alimentare, che consentono cicli di produzione più brevi e cambi più frequenti, rimangono sottoutilizzati. L'efficacia complessiva delle apparecchiature (OEE) è un indicatore chiave di prestazione che viene utilizzato nei sistemi di produzione per il controllo e il monitoraggio delle produttività delle apparecchiature tecniche. L'OEE è la moltiplicazione dei suoi tre componenti: disponibilità, efficienza della prestazione e indice di qualità. Un caso di studio su una linea di produzione di bevande miste alcoliche ha mostrato che l'OEE è risultato essere mediamente del 73% in cui la disponibilità dell'89%, una performance dell'86% e un tasso di qualità del 96%. Di conseguenza, al fine di migliorare l'efficienza degli impianti di produzione dell'industria alimentare e delle bevande, dovrebbero essere implementate moderne strategie di manutenzione. Il concetto di Total Productive Maintenance (TPM) è stato introdotto per aumentare la produttività, migliorare la qualità del prodotto e ridurre i costi di produzione della linea.

Dalla letteratura si evincono delle osservazioni e delle soluzioni:

Maxime e altri (2006) hanno sviluppato gli indicatori di eco-efficienza (EEI) per misurare l'uso di energia, l'emissione di gas a effetto serra, l'uso di acqua, la generazione di residui organici solidi e la generazione di rifiuti di imballaggio in modo che possa essere costruito un quadro per un sistema di produzione sostenibile, aiutando le autorità di regolamentazione e i settori interessati nell'attuazione di iniziative di produzione più pulite per risparmiare sui costi e migliorare la competitività.

Law e altri (2013) hanno sottolineato che 11,4 TWh di calore di scarto recuperabile viene emesso nell'ambiente nell'anno tramite flussi di rifiuti nelle industrie e 2,8 TWh di calore di scarto proviene dall'industria manifatturiera di alimenti e bevande. Il recupero di questo calore può contribuire a ridurre in modo significativo le emissioni e i costi di produzione.

In ultimo, Osterroth e altri (2017) hanno proposto un modello di simulazione associato allo stato della macchina sulla linea di imbottigliamento per prevedere e ridurre ulteriormente l'uso di elettricità delle macchine nei processi di produzione.<sup>47</sup>

### **FLESSIBILITA' E PROGRAMMAZIONE**

Make-to-stock (MTS) e make-to-order (MTO) costituiscono due strategie di produzione. Per abbassare i costi e limitare il numero di allestimenti, la politica MTS ha dominato per molto tempo nelle aziende di trasformazione alimentare, tuttavia la politica di produzione deve tendere gradualmente al MTO. Le ragioni possono essere riassunte da due fattori principali: il comportamento dei consumatori con una crescente domanda di nuovi prodotti, più scelte basate sulla personalizzazione, e la ristrutturazione della catena di approvvigionamento da parte dei dettaglianti per ottenere una riduzione delle scorte, un rifornimento più rapido, una riduzione dei tempi ciclo e dei marchi privati. La strategia MTO, che è la strategia adatta a produrre un'ampia varietà di prodotti specifici per il cliente con caratteristiche di basso volume, piccoli lotti e finestre di consegna a lungo termine, ha spostato quindi il focus della produzione sull'esecuzione degli ordini e sulle prestazioni dipendenti dall'ordine stesso. A causa dell'aumento delle richieste logistiche di prestazioni e ordini speciali da parte dei clienti, la necessità di flessibilità da parte dei settori dell'industria alimentare e delle bevande è in aumento, mentre l'efficienza della produzione e la risposta rapida al cambiamento degli ordini dovrebbe essere assicurato da attività di programmazione razionale. La complessità del processo produttivo però, a causa dei processi misti, continui e discreti, varietà di tipi di prodotto, e configurazioni eterogenee, porta alla difficoltà di stabilire degli algoritmi di programmazione ottimali. Ad esempio alcuni autori hanno sviluppato un modello di programmazione lineare mista intera per risolvere i problemi di programmazione della produzione nel settore di lavorazione del latte multistadio e multiprodotto. Questo modello è stato valutato idoneo a creare un piano di schedulazione ottimale con un'applicazione computazionale di piccola istanza.<sup>48</sup>

---

<sup>47</sup> Chen e Voigt.

<sup>48</sup> Chen e Voigt.

### **3.2 Il supporto del MES nell'industria alimentare e delle bevande**

Il MES è uno strumento che può aiutare i settori dell'industria alimentare e delle bevande a conformarsi alle normative di governo e delle organizzazioni, alla domanda di alto livello da parte dei consumatori e ai requisiti degli stessi produttori per la fabbricazione del prodotto ad alta qualità, basso costo e minimo tempo di consegna. Poiché la conformità alla normativa sulla sicurezza alimentare sta diventando sempre più rigorosa nelle catene del valore globali, lo sviluppo, l'implementazione e il mantenimento del sistema di gestione della sicurezza alimentare (FSMS) è necessario. Un sistema MES, in quanto fattore chiave per l'implementazione di successo del FSMS, funge da centro informazioni che le fornisce dai processi di produzione ai co-sistemi appropriati. Poiché il MES, che consente l'implementazione dei requisiti dei programmi GHP e HACCP, è collegato al processo in officina, può aiutare a colmare il vuoto informativo della tracciabilità in corso dove l'identificazione fisica non è possibile. Infatti, in questo modo è possibile identificare rapidamente i problemi relativi a lavorazioni inappropriate per limitare il richiamo dei lotti interessati, il che richiede il monitoraggio in tempo reale e l'elaborazione dei dati supportata dal MES.

Il MES in aggiunta, potrebbe aiutare a gestire e ridurre il consumo energetico nei processi produttivi in quanto collegato al livello di officina, e a supportare la valutazione di potenziali investimenti per il risparmio energetico. Dato che il MES consente la raccolta automatica dei dati con valutazioni, è possibile sostituire il calcolo dell'OEE, basato su moduli cartacei o programmi di fogli di calcolo, che può essere soggetto ad errori. La valutazione automatizzata aiuta anche il gruppo di aziende a stabilire un benchmark OEE standardizzato per confrontare tra loro l'efficienza della produzione interna.

Il MES è stato inoltre integrato con la tecnologia RFID, tale da programmare l'ordine di produzione in tempo reale, infatti è stato sottolineato che, attraverso l'uso di tecnologie di data mining congiuntamente ai dati RFID, il MES è in grado di eseguire una programmazione più precisa per la produzione in officina.<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> Chen e Voigt.

### 3.2.1 Le barriere

Il MES esegue e controlla gli ordini di produzione dall'ERP: questa struttura top-down è difficile da integrare in diverse forme di produzione, il che favorisce altre strategie di tipo bottom-up, la produzione just-in-time, strategia di tipo pull e la produzione inversa. A causa quindi dell'eterogeneità del software nell'ambiente di produzione, per garantire un flusso di informazioni regolare all'interno dell'azienda, l'adozione di interfacce di comunicazione tra diversi sistemi software è la principale ragione che limita l'implementazione, l'integrazione e la manutenzione dei MES. Le grandi aziende che possono permettersi un progetto di questo tipo non hanno il tempo necessario per completarlo: da un lato, l'integrazione dei MES ai sistemi IT esistenti, come gli ERP, è un'attività in corso che dura a lungo, dall'altra parte tale progetto coinvolge collaboratori di diversi dipartimenti dell'azienda.

E' difficile trovare il tempo per:

- ✓ organizzare riunioni per definire i requisiti del MES desiderato
- ✓ coordinare le attività che dovrebbero essere svolte da ogni reparto
- ✓ confrontare i fornitori
- ✓ interrompere la produzione regolare per testare le funzionalità.

Al contrario, sebbene le PMI abbiano la flessibilità in termini di tempo, non dispongono delle risorse per completare i progetti MES. Poiché il processo di fabbricazione e i relativi impianti di produzione variano da un'impresa all'altra, il MES deve essere adottato con un grande sforzo di programmazione e personalizzazione, il che è costoso ed incline agli errori.

Oltre a ciò, ci sono pochi principi di soluzioni MES progettate in particolare nell'ambito dell'industria alimentare e delle bevande. Delle 285.000 aziende dell'industria alimentare e delle bevande europea, oltre il 99% di esse sono considerate PMI con meno di 250 dipendenti. Tuttavia, le PMI di questo settore si trovano in una posizione scomoda poiché esso è di natura frammentata e l'adattamento alla tecnologia dell'informazione è piuttosto lento, in quanto i concorrenti raramente si informano a vicenda sui progressi per migliorare i loro prodotti. Inoltre, a causa delle dimensioni dell'azienda, del basso margine dei prodotti e della bassa flessibilità finanziaria che ne consegue, le PMI spesso non possono permettersi di investire in competenze nell'area produttiva e/o

nell'efficienza delle risorse, nonché nell'integrazione di energie rinnovabili. Invece di utilizzare un MES centralizzato infatti, i produttori utilizzano ancora soluzioni economiche ma inaffidabili per fornire le funzionalità parziali di un sistema MES.<sup>50</sup>

### **3.2.2 Le soluzioni**

Sulla base degli ostacoli che limitano l'implementazione dei MES sopra presentati, la letteratura ci fornisce tre diverse soluzioni.

#### ***1) Standardizzazione del modello informativo***

Il modello informativo standardizzato garantisce la coerenza dei dati per la comunicazione dei sistemi software integrati all'interno dell'azienda.

Un modello di informazioni standard ampiamente utilizzato in questa industria è denominato "Weihenstephan Standards" (WS). Lo sviluppo di WS è iniziato nel 2005 e finora trova applicazione in quattro aree: WS Food per l'industria di lavorazione della carne, WS Bake per l'industria della panificazione, WS Brew per l'industria della birra, WS Pack per l'area di confezionamento e riempimento nel settore Food & Beverage.

Il WS specifica un'interfaccia di comunicazione universale per collegare diverse macchine e i sistemi di controllo di un MES di livello superiore. In questo modello informativo sono stati definiti anche i principi per il calcolo dei KPI e del consumo energetico, nonché per la tracciabilità dei lotti per definire rapporti di produzione chiari.<sup>51</sup>

#### ***2) Architettura orientata ai servizi***

La tecnologia denominata Service-Oriented Architecture (SOA) è un paradigma di architettura della tecnologia dell'informazione dell'area dei sistemi distribuiti, utilizzato per strutturare e sfruttare i servizi forniti dal sistema IT. La neutralità di implementazione di SOA, che fornisce un'elevata coerenza nell'architettura del sistema di integrazione e risolve il problema dell'utilizzo di standard e strumenti uniformi, garantisce l'indipendenza del linguaggio di programmazione e l'attuazione di ogni servizio, poiché la descrizione dell'interfaccia è più importante. Due ulteriori caratteristiche di SOA sono la riusabilità, cioè il fatto che i servizi possano essere individualmente utili o integrati e/o

---

<sup>50</sup> Chen e Voigt.

<sup>51</sup> Chen e Voigt.



composti per fornire servizi di livello superiore, e la configurabilità flessibile per il cambio dinamico del sistema. L'unico svantaggio è che questa soluzione richiederebbe la riscrittura completa di tutte le attuali applicazioni nell'azienda. Al giorno d'oggi però, sono stati trovati molti contributi di ricerca per l'integrazione delle informazioni che si basano sul concetto SOA.<sup>52</sup>

### **3) Ingegneria basata su modelli**

È stato già detto che il MES deve essere adottato specificamente con un elevato sforzo di personalizzazione e programmazione. Convenzionalmente, per essere implementato all'interno di un'azienda manifatturiera, sono necessarie sette fasi:

- **Fase di valutazione di base:** consiste nel coordinare gli obiettivi del progetto MES con l'impresa, definirne l'ambito, il contenuto e stimarne i costi approssimativi.
- **Fase di pre-pianificazione:** vengono definite le specifiche per il processo aziendale e stabilito il concetto e i requisiti della soluzione MES.
- **Fase di progettazione di base:** consta di una gara d'appalto per la soluzione desiderata, vengono confrontate le diverse offerte, ne segue una valutazione, si ottiene poi l'approvazione per il progetto che viene infine assegnato al fornitore scelto.
- **Fase di programmazione dettagliata:** viene inoltrato l'ordine al fornitore e progettato il MES nei dettagli.
- **Fase di realizzazione:** consiste nella creazione del software applicativo, predisposizione dei sistemi di dati, formazione dei sistemi di base, installazione del software e dell'hardware, integrazione della rete, installazione del software applicativo, verifica del software applicativo che conduce alla formazione dell'applicazione per gli utenti chiave.
- **Fase operativa:** l'applicazione viene formata per tutti gli utenti, la soluzione MES è messa in servizio.
- **Fase di avviamento:** è costituita dalla redazione del report finale e definizione del progetto.

---

<sup>52</sup> Chen e Voigt.

Per ridurre gli sforzi è stato introdotto il concetto basato sul modello, dove un modello è una semplificazione di un sistema che può rispondere alle domande al posto di un sistema attuale. Mentre la programmazione dettagliata è incentrata sul codice, i modelli sono ampiamente utilizzati nello sviluppo del software per far comunicare i colleghi di progetto, analizzare e documentare il sistema.

Il Model-driven-Engineering (MDE) è una metodologia di sviluppo del software che si serve dell'astrazione per utilizzare sistematicamente i modelli come artefatti primari durante il processo di ingegneria del software. Questi modelli devono essere definiti con precisione, secondo lo specifico linguaggio di modellazione.<sup>53</sup> I vantaggi che ne derivano sono: l'aumento della produttività dovuto alla massimizzazione della compatibilità tra i sistemi attraverso il riutilizzo di modelli standardizzati, la semplificazione del processo di progettazione, promozione della comunicazione tra colleghi attraverso una standardizzazione della terminologia e miglioramento dei sistemi con una modifica dei modelli senza ulteriori sforzi.<sup>54</sup>

In conclusione, questo capitolo ha fornito una panoramica circa lo stato di avanzamento dell'implementazione dei sistemi MES nell'industria del Food & Beverage, affrontando, oltre alle caratteristiche e requisiti dei processi produttivi alimentari, i vantaggi, le barriere e le possibili soluzioni, che spingono ad ampliare il campo di ricerca in questo settore.

---

<sup>53</sup> Chen et al., «Basis for the Model-Driven Engineering of Manufacturing Execution Systems».

<sup>54</sup> Chen e Voigt, «Implementation of the Manufacturing Execution System in the Food and Beverage Industry».

## CAPITOLO 4: PRESENTAZIONE DI UN CASO DI STUDIO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

### 4.1 Descrizione dell'approccio per la generazione automatica di un MES

Nel capitolo precedente si è discusso circa le difficoltà esistenti relative all'utilizzo dei sistemi MES nell'industria alimentare e delle bevande. Il caso di studio che viene presentato in questo capitolo ha lo scopo di mostrare un approccio per la generazione automatica di MES secondo il concetto di "ingegneria basata sui modelli" (che è stata proposta come soluzione alla fine del capitolo 3) e ci si dedica alla definizione degli elementi di modellazione, che è considerata la base dell'approccio stesso.

In primo luogo, si definiscono i requisiti che debbono essere soddisfatti da un particolare approccio per trasformare automaticamente i modelli predefiniti in un MES operativo:

- 1) **Rappresentazione delle funzioni MES rilevanti:** il software deve essere in grado di rappresentare correttamente le funzioni comunemente utilizzate dalle imprese le quali comprendono: la pianificazione dei lavori, la manutenzione predittiva, l'audit e il controllo dei processi. Tra gli indicatori chiave di prestazione, l'OEE (efficacia complessiva delle apparecchiature) e il consumo energetico sono particolarmente rilevanti.
- 2) **Sviluppo e applicazione di un approccio ingegneristico model-driven di MES:** l'approccio model-driven dovrebbe essere in grado di implementare modelli universalmente applicabili per impianti, processi, funzioni, report per le PMI. Esso prevede l'utilizzo di quattro metamodelli: un modello di impianti che illustri i sistemi tecnici, un modello di processo che descriva i processi di produzione, un modello che rappresenti le funzioni MES richieste e un modello di report che mostri i risultati delle funzioni, ciascuno insieme alle corrispondenti librerie specifiche del dominio.
- 3) **Supporto di uno standard di comunicazione coerente:** deve essere garantita la conformità tra la soluzione software e le macchine fisiche utilizzate nell'industria; di conseguenza il software deve aderire ad uno standard di comunicazione supportato da aziende e macchine nel settore alimentare e delle bevande. La

portabilità dei modelli predefiniti può essere garantita anche utilizzando un'interfaccia di comunicazione standardizzata, in quanto la base delle informazioni per lo scambio e l'elaborazione dei dati rimane uniforme.

- 4) **Generazione dinamica dai modelli alla soluzione MES:** gli elementi di modellazione per questo approccio non sono definiti per scenari applicativi specifici, ma possono essere utilizzati per comporre funzioni MES distinte che soddisfino vari requisiti. La soluzione modellata da tali elementi dovrebbe essere generata quindi automaticamente e dinamicamente, tale che questa modellazione dinamica richieda anche la trasformazione flessibile dei modelli in base alle specifiche.<sup>55</sup>

#### 4.1.1 Un approccio model-driven per MES

La motivazione alla base di MDE è spostare il fulcro dell'ingegneria del software, dalla codifica alla modellazione della soluzione, introducendo la generazione automatica del codice.

È stato introdotto un metodo per generare MES automaticamente sulla base di un'architettura model-driven con modelli, il cui linguaggio di modellazione è UML, descritti nell' XML Metadata Interchange (è uno standard per definire, scambiare, manipolare ed integrare oggetti elaborando dati in formato XML).

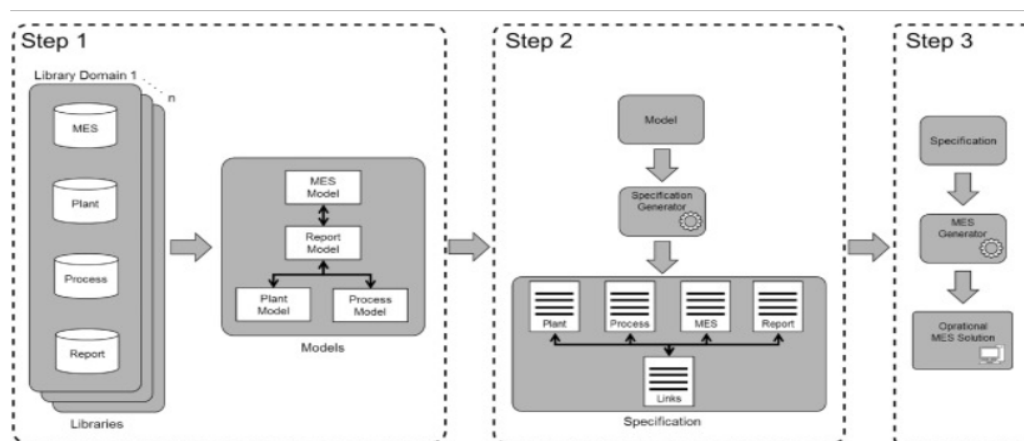


Figura 7

<sup>55</sup> Chen et al., «Basis for the Model-Driven Engineering of Manufacturing Execution Systems».

Come si evince dalla figura, tre sono i passaggi che precedono la generazione automatizzata dei MES. Il primo passaggio crea modelli universalmente applicabili sulla base di librerie predefinite specifiche del dominio. In questa fase sono necessari quattro modelli per descrivere l'intero MES:

- ✓ un modello dei sistemi tecnici di impianto e dei dati che possono essere raccolti da essi
- ✓ un modello di processo che descriva i processi di produzione e fornisca le informazioni relative per le funzioni MES inerenti allo stesso
- ✓ un modello di funzioni MES che rappresenti le funzioni richieste e i dati necessari per realizzarle
- ✓ un modello di report che funga da ponte verso gli altri tre stabilendo funzioni di mappatura in tutti i modelli e che determini anche il layout del report finale.

Il modello di funzione MES è indipendente dal modello di impianto e di processo e, sebbene i dati per realizzare le funzioni siano modellati in questo modello, le loro origini non sono determinate. Inoltre, al fine di garantire la generalità dei modelli, al momento della modellazione non viene definita alcuna formula, in quanto i produttori e fornitori di MES possono disporre di metodi propri per analizzare i dati acquisiti e implementare le funzioni. In aggiunta esso specifica quali fonti di dati dovrebbero essere disponibili per realizzare la funzione specifica, ma non contiene informazioni su come i dati dovrebbero essere elaborati. La modalità concreta per il trattamento dei dati infatti, viene formalizzata nella fase di generazione successiva, quando le funzioni MES saranno implementate.

Le librerie per diversi domini, i quali costituiscono assemblaggi di elementi di modellazione per ciascun modello, devono essere create in questo approccio per fornire la base per i passaggi successivi. Con esse, lo sforzo di modellazione può essere ridotto e si attua la riusabilità degli elementi.

Nella seconda fase, un generatore di specifiche trasforma le informazioni in modelli grafici in un formato di specifiche che il software può utilizzare, ovvero una specifica MES generica. Questa specifica è generica perché non dovrebbe concentrarsi solo su funzionalità MES specifiche, ma su funzionalità miste da diverse possibilità di implementazione. Data la correlazione tra i diversi modelli, vengono scelte delle tabelle

in un database che costituiscono una piattaforma per le specifiche, in cui ogni specifica include le informazioni per ogni modello insieme ai collegamenti tra i quattro.

Il generatore MES utilizzato nella terza fase è costituito da due parti, una cassetta degli attrezzi e un connection finder. Nella cassetta degli strumenti, gli elementi di modellazione predefiniti per le funzioni MES sono implementati come procedure specifiche nel codice. Lo scopo del connection finder è riprodurre le correlazioni tra gli elementi di modellazione in base alla specifica nella seconda fase, per decidere quali procedure devono essere richiamate dalla cassetta degli strumenti per realizzare le funzioni richieste. Per garantire una comunicazione senza soluzione di continuità tra elementi di modellazione predefiniti, dovrebbe essere utilizzato un modello di informazioni standardizzato, ad esempio il WS, di cui si è già parlato.<sup>56</sup>

#### **4.1.2 I quattro metamodelli**

##### ***METAMODELLO DI PIANTA***

Per consentire la generazione automatica di un MES, è stato definito un metamodello del linguaggio di modellazione MES-ML per sistemi tecnici: la sua gerarchia è ispirata allo standard industriale ISA 95 per ridurre al minimo i conflitti con le descrizioni degli impianti esistenti. I segnali per la raccolta dei dati, che sono classificati in base alle loro caratteristiche, possono essere assegnati a tutti i livelli gerarchici in cui sono necessari. Il segnale standard impostato nel WS viene utilizzato come interfaccia di comunicazione tra l'impianto e il MES.

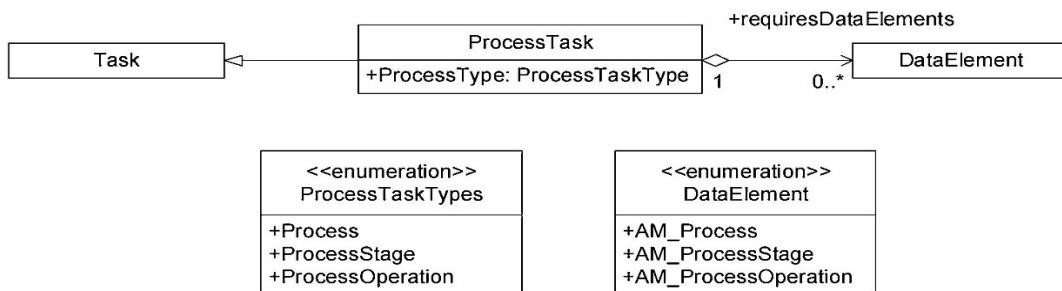
##### ***METAMODELLO DI PROCESSO***

Il processo può essere modellato senza la conoscenza del modello dell'impianto specifico, cioè al momento della modellazione il modello di processo non necessita di un segnale esistente da alcun elemento specifico nel modello di impianto per essere collegato; è realizzato da un elenco di segnali richiesti per ogni task di processo che può essere offerto dal modello di impianto. Sono introdotti tre livelli di attività di processo (processo, fase di processo e operazione di processo) per ottenere un modello più standardizzato basato

---

<sup>56</sup> Chen et al.

sui livelli di produzione per lotto definiti in ISA-S88. Ad ogni tipo di attività è possibile assegnare elementi di dati di processo: AM\_Process per i processi, AM\_ProcessStage per le fasi del processo, AM\_ProcessOperation per le operazioni di processo. Essi contengono le informazioni circa quando è stata eseguita un'attività di processo e ciò può aiutare a calcolare e analizzare lo stesso, ad esempio relativamente al consumo di elettricità di un'attività di processo specifica.



**Figura 8**

### ***METAMODELLO DELLA FUNZIONE MES***

I compiti MES sono definiti e suddivisi in funzioni base e in funzioni MES. Le funzioni base costituiscono l'atomo del modello, fungono da fondamento per tutte le altre attività, e la loro semantica è predefinita nel MES-ML esteso. Le ragioni per definire le funzioni base sono, da un lato, che un'ampia gamma di funzioni possa essere modellata utilizzando un numero limitato di funzioni base, dall'altro che lo sforzo di programmazione del generatore possa essere ridotto. Dato che le funzioni base devono essere definite indipendentemente dal modello di funzione MES, ai task possono essere assegnati parametri di input e output in modo generico. Tutte le altre funzioni possono essere tradotte in una raccolta interconnessa di funzioni base; mentre le funzioni MES fungono da unità organizzativa per le funzioni base e altre funzioni MES.

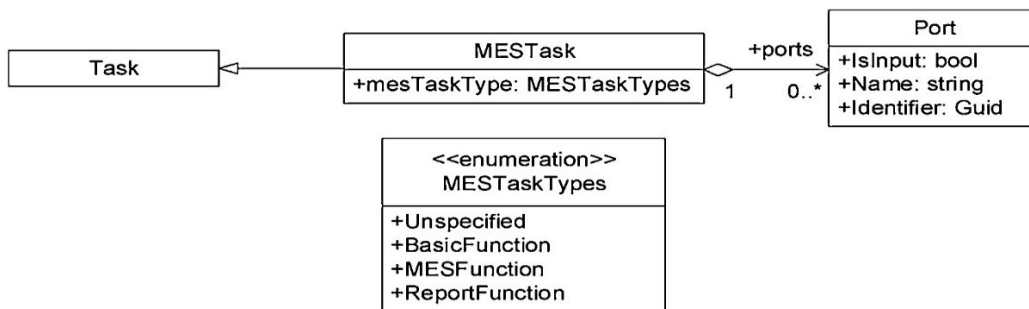


Figura 9

### **METAMODELLO DEI SEGNALI**

I parametri di output delle funzioni MES compaiono nei report, la cui modellazione standardizzata e generica è consentita da MES-ML esteso. Il modello di report ha un nome di report ed è costituito da elementi e input del report. Gli input sono necessari per ottenere le origini corrette dei dati per il report, come un periodo di tempo selezionato dall'utente o una macchina di produzione specifica. Gli elementi del report visualizzano le informazioni in un certo modo e ognuno di essi è collegato ad una funzione MES che fornisce l'output corrispondente.<sup>57</sup>

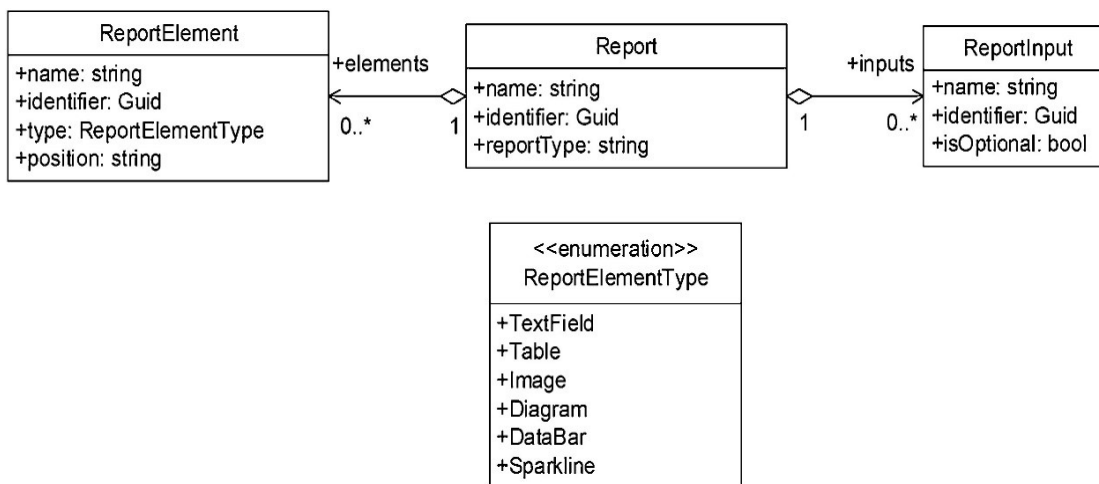


Figura 10

<sup>57</sup> Chen et al.



## 4.2 Caso d'uso nel dominio di produzione della birra <sup>58</sup>

Il primo passaggio dell'approccio presentato sopra per la generazione automatica di una soluzione MES operativa sulla base di librerie specifiche del dominio predefinite, verrà applicato nel caso d'uso di un birrificio.

Nel birrificio il mosto è ottenuto da: malto d'orzo, acqua e luppolo. La prima fase è l'ammestamento (mashing), durante il quale acqua e malto vengono miscelati e riscaldati a una serie di temperature specifiche per la decomposizione dell'amido nell'orzo maltato. Il processo di filtrazione (lautering) separa la fase liquida (mosto) dai cicchi nel tino di filtrazione. Il mosto viene quindi bollito con il luppolo in un bollitore per sterilizzarlo e per infondere l'aroma. Le particelle solide, come il luppolo, e le proteine generate nell'ebollizione vengono quindi separate nel vortice. Successivamente, il mosto è pronto per la fermentazione e la conservazione.

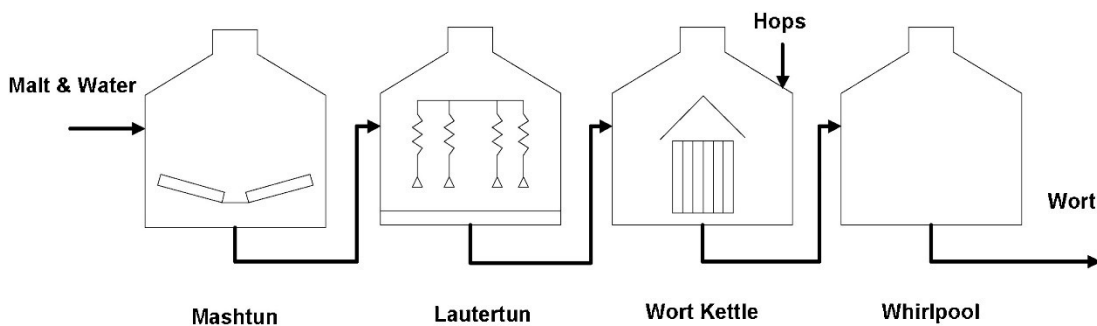


Figura 11

### 4.2.1 Biblioteche per la produzione di birra

#### ***LIBRERIA DI PIANTA***

Incorporando gli elementi tecnici specifici del birrificio nel metamodello, è possibile sviluppare la libreria di pianta. Per raccogliere i dati, i punti dati richiesti (dove un punto dati è un insieme di una o più misurazioni su un singolo membro dell'unità di osservazione) che indicano la modalità, il programma, lo stato della macchina, quali prodotti sono da tenere e quali da scartare e i consumi energetici, vengono assegnati agli elementi nella libreria dell'impianto al livello gerarchico appropriato. Gli elementi di

---

<sup>58</sup> Chen et al.

modellazione predefiniti nella libreria di pianta e una lista di punti dati che devono essere raccolti per documentare il consumo di energia elettrica sul tino di ammostamento sono mostrati nella figura.

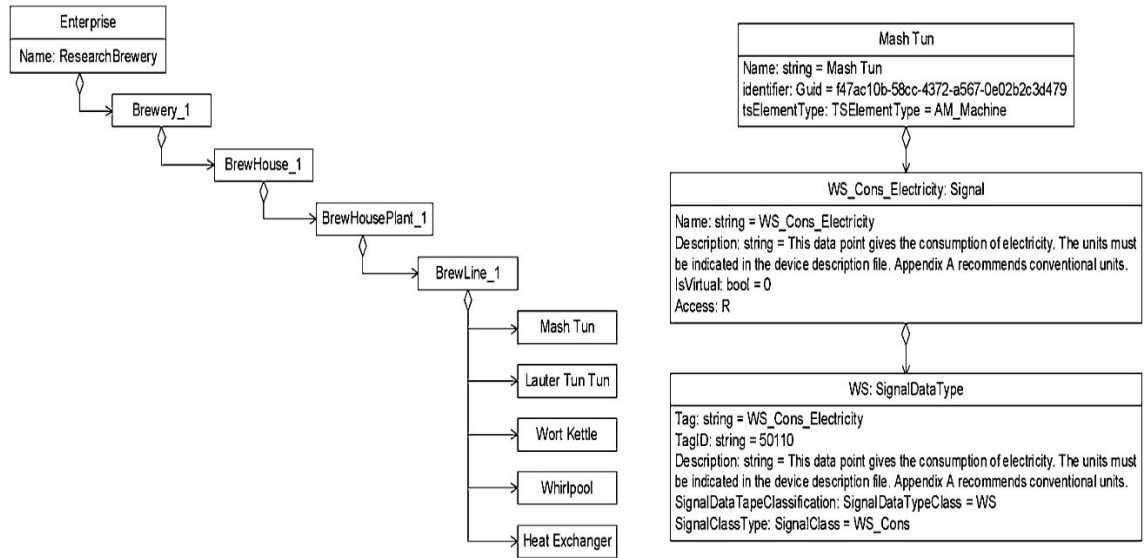
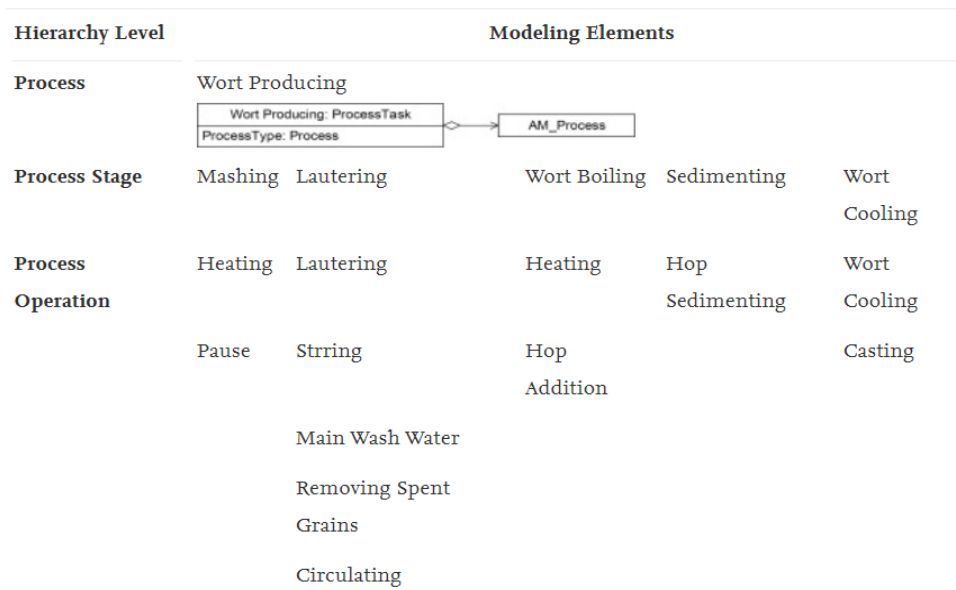


Figura 12

### ***LIBRERIA DEL PROCESSO***

Il processo di produzione del mosto, che è il prodotto finale di un birrificio, consiste di cinque sottoprocessi della fase del processo, disposti a livello gerarchico: ammostamento, filtrazione, bollitura, sedimentazione e raffreddamento del mosto. Questi sottoprocessi possono essere modellati in modo più dettagliato a livello gerarchico di operazione di processo (riscaldamento, agitazione, raffreddamento ecc.).

Per ottenere l'ora di inizio e fine di ogni elemento del processo, i seguenti punti dati sono stati assegnati agli elementi del processo nelle gerarchie correlate: AM\_Process, AM\_ProcessStage e AM\_ProcessOperation. Gli elementi risultanti sono elencati nella tabella con i modelli di istanza del livello gerarchico dei processi.



**Figura 13**

### ***LIBRERIA DI FUNZIONI MES***

Sono funzioni di base quelle che consentono di calcolare il consumo di energia in un dato periodo di tempo per una specifica forma energetica e quelle per calcolare diversi indicatori secondo i conti orari definiti dall'OEE.

Nella categoria delle funzioni base per la gestione energetica si trova la funzione di base "Calcolo del consumo energetico" in cui i parametri di input sono gli orari di inizio e fine del periodo di tempo richiesto e i punti dati registrano il consumo della relativa forma energetica, mentre il parametro di output è il valore del consumo.

Per calcolare gli indicatori OEE, vengono definite funzioni di base come "Calcolo del tempo di caricamento" e "Calcolo del tempo di funzionamento" per rappresentare gli indicatori di disponibilità, prestazione e qualità secondo il concetto OEE.

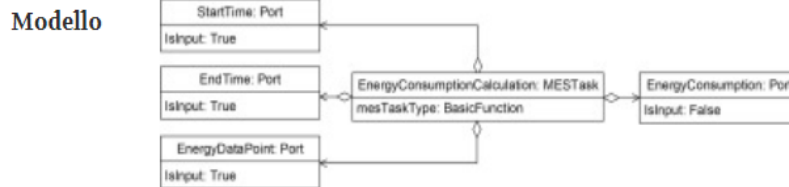
---

### Funzioni di base per la gestione energetica

---

**Nome** Calcolo del consumo energetico

**Formula**  $\Delta W = W_2 | WS\_Consatendtime - W_1 | WS\_Consatstarttime$



**Descrizione** Questa funzione di base determina il consumo di una specifica forma di energia nel periodo [StartTime, EndTime].

---

**Figura 14**

### ***LIBRERIA DI REPORT***

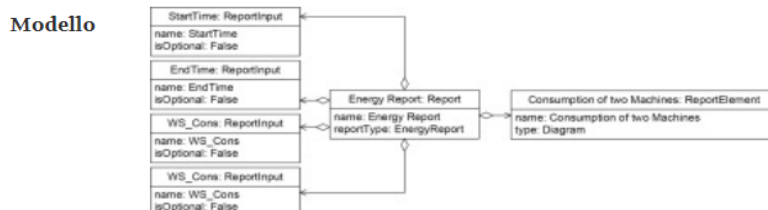
La libreria di report si compone di due categorie: report energetici e report OEE. La tabella mostra gli elementi di modellazione predefiniti nella libreria di report con esempi di report di queste categorie.<sup>59</sup>

---

<sup>59</sup> Chen et al.

### Rapporto sull'energia

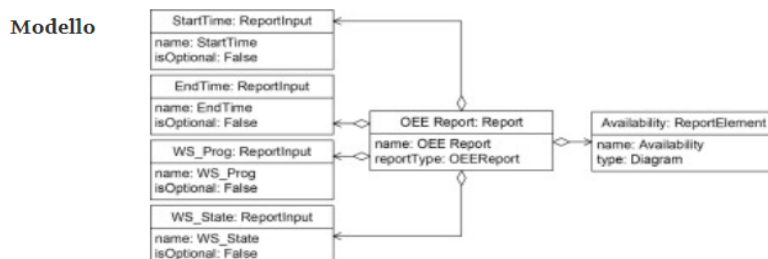
**Nome** Consumo di due macchine



**Descrizione** Questo rapporto presenta il consumo energetico di due macchine. Il loro consumo energetico può essere determinato in base ai punti dati per i moduli energetici su entrambe le macchine come parametri di input del report.

### Rapporto OEE

**Nome** Disponibilità



**Descrizione** Questo rapporto determina l'indicatore di prestazione della "disponibilità" secondo l'OEE.

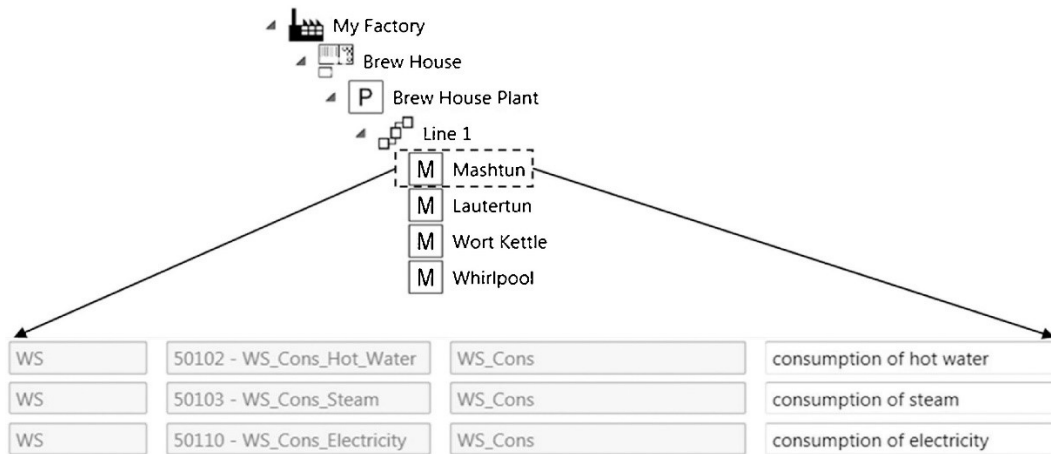
**Figura 15**

## 4.3 Modellazione degli elementi nella produzione della birra

L'approccio model-driven introdotto e gli elementi di modellazione predefiniti in ciascuna libreria sono stati modellati in uno strumento di modellazione con notazioni selezionate dal modello di processo aziendale e notazione (BPMN), in cui questo standard fornisce alle aziende la possibilità di comprendere le proprie procedure aziendali interne in formato grafico. Per questo caso d'uso è stato scelto il birrificio del birrificio di ricerca presso la School of Life Sciences Weinhstephan in Germania.

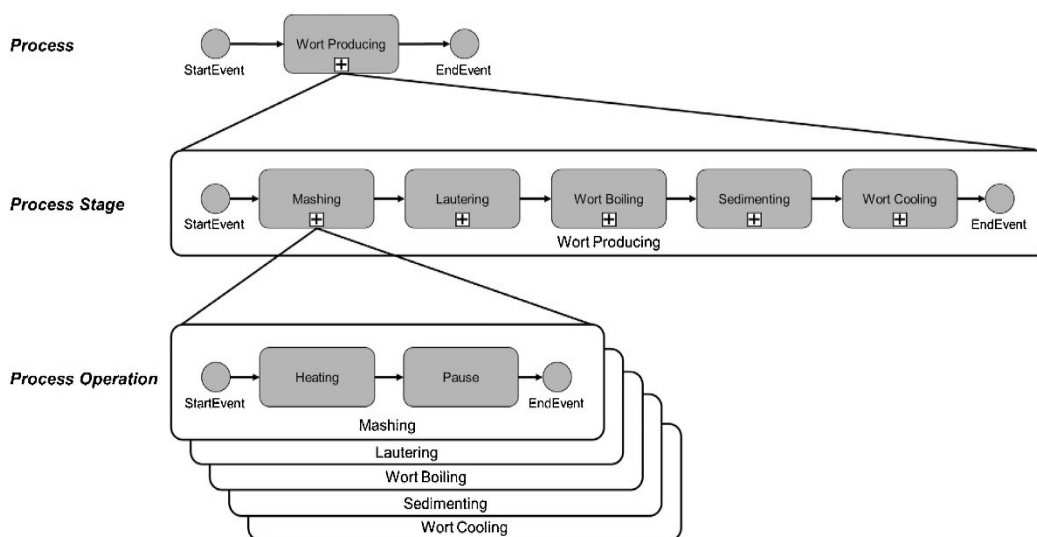
Dopo aver scelto gli elementi di modellazione della libreria dell'impianto e creato il modello, l'ultimo passaggio nella fase di modellazione consiste nel modificare i punti dati nel modello per soddisfare i requisiti per la gestione energetica. Pertanto se i punti dati per la raccolta dei dati di consumo a livello macchina erano già assegnati agli elementi, non è necessario modificarli, altrimenti sì.

Il modello dei sistemi tecnici con una visione più dettagliata dei punti dati del tino di ammostamento è mostrato in figura.



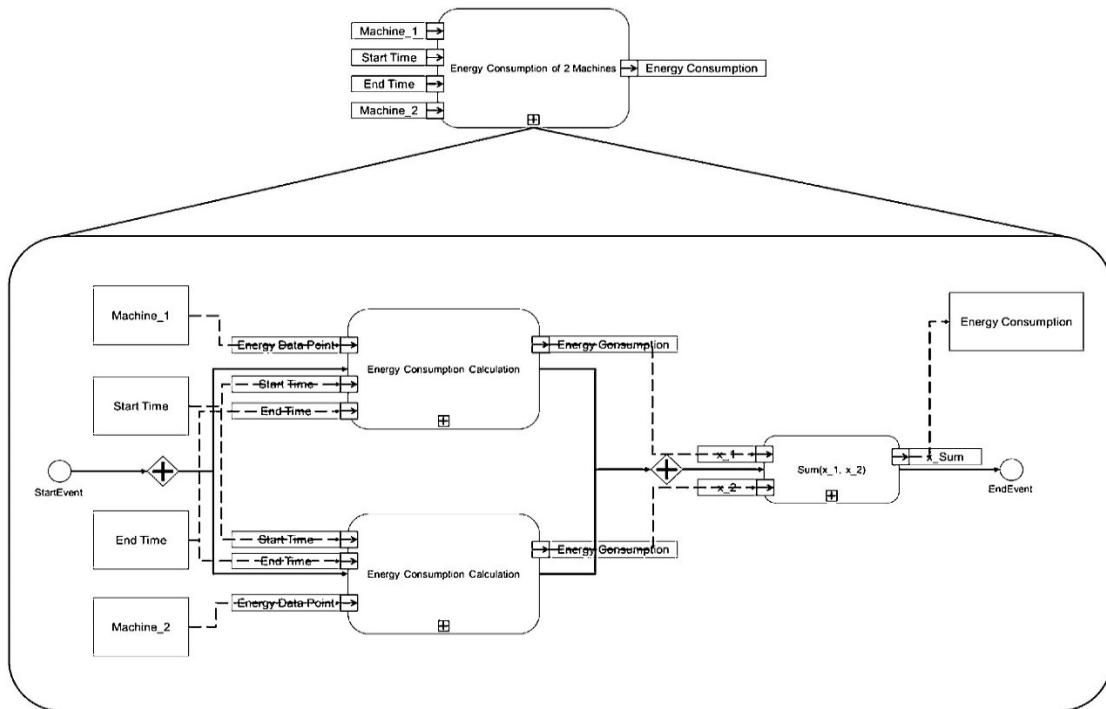
**Figura 16**

Il secondo passaggio richiede la mappatura dei processi al livello gerarchico appropriato. Il processo complessivo di produzione del mosto viene modellato per primo. Questo processo è descritto in maggior dettaglio con gli elementi al livello gerarchico della fase del processo, che include ammostamento, filtrazione, bollitura del mosto, sedimentazione e raffreddamento del mosto. A livello di gerarchia delle operazioni di processo, ogni elemento della fase del processo viene nuovamente rappresentato in maggior dettaglio. Ad esempio, le operazioni di processo nell'ammostamento sono il riscaldamento e il mantenimento della temperatura.



**Figura 17**

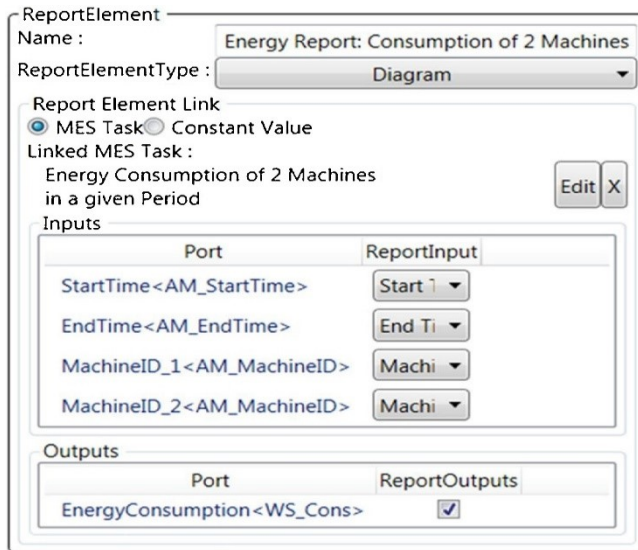
Per realizzare la gestione energetica con il MES, è necessaria la funzione con il calcolo di base per il consumo energetico. In questo caso viene modellata la somma del consumo energetico di due macchine in un dato periodo di tempo.



**Figura 18**

Per questo calcolo è possibile utilizzare il relativo elemento di modellazione nella libreria dei report, in cui il risultato della funzione MES, ovvero il consumo di energia, è considerato l'output nel report finale.<sup>60</sup>

<sup>60</sup> Chen et al.



**Figura 19**

#### 4.4 La valutazione

Un birrificio può essere suddiviso in due aree con focus differenti sulla soluzione MES: l'area di processo, compresi birrificio e sala di fermentazione, si concentra per abbassare il costo di produzione; mentre l'area di confezionamento per il riempimento si concentra sul miglioramento dell'efficienza produttiva. In questo caso però, sono stati descritti gli elementi di modellazione predefiniti nelle librerie per i quattro modelli presentati, solo nell'area di processo e non in quella di confezionamento.

La base per un approccio basato sul modello è stata valutata dagli esperti MES circa la fattibilità. A questa valutazione hanno partecipato tre esperti: un programmatore di soluzioni MES e due project manager MES di diverse aziende in qualità di fornitore IT per soluzioni nell'industria alimentare e delle bevande.

Sono stati definiti cinque criteri per la valutazione:

- ✓ **redditività:** per mostrare i benefici che si possono apportare alla generazione automatica di MES con l'applicazione di elementi di modellazione predefiniti
- ✓ **comprensibilità:** per indicare se il metodo e il processo di modellazione possono essere compresi facilmente



- ✓ **semplicità:** mostra se l'applicazione di elementi di modellazione predefiniti può aiutare a ridurre lo sforzo di modellazione e essi possono essere trovati e utilizzati in modo sistematico e progressivo
- ✓ **completezza:** per indicare se questi elementi possono coprire una gamma relativamente ampia di requisiti nelle soluzioni MES dell'industria alimentare e delle bevande
- ✓ **sostenibilità:** per rappresentare le prospettive dell'approccio presentato e le applicazioni degli elementi di modellazione predefiniti.

Ad ogni criterio è stato assegnato un punteggio nella scala dei voti da 1 a 6 in base al grado di approvazione per ogni contenuto della valutazione. 1 significa che l'applicazione è estremamente calzante. Di conseguenza, è stato assegnato un punteggio medio di 2 ai criteri di redditività che mostra che gli elementi di modellazione definiti sono stati valutati come base necessaria per la generazione automatica del MES e il linguaggio di modellazione grafico può aiutare la comunicazione tra i diversi colleghi coinvolti nel progetto. Per ciò che riguarda il criterio di comprensibilità, sebbene il metodo e il processo di modellazione fossero facilmente comprensibili per gli esperti nella valutazione, è necessaria una certa conoscenza precedente quando gli utenti finali, come il responsabile di produzione o il macchinista, sono disposti a conoscere i dettagli del modello per la loro soluzione MES. La semplicità ha ottenuto un punteggio medio di 2, dovuto alla riutilizzabilità degli elementi di modellazione per uno scenario applicativo specifico. Alla completezza è stato assegnato un punteggio di 3,5 poiché gli elementi sono stati definiti solo per la produzione di un birrifico con processo di infusione standard, mentre ci sono birrifici che utilizzano altri procedimenti, come ad esempio il decotto processo di fermentazione con bollitore. Inoltre, le due funzioni MES definite nella libreria, ovvero la gestione dell'energia e l'indicatore di prestazione per calcolare l'OEE, costituiscono solo una piccola parte di ciò che il MES può fare e i requisiti del settore alimentare quali gestione della qualità, monitoraggio del prodotto e pianificazione delle operazioni, non possono essere soddisfatti completamente. Infine al criterio di sostenibilità è stato assegnato un punteggio medio di 1,5.<sup>61</sup>

---

<sup>61</sup> Chen et al.

<b>Criteri</b>	<b>Contenuti della valutazione</b>	<b>Punto</b>	<b>Media</b>
<b>Redditività</b>	Gli elementi di modellazione predefiniti hanno gettato le basi per una successiva generazione automatica di MES.	1	2
	Il processo di modellazione con l'aiuto di elementi di modellazione predefiniti ha ridotto la durata della creazione del modello MES.	3	
	La specifica grafica di MES contribuisce alla comunicazione interdisciplinare nella fase di modellazione.	2	
<b>Comprensibilità</b>	Il processo di modellazione con gli elementi di modellazione nelle librerie è comprensibile.	1	2.3
	Per gestire la modellazione con elementi di modellazione predefiniti, non sono necessarie alcune conoscenze precedenti.	3	
	Il modello di impianto, il modello di processo, il modello di funzione MES e il modello di report, nonché la connessione tra questi modelli, sono chiari e comprensibili.	3	
<b>Criteri</b>	<b>Contenuti della valutazione</b>	<b>Punto</b>	<b>Media</b>
<b>Semplicità</b>	Con le librerie di elementi di modellazione, il processo di modellazione può essere semplificato.	2	2
	È facile trovare gli elementi di modellazione richiesti nella libreria.	2	
<b>Completezza</b>	Gli elementi di modellazione predefiniti nelle librerie possono essere utilizzati in un'ampia gamma.	4	3.5
	Le funzioni MES che potrebbero essere costruite con gli elementi nelle biblioteche soddisfano i requisiti dell'industria alimentare e delle bevande.	3	
<b>Sostenibilità</b>	Il metodo di modellazione può essere utilizzato continuamente nell'industria alimentare e delle bevande.	2	1.5
	Questo concetto di modellazione è neutro e può essere applicato ad altre aree MES, oltre all'analisi dell'OEE e alla gestione dell'energia.	1	

**Figura 20**

In conclusione l'approccio presentato con elementi di modellazione predefiniti ha permesso un processo di implementazione di un MES con meno sforzo: in primo luogo, grazie all'uso del linguaggio di modellazione grafico, i requisiti dal punto di vista dei diversi colleghi coinvolti in una soluzione MES possono essere soddisfatti e comunicati velocemente. In secondo luogo, gli elementi di modellazione per la creazione dei modelli sono già definiti e possono essere riutilizzati direttamente dalle relative librerie. Inoltre, poiché gli standard Weihenstephaner sono integrati in questo approccio, non esiste un'interfaccia aggiuntiva per la comunicazione tra macchina e MES che deve essere definita.

## CONCLUSIONI

Nel seguente lavoro è stata presentata l'applicazione dei sistemi MES nell'industria manifatturiera nel contesto Industry 4.0. Sono state trattati funzionalità e benefici apportati circa la loro implementazione, ma anche quali sono le motivazioni che conducono ad un'applicazione ancora poco diffusa. In riferimento ad un settore specifico, che è quello dell'industria alimentare e delle bevande, sono stati elencati i requisiti e i protocolli che debbono essere seguiti in quanto in tale ambito la sicurezza e l'igiene devono essere garantite in prima linea. Sono state poi descritte le soluzioni circa le difficoltà all'implementazione dei MES nell'industria alimentare ed è stato sviluppato un approccio per la generazione automatica tramite degli elementi di modellazione. La presentazione del caso d'uso nel dominio della produzione della birra ha rilevato però che alcune importanti funzionalità dei MES attraverso questo approccio non sono soddisfatte: ciò è indice del fatto che l'applicazione dei sistemi di esecuzione della produzione necessita di ulteriori sviluppi in alcuni settori.

## BIBLIOGRAFIA

- Alcácer, V., e V. Cruz-Machado. «Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems». *Engineering Science and Technology, an International Journal* 22, n. 3 (1 giugno 2019): 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>.
- Bai, Chunguang, Patrick Dallasega, Guido Orzes, e Joseph Sarkis. «Industry 4.0 Technologies Assessment: A Sustainability Perspective». *International Journal of Production Economics* 229 (1 novembre 2020): 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>.
- Büchi, Giacomo, Monica Cugno, e Rebecca Castagnoli. «Smart Factory Performance and Industry 4.0». *Technological Forecasting and Social Change* 150 (1 gennaio 2020): 119790. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>.
- Chen, Xinyu, Fabian Gemein, Stefan Flad, e Tobias Voigt. «Basis for the Model-Driven Engineering of Manufacturing Execution Systems: Modeling Elements in the Domain of Beer Brewing». *Computers in Industry* 101 (1 ottobre 2018): 127–37. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.07.005>.
- Chen, Xinyu, e Tobias Voigt. «Implementation of the Manufacturing Execution System in the Food and Beverage Industry». *Journal of Food Engineering* 278 (1 agosto 2020): 109932. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109932>.
- Mantravadi, Soujanya, e Charles Møller. «An Overview of Next-Generation Manufacturing Execution Systems: How Important Is MES for Industry 4.0?» *Procedia Manufacturing, Digital Manufacturing Transforming Industry Towards Sustainable Growth*, 30 (1 gennaio 2019): 588–95. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.083>.
- Naedele, Martin, Hong-Mei Chen, Rick Kazman, Yuanfang Cai, Lu Xiao, e Carlos V. A. Silva. «Manufacturing Execution Systems: A Vision for Managing Software Development».

*Journal of Systems and Software* 101 (1 marzo 2015): 59–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.11.015>.

ResearchGate. «(PDF) ISA 95 - how and where can it be applied». Consultato 10 settembre 2020.  
[https://www.researchgate.net/publication/281063570\\_ISA\\_95\\_-\\_how\\_and\\_where\\_can\\_it\\_be\\_applied](https://www.researchgate.net/publication/281063570_ISA_95_-_how_and_where_can_it_be_applied).

Vaidya, Saurabh, Prashant Ambad, e Santosh Bhosle. «Industry 4.0 – A Glimpse». *Procedia Manufacturing*, 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Design Engineering (iCMMD2017), 11-12 December 2017, MIT Aurangabad, Maharashtra, INDIA, 20 (1 gennaio 2018): 233–38. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio innanzitutto il Professor Bevilacqua, relatore di questa tesi, per avermi guidato nella stesura di questo elaborato.

Ringrazio la mia famiglia, in particolare i miei genitori, per avermi appoggiato in questo cammino. Questo piccolo traguardo è anche merito vostro.

Una dedica speciale va a mia madre, la persona che mi è stata accanto sempre. Con la sua dolcezza ha smorzato la mia tensione, con la sua determinazione mi ha aiutato a non cedere di fronte alle difficoltà.

Un pensiero in particolare va ai miei nonni: so che non avete potuto essere partecipi di questo mio percorso come avreste voluto, ma sappiate che il vostro amore mi è arrivato sempre.

Ringrazio Matteo per esser stato paziente, comprensivo e stimolante. Mi ha aiutato a superare tanti limiti e paure, insegnato che l'importante è guardare avanti, fregandosene ogni tanto di quello che pensano gli altri e ricordandomi che alla fine dobbiamo esser sempre fedeli a noi stessi.

Ringrazio Sara perché ho scoperto un'amica forte, determinata, testarda ma al contempo dolce e di una sensibilità rara. Ha smorzato il mio lato più cupo, quello che faccio vedere poche volte e non a tutti, poiché come ben sa odio mostrare le mie fragilità.

Ringrazio tutti gli amici e amiche che mi sono stati vicino, che hanno condiviso con me questo viaggio difficile ma pieno di soddisfazioni.

Ringrazio i miei compagni di università: grazie a Giorgia e Sofia, perché mi avete accolto subito come una di voi, non ci siamo mai annoiate insieme e abbiamo alleggerito lo studio col divertimento.

Grazie a Sara Mariotti, la mia "Cicci", perché mi ha regalato tanta tenerezza e dolcezza e con cui ho scambiato gli abbracci più sinceri. Abbiamo condiviso tanti momenti divertenti insieme, ci siamo confrontate su tante tematiche e credo che abbiamo lasciato qualcosa l'una all'altra.

Grazie a Lucia, una piccola bambolina deliziosa, perché mi ha regalato tanti consigli e mi ha ascoltato sempre a cuore aperto, senza mai giudicare.

Un grazie di cuore va a Giacomo perché ho scoperto un amico sincero, leale e coraggioso. Grazie perché mi ha sopportato, anche se potrei dire lo stesso di lui, mi ha supportato e sicuramente in certe circostanze ha creduto in me più di quanto io non lo abbia fatto. Siamo così simili, due pesci fuor d'acqua e con due caratteri incompresi, però, anche se a volte sembriamo un po' distaccati, abbiamo dimostrato che la nostra sensibilità prende spesso il sopravvento. Chissà se riuscirò a sistemare i suoi ritmi e non farlo studiare più fino alle 3 di notte!

Infine grazie ai miei due pezzi di cuore: Chiara e Susanna.

In Chiara ho scoperto una persona diversa da ciò che appare, una dolcezza che viene fuori piano piano e un'umanità che forse neanche lei pensava di avere. Con lei ho condiviso momenti imbarazzanti, una fame incontrollabile e disperazione. Nell'ultimo anno siamo diventate coinquiline ma non abbiamo potuto vivere appieno questa esperienza. Spero di recuperare tutte le occasioni perse, di divertirci ancora insieme e di imparare ancora tanto da lei.

In ultimo il mio ringraziamento più immenso va a Susanna che considero una sorella a tutti gli effetti. Di lei ho apprezzato il fatto che se può farti un favore te ne fa due, se può alleggerirti di qualche fatica lo fa. Lei dà e non pretende, aiuta e non lo rinfaccia. Abbiamo condiviso due anni bellissimi da coinquiline tra nervosismo e risate. Ciò che mi rende felice è che è stata non solo una compagna di università ma anche nella vita e spero che, anche se le nostre strade dovranno dividersi, continueremo a coltivare la nostra amicizia.

Infine ringrazio me stessa, la me stessa di 3 anni fa, quella ragazza all'apparenza forte ma fragile al contempo, che ha avuto il coraggio, l'audacia di buttarsi, perché ho compreso che è stimolante uscire dalla confort-zone e osare di più. Mi dispiace per le amicizie perse, per chi non mi ha capito o che non ho voluto capire. Però posso dire che alla fine questo viaggio mi ha reso più matura sia personalmente che a livello relazionale.