



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2020/2021

Sessione di Laurea Luglio 2021

**Gestione del know-how produttivo  
attraverso l'integrazione dei sistemi  
ERP, PLM e MES**

Relatori:

Giulia Bruno

Franco Lombardi

Candidato:

Piergiuseppe Miccoli

## **Ringraziamenti**

Gli anni al Politecnico di Torino non sono stati semplici giorni di vita trascorsi bensì piccoli tratti di un percorso evolutivo incessante che mi ha plasmato completamente. Sebbene poche parole non possano bastare a racchiudere il mio percorso universitario, mi affiderò a queste righe per esternare la mia gratitudine verso chi mi ha accompagnato nel corso di questi anni.

Alla professoressa Giulia Bruno, per la sua guida attenta e sempre presente in questi mesi, nonostante il periodo per lei speciale. Le devo la scoperta del mondo IS che ha dato il via alla mia esperienza professionale.

Ai dottorandi Avvaru Venkat Sai ed Emiliano Traini, per i preziosi consigli ed il sostegno offertomi durante i mesi di stesura della tesi.

Alla mia famiglia, il vero motore della mia vita. Senza di voi nulla avrei potuto e nessun obiettivo sarebbe stato raggiunto. La mia ambizione è rendervi costantemente orgogliosi di quanto avete fatto per me e la perseguirò per sempre, costi quel che costi.

A chi ho incrociato in questo cammino perché, consapevolmente o meno, ha arricchito questo entusiasmante percorso.

Ad maiora, semper!

## Abstract

La progressiva affermazione del digitale all'interno del Manufacturing ha segnato l'ultimo decennio fissando "Industria 4.0" come milestone fondamentale nella storia della produzione industriale. L'evoluzione dei sistemi produttivi ha coinvolto tutti gli attori in campo a partire dalle aziende, reali protagoniste di questa rivoluzione industriale, passando per i legislatori, autori di norme che favorissero l'impatto di questo cambiamento, fino ai consumatori, i maggiori beneficiari di questa svolta. Tra i principali fattori di successo di "Industria 4.0", la gestione della conoscenza aziendale ha assunto un ruolo cardine nelle nuove modalità di produzione. Non più considerato come stock di dati da gestire, il know-how produttivo è divenuto il primo driver per il processo di sviluppo di nuovi prodotti e per la creazione di sistemi di manutenzione predittiva. Alla base di una efficiente gestione della conoscenza è auspicabile avere dei solidi sistemi informativi i quali, interagendo tra di essi, contribuiscano ad ampliare il ventaglio di informazioni a disposizione dell'azienda.

Perciò, il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di analizzare i sistemi informativi aziendali che hanno avuto maggiore diffusione in seguito all'avvento di "Industria 4.0". In particolare, l'elaborato si focalizza sui sistemi Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Execution System (MES) e Product Lifecycle Management (PLM). Inizialmente si analizza la storia di ogni sistema informativo dagli albori della produzione industriale fino ad oggi, si riassumono le tipologie di dati gestite e le funzionalità offerte e si descrivono i principali player sul mercato. Di seguito si analizzano le integrazioni possibili tra i tre sistemi, quali dati siano oggetto di scambio e quali siano le modalità predilette di integrazione.

Per approfondire il tema dell'integrazione sono successivamente esposti dei casi di studio relativi a sistemi informativi integrati per la gestione della conoscenza aziendale. Nel primo caso si espone una partnership pubblico-privato nell'ambito del progetto "HOME" finanziato dalla Regione Piemonte. In questo progetto, il gruppo ricerca del DIGEP ha disegnato un Knowledge Based System (KBS) mediante l'ausilio del software open source "Aras PLM" per un'impresa fornitrice con approccio One-of-a-Kind Production. Il secondo caso, invece, tratta il processo di produzione di una ruota per bici su strada e l'implementazione di una soluzione integrata. Per lo sviluppo della soluzione è stato utilizzato il software ERP open source "Odoo" il quale, suddiviso in moduli speculari alle principali funzioni aziendali, favorisce i principali scambi informativi di un'integrazione ERP-MES-PLM. Il caso di studio si apre con una descrizione del processo produttivo scelto e dei mezzi per realizzarlo e successivamente si occupa dello sviluppo della soluzione a sistema.

Le riflessioni scaturite al termine di questo lavoro di tesi conducono ad una duplice conclusione. Da un lato, l'elaborato presentato conferma l'importanza di gestire la conoscenza in ambito produttivo tramite dei sistemi informativi sempre più integrati e flessibili, affinché si possa ottenere un significativo miglioramento delle performance in termini di produttività, riduzione degli errori e riduzione dei tempi di produzione. D'altro canto, questa forte affermazione della gestione dei dati in produzione apre a nuovi scenari in costante evoluzione. Infatti, sebbene l'integrazione ERP-PLM-MES non sia ancora consolidata in letteratura o nella casistica industriale, l'implementazione di soluzioni Knowledge Based si presenta come lo scenario predominante verso cui muoveranno le aziende di produzione di tutto il mondo.

# Indice

Introduzione .....	8
<b>1. ERP, MES e PLM: storia, modello informativo e analisi di mercato .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Enterprise Resources Planning – ERP .....</b>	<b>8</b>
1.1.1 Storia dei sistemi ERP .....	8
1.1.2 Funzionalità ed informazioni gestite nei sistemi ERP .....	11
1.1.3 Migliori produttori di sistemi ERP .....	14
<b>1.2 Manufacturing Execution System – MES .....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Storia dei sistemi MES .....	15
1.2.2 Funzionalità ed informazioni gestite nei sistemi MES .....	16
1.2.3 Maggiori produttori di sistemi MES .....	19
<b>1.3 Product Lifecycle Management – PLM .....</b>	<b>20</b>
1.3.1 Storia dei sistemi PLM .....	20
1.3.2 Funzionalità ed informazioni gestite dai sistemi PLM .....	21
1.3.3 Maggiori produttori di sistemi PLM .....	24
<b>2. Integrazione tra sistemi informativi aziendali .....</b>	<b>26</b>
2.1 Integrazione tra sistemi PLM ed ERP .....	26
2.2 Integrazione tra sistemi ERP e MES .....	33
2.3 Integrazione tra sistemi PLM e MES .....	37
2.4 Integrazione tra sistemi ERP, PLM e MES .....	41
<b>3. Gestione del know-how produttivo nel caso Eurodies: descrizione e analisi .....</b>	<b>43</b>
3.1 Il progetto HOME .....	43
3.2 Eurodies, overview aziendale .....	43
3.3 Knowledge Based System framework: ricerca ed applicazione .....	45
3.4 Knowledge Based System framework: implementazione .....	47
3.5 Knowledge Based System framework: popolamento del database .....	51
3.6 Conclusioni del caso Eurodies .....	58
<b>4. Implementazione dell'integrazione ERP, PLM e MES in Odoo .....</b>	<b>60</b>
4.1 Descrizione del processo produttivo .....	60
4.2 Distinta base e conteggio componenti .....	60
4.3 Centri di lavoro e cicli di produzione .....	61
4.4 Odoo .....	63

<b>4.5 Docker</b> .....	64
<b>4.6 Modulo “Produzione”</b> .....	66
<b>4.6.1 Prodotti</b> .....	66
<b>4.6.2 Distinte base</b> .....	67
<b>4.6.3 Centri di lavoro</b> .....	68
<b>4.6.4 Cicli di operazioni</b> .....	69
<b>4.6.5 Ordini di produzione</b> .....	70
<b>4.7 Modulo “Acquisti”</b> .....	72
<b>4.8 Modulo “Gestione del ciclo di vita del prodotto”</b> .....	73
<b>5. Conclusioni</b> .....	77
<b>Bibliografia</b> .....	79

## Figure

Figura 1 - Evoluzione storica ERP dal 1960 al 2000 (Katuu, 2020) .....	9
Figura 2 - Architettura software di un ERP degli anni 2000 (Katuu, 2020).....	10
Figura 3 - Struttura delle informazioni contenute in un software ERP (Odd Jøran Sagegg, 2019) .....	12
Figura 4 - Aree funzionali coinvolte in un sistema informativo MES (Kletti, 2007).....	15
Figura 5 - Struttura funzionale di un sistema informativo MES (Kletti, 2007).....	18
Figura 6 - Framework di un MES real time (Zhong, et al., 2011).....	19
Figura 7 - Le cinque fasi del ciclo vita di un prodotto (Stark, 2018).....	21
Figura 8 - La griglia del Product Lifecycle Management (Stark, 2018).....	23
Figura 9 - Principali tipologie di dati gestite da un software PLM (Stark, 2018).....	23
Figura 10 - Principali player nel settore PLM software (Compare PLM softwares, s.d.) .....	25
Figura 11 - Categorie di informazioni gestite nell'interfaccia PLM-ERP (CIMdata, 2005) ...	27
Figura 12 - Metodi per l'integrazione PLM-ERP (CIMdata, 2005).....	29
Figura 13 - Integrazione point to point (B.N. Prashanth, 2017) .....	30
Figura 14 - Integrazione client/server (B.N. Prashanth, 2017).....	31
Figura 15 - Integrazione mediante EAI (B.N. Prashanth, 2017) .....	31
Figura 16 - Livelli gerarchia funzionale (Ansi/Isa-95 - Part 1, s.d.).....	34
Figura 17 - Flussi informativi intrasistemic ed intersistemic .....	35
Figura 18 - Categorie di informazioni gestite nell'interfaccia tra ERP e MES (Boiko O., 2019) .....	36
Figura 19 - Diagramma flusso informativo PLM-MES (A. Ben Khedher, 2011).....	38
Figura 20 - Diagramma dell'architettura dei servizi Web (A. Ben Khedher, 2011) .....	40
Figura 21 - Modelli informativo per integrazione ERP, PLM e MES (A. Ben Khedher, 2011) .....	42
Figura 22 - Logo progetto HOME (IN PROGRESS, 2021) .....	43
Figura 23 - Logo EURODIES (IN PROGRESS, 2021) .....	44
Figura 24 - KBS framework (IN PROGRESS, 2021) .....	45
Figura 25 - Piramide di Anthony (Wikipedia).....	46
Figura 26 - KBS modello entità-relazione (G. Bruno, 2021) .....	48
Figura 27 - Scheda anagrafica commessa (E. Traini, 2021) .....	52
Figura 28 - Scheda anagrafica pezzi (E. Traini, 2021) .....	53
Figura 29 - Scheda anagrafica attrezzatura (E. Traini, 2021) .....	54
Figura 30 - Scheda risorse (E. Traini, 2021).....	55
Figura 31 - Scheda ciclo (E. Traini, 2021).....	56
Figura 32 - Menù sequenza operazioni (E. Traini, 2021) .....	57
Figura 33 - Esempio ciclo completo (E. Traini, 2021) .....	58
Figura 34 - Distinta base di una ruota per bici da strada .....	61
Figura 35 - Logo Odoo .....	63
Figura 36 - Logo Docker.....	64
Figura 37 - Download Docker da sito web .....	65
Figura 38 - Immagini sul disco Docker .....	66
Figura 39 - Container in Docker .....	66
Figura 40 - View "Prodotti" in Odoo .....	67
Figura 41 - Creazione prodotto in Odoo .....	67
Figura 42 - View "Distinte base" in Odoo .....	68

Figura 43 - Creazione distinta base in Odoo.....	68
Figura 44 - View "Centri di lavoro" in Odoo .....	69
Figura 45 - Creazione centro di lavoro in Odoo .....	69
Figura 46 - View "Operazioni" in Odoo .....	70
Figura 47 - Creazione operazione in Odoo .....	70
Figura 48 - Creazione ordine di produzione in Odoo .....	71
Figura 49 - Riepilogo "Ordini di produzione" in Odoo .....	71
Figura 50 - Reportistica "Ordini di lavoro" in Odoo .....	72
Figura 51 - Creazione ordine d'acquisto in Odoo .....	72
Figura 52 - View "Regole di riordino" in Odoo .....	73
Figura 53 - Riepilogo "Ordini d'acquisto" in Odoo .....	73
Figura 54 - View "Distinte base" modulo PLM in Odoo.....	74
Figura 55 - Inserimento file ECO/file aggiuntivi in Odoo.....	74
Figura 56 - Creazione ordine di modifica tecnica in Odoo.....	75
Figura 57 - Struttura e costo Diba in modulo PLM Odoo .....	75
Figura 58 - Esplosione BOM in modulo PLM Odoo.....	76

## **Tabelle**

Tabella 1 - Conteggio parti e componenti distinta base.....	61
Tabella 2 - Cicli di produzione .....	62
Tabella 3 - Centri di lavoro.....	62

## **Introduzione**

Il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di analizzare i principali sistemi informativi aziendali, le loro integrazioni ed i vantaggi che esse apportano alle aziende che le adottano. In particolare, la tesi si focalizza sui sistemi ERP, PLM e MES e sulla possibilità di una integrazione dei tre al fine di costruire un sistema integrato di conoscenza della produzione aziendale. L'elaborato è suddiviso in quattro capitoli così strutturati: il primo capitolo inquadra i tre sistemi singolarmente ripercorrendo l'evoluzione storica di ognuno e analizzando le informazioni gestite ed i principali vendors sul mercato; il secondo capitolo studia l'integrazione tra i diversi sistemi focalizzandosi sui differenti metodi ed approcci; il terzo capitolo tratta un caso di studio reale e ne studia la soluzione proposta; il quarto capitolo descrive nel dettaglio l'implementazione della soluzione di un caso di studio semplificato.

## **1. ERP, MES e PLM: storia, modello informativo e analisi di mercato**

Per comprendere in maniera complessiva l'importanza delle integrazioni tra sistemi informativi aziendali per l'ottimizzazione delle performance aziendali, è necessario ricostruire storicamente l'evoluzione di ogni singolo sistema. In questo capitolo, oltre ad un excursus storico, sono analizzate le strutture dei dati e come essi vengono gestiti all'interno di ognuno dei tre sistemi oggetto del presente lavoro di tesi.

### **1.1 Enterprise Resources Planning – ERP**

I sistemi informativi ERP rappresentano il cardine della gestione informatizzata della conoscenza aziendale ed è grazie ad essi che si sono sviluppate diverse piattaforme software a supporto della produzione industriale. I sistemi ERP sono stati i precursori degli attuali software per la gestione integrata del business.

#### **1.1.1 Storia dei sistemi ERP**

Secondo (Katu, 2020) il termine "ERP" (Enterprise Resource Planning) è stato coniato nel 1990 da Gartner per descrivere una nuova generazione di sistemi di pianificazione dei fabbisogni di materiali (fino ad allora noti come MRP). Secondo alcune ipotesi, il precursore degli ERP e degli MRP risalirebbe al periodo tra la fine degli anni '40 e la metà degli anni '50, quando una "società" britannica, Lyons Teashop, usò le prime forme di computer per formulare le richieste di materiali, collezionare ordini e pianificare la distribuzione delle merci. Tuttavia, la maggior parte dei commentatori affermano che i predecessori apparenti degli ERP erano sistemi degli anni '60 che automatizzavano l'identificazione dei fabbisogni generati dall'inventario monitorando l'utilizzo di articoli noti come "pacchetti" di controllo dell'inventario (Inventory Control). Gli Inventory Control erano sistemi legacy basati su linguaggi di programmazione, tra cui Cobol e Fortran, sui computer mainframe. Questi sistemi si limitavano all'esecuzione di processi di elaborazione di lotti e transazioni ed erano altamente costosi. Negli anni '70 sono stati sviluppati nuovi sistemi chiamati Manufacturing Resources Planning (MRP): questi, oltre ad essere molto più completi, erano incentrati sull'integrazione e la pianificazione del prodotto in un programma di produzione. Per comprendere quanto l'avvento dei sistemi MRP sia stato un punto di svolta epocale, basti pensare che SAP, leader globale dei sistemi ERP, ha sviluppato il suo primo sistema negli anni '70. Gli anni '80 hanno visto lo sviluppo della seconda generazione di quei sistemi attualmente noti come Manufacturing Resources Planning II (MRP II), che erano concentrati sull'ottimizzazione dei processi di

produzione mediante la sincronizzazione di requisiti di produzione e fabbisogni di materiali. Un altro marchio ERP globale, People-Soft, è stato sviluppato in quel periodo prima di essere acquistato nel 2005 da un altro leader globale ERP, Oracle. Anche se alcuni ERP sono apparsi già alla fine degli anni '80, i sistemi maggiormente significativi per il coordinamento e l'integrazione delle risorse a livello aziendale sono stati creati negli anni '90. Gli ERP sviluppati e implementati negli anni '90 potevano essere eseguiti su più piattaforme ed integrarsi in diversi processi aziendali, tra cui la pianificazione della produzione, la pianificazione finanziaria, la gestione dei progetti, l'approvvigionamento, i trasporti e il marketing. Questo boom dell'ERP è stato alimentato dall'aumento delle banche dati relazionali e dall'architettura client/server. Durante gli anni '90 i fornitori ERP hanno costruito o esteso le loro funzionalità in settori quali CRM, SCM e gestione del magazzino. Questo ha portato ad una nuova fase dell'evoluzione culminata con l'avvento dei sistemi "Extended ERP" come illustrato nella Figura 1.



Figura 1 - Evoluzione storica ERP dal 1960 al 2000 (Katu, 2020)

Le versioni degli ERP prodotte negli anni 2000 sono rappresentate da un sistema intricato con una architettura a tre livelli: livello di presentazione frontale, livello di applicazione centrale e livello di database come illustrato nella Figura 2.

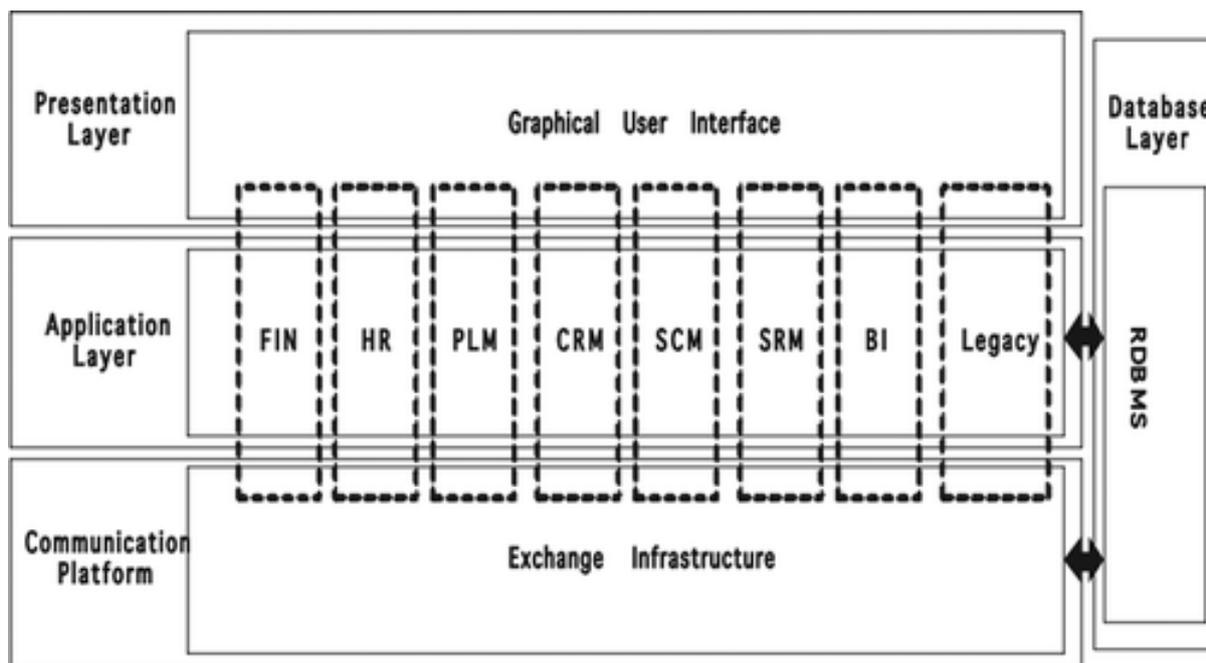


Figura 2 - Architettura software di un ERP degli anni 2000 (Katu, 2020)

Inoltre, negli anni 2000 il mondo dell'informatica ha visto l'avvento del cloud computing. Questo, è stato definito dal National Institute of Standards and Technology degli Stati Uniti (NIST) come un modello per abilitare, tramite la rete, l'accesso diffuso, agevole e su richiesta ad un insieme condiviso e configurabile di risorse di elaborazione (ad es. server, storage, applicazioni e servizi). Il NIST ha inizialmente identificato tre modelli di servizi cloud:

1. “Software as a service” (SaaS): fornisce al consumatore la facoltà di utilizzare le applicazioni del fornitore (mediante un'interfaccia leggera) su un'infrastruttura cloud sottostante senza dover gestirla.
2. “Platform as a service” (PaaS): fornisce al consumatore la facoltà di distribuire sull'infrastruttura cloud applicazioni SaaS create in proprio oppure acquisite da terzi.
3. “Infrastructure as a service” (IaaS): fornisce al consumatore la facoltà di acquisire elaborazione, memoria, rete e altre risorse fondamentali di calcolo, inclusi sistemi operativi e applicazioni.

Dunque, il mercato ERP è stato sottoposto ad un cambio generazionale guidato dall'avvento del cloud computing. Gli ERP, basati su cloud sono emersi a metà degli anni 2000 grazie ai vantaggi percepiti dall'abbandono della gestione di ERP in sede, in particolare nella gestione di aggiornamenti e processi di manutenzione. La maggior parte degli ERP cloud sono forniti al cliente come SaaS, sebbene un buon numero di PaaS si siano diffusi. Le stime riportate in (Katu, 2020) dicono che entro il 2021 quasi il 32% delle grandi imprese con sistemi ERP in sostituzione passerà dal modello di servizio in sede al modello di servizio SaaS.

Attorno alla metà del decennio scorso, è stato coniato il nuovo nome di “ERP postmoderni” per descrivere la nuova generazione di sistemi ERP visti come più agili e rivolti verso l'esterno.

Un “ERP postmoderno” è descritto come strategia tecnologica che automatizza e connette le funzionalità amministrative di business e quelle operative (ad esempio area finance, risorse umane, acquisti, produzione e distribuzione) applicando diversi livelli d’integrazione. La modulazione di questi livelli consente infatti di bilanciare i vantaggi di un software gestionale completo, con l’agilità e la flessibilità derivante dal fatto di estendere il software ERP alle funzioni amministrative, e di integrarlo con le aree operative, come la gestione degli ordini, la produzione e la logistica, in modo da ottimizzare l’efficienza operativa. Inoltre, Secondo (Goldston, 2020), negli ultimi anni c’è stato un altro fattore evolutivo oltre al cloud computing. Infatti, nel tentativo di ridurre gli sprechi all’interno delle fasi produttive, le imprese hanno intrapreso iniziative Lean che sono state integrate anche nelle applicazioni ERP. Nel tentativo di sviluppare uno strumento per tracciare i processi sostenibili, i ricercatori hanno iniziato a chiamare queste nuove applicazioni “Sustainable Enterprise Resource Planning” (S-ERP). Esse aprono una nuova fase evolutiva del business che sarà incentrata sul comprendere come gli S-ERP possano impattare positivamente le performance di un’organizzazione.

### **1.1.2 Funzionalità ed informazioni gestite nei sistemi ERP**

Secondo (Odd Jøran Sagegg, 2019), il sistema ERP non è tanto da intendersi come un sistema di pianificazione delle risorse (come il nome lascerebbe intendere) quanto piuttosto un'applicazione con lo scopo principale di integrare le informazioni e i processi aziendali tra aree e reparti differenti di un'azienda. Si può dire che un sistema ERP sia costituito da un database con una serie di applicazioni precostruite che collaborano per supportare i processi aziendali principali all'interno di un'impresa. Il sistema ERP è di solito considerato come la spina dorsale del portafoglio di software aziendali di un'azienda e di solito interagisce con vari altri software aziendali per servire gli utenti e altri attori. L’ERP e le relative applicazioni costituiscono una soluzione software completa al servizio delle varie parti interessate di un'azienda. Un esempio di soluzione ERP completa è illustrato nella Figura 3:

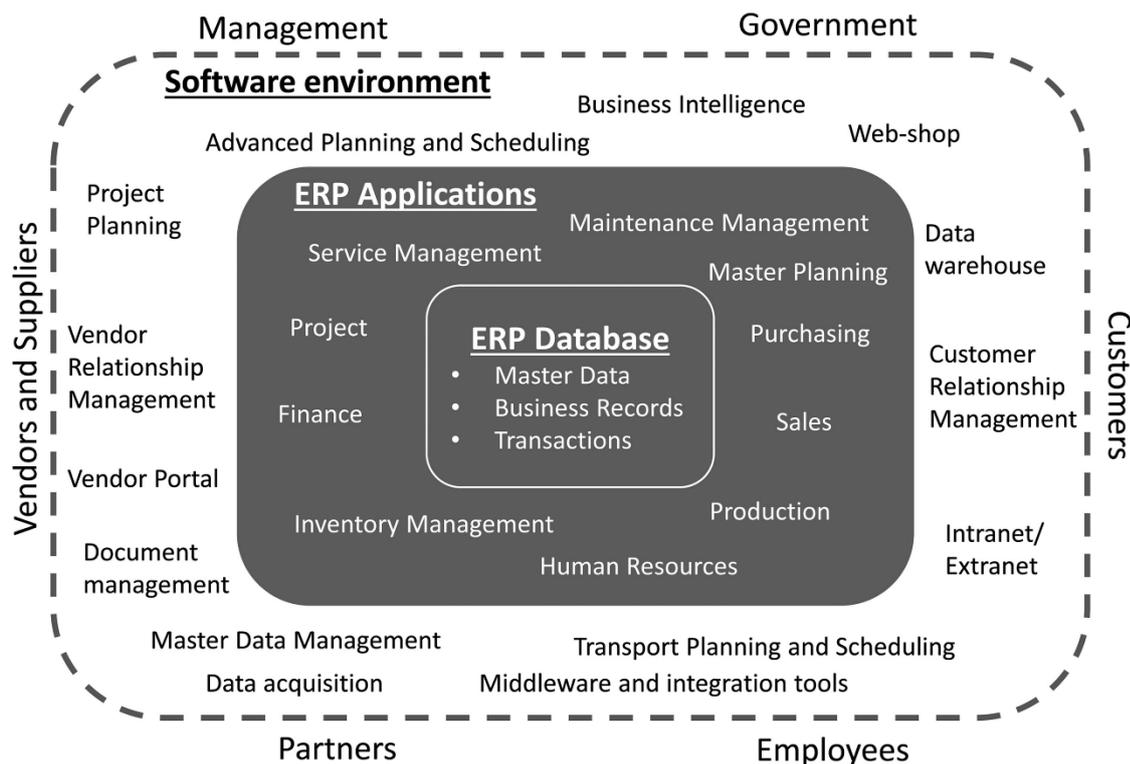


Figura 3 - Struttura delle informazioni contenute in un software ERP (Odd Jøran Sagegg, 2019)

Il grande riquadro rappresenta il sistema ERP costituito da applicazioni ERP e dal relativo database (raffigurato con il piccolo quadrato più scuro al centro). Un database può essere descritto come un componente software per l'archiviazione strutturata dei dati. Il database ERP è in genere organizzato in tabelle che sono ancora costituite da campi di dati ordinati in colonne e righe. Ad esempio, una tabella contenente informazioni sui clienti può contenere colonne come il numero cliente, il nome del cliente, l'indirizzo di consegna, i tassi di credito e così via. Ogni riga della tabella contiene un numero di campi che descrivono le rispettive informazioni per ogni cliente. I più grandi database ERP possono essere costituiti da più di centinaia di migliaia di tabelle, ognuna delle quali contiene informazioni di scarto su clienti, transazioni di magazzino, accordi sui prezzi, articoli, ordini di acquisto, dipendenti, contabilità, stati delle macchine, termini di consegna, orari di trasporto, ecc. Gli utenti accedono ai dati nel database comune tramite applicazioni differenti contenute nel sistema ERP. Un sistema ERP include molte applicazioni differenti che leggono, scrivono, visualizzano e gestiscono i dati nel database. Le applicazioni precostruite utilizzano il database ERP per supportare le diverse aree funzionali all'interno dell'azienda e aiutare gli utenti a inserire ed estrarre i dati dal database per utilizzarli nel loro lavoro quotidiano e fornire una overview dello stato dell'azienda. Le applicazioni del sistema ERP lavorano verso lo stesso database e, quindi, forniscono ai propri utenti l'accesso immediato agli stessi dati in tutta l'azienda. Le varie applicazioni sono spesso raggruppate in moduli in base alla parte del business che supportano. In genere, ci sono moduli per contabilità, vendite, gestione dei progetti, produzione, ecc, in cui l'utente può facilmente trovare le applicazioni e le funzioni di cui ha bisogno per eseguire attività connesse al proprio ruolo in azienda. Le aziende spesso collegano altre applicazioni al sistema ERP per la lettura, scrittura, visualizzazione ed elaborazione dei dati. Questi pacchetti software hanno spesso database propri che sono integrati con il database dell'ERP per estendere le funzionalità della

soluzione software complessiva. Altri pacchetti software possono includere strumenti per la pianificazione e la schedulazione avanzate (APS), la gestione delle relazioni con i clienti (CRM) o la gestione dei master data (MDM), le piattaforme di commercio via Internet e tutti i tipi di applicazioni software che potrebbero richiedere l'interazione con i dati delle transazioni aziendali presenti nel database ERP. L'ERP e le relative applicazioni formano una "soluzione ERP" completa che supporta le parti interessate.

In ( (Odd Jøran Sagegg, 2019) si afferma che i dati memorizzati nel database ERP possono essere raggruppati approssimativamente in tre categorie:

1- Master data: dati che contengono informazioni statiche di entità business-critical. I master data in un database ERP possono assumere molte forme, come ad esempio il codice prodotto o le descrizioni dei prodotti o i parametri. I master data vengono impostati una sola volta e utilizzati più volte quando gli utenti eseguono varie attività nel sistema. Esempi di master data sono le informazioni e i parametri sui fornitori, ad esempio indirizzo, listini prezzi e termini di consegna, o informazioni sulle regole fiscali, calendari di reporting e così via.

2- Business record: informazioni immesse da un utente per eseguire una determinata funzione o processo aziendale. I record aziendali più riconoscibili in un sistema ERP sono i diversi tipi di ordini, ma possono assumere anche altre forme. Esempi di record aziendali possono essere un ordine cliente, un elenco di conteggio delle scorte o un ordine di produzione.

3- System-generated transactions: transazioni generate automaticamente dall'applicazione software quando gli utenti lavorano con i record aziendali. I sistemi ERP generano solitamente due tipi di transazioni: le "transazioni di magazzino" che sono utilizzate per seguire e documentare tutti gli eventi su un prodotto disponibile in magazzino; le "transazioni finanziarie" che aggiornano e documentano tutti gli eventi nelle parti contabili del sistema. Ad esempio, un ordine cliente può generare sia transazioni di magazzino che transazioni finanziarie quando gli articoli venduti vengono spediti al cliente, poiché le scorte fisiche disponibili dell'articolo in magazzino si riducono e contemporaneamente il registro contabile viene aggiornato con i ricavi differiti.

Il sistema ERP gestisce e utilizza questi dati per supportare e integrare le funzioni differenti all'interno di un'azienda. Il sistema ERP utilizza i master data durante la creazione di record aziendali e quando vengono generate transazioni vengono applicati sia i master data che le informazioni dei record aziendali. Il sistema ERP integra i dati aziendali senza soluzione di continuità tra tutte le parti del sistema attraverso il suo database comune. Questo crea un pacchetto software integrato in cui tutte le applicazioni sono collegate tra loro e non separate o suddivise in parti specifiche. Ad esempio, una semplice vendita di un articolo in un'applicazione di vendita dell'ERP genererà più transazioni contabili e di magazzino che influenzano a loro volta il reporting fiscale, la transazione bancaria, i livelli di magazzino, i piani di rifornimento, i processi di spedizione, i movimenti warehouse, i piani della catena di fornitura, il reporting di gestione e qualsiasi altra modifica diretta e indiretta del sistema e dell'organizzazione.

La maggior parte dei fornitori di software ERP sceglie di raggruppare le applicazioni in moduli per semplificarne la denominazione. Questi moduli sono più come un elenco di funzioni simili in un menu che la divisione definita di codice del software. Ad esempio, tutte le applicazioni connesse a un ruolo di vendita possono essere messe in un menu del modulo di vendita, consentendo al personale di vendita di accedere ad un menu comune in cui tutti possono utilizzare le funzioni necessarie nel lavoro quotidiano, ad esempio l'aggiunta di clienti, 13

l'immissione di ordini cliente, la stampa di report delle statistiche di vendita, la distribuzione delle consegne ai clienti e così via. Il nome di questi moduli, così come le funzioni e le applicazioni che detengono, possono variare da sistema a sistema. Il contenuto e la denominazione dei moduli possono anche essere modificati dagli sviluppatori tra versioni differenti e aggiornamenti del software. Tuttavia, la maggior parte dei sistemi ERP ha raggruppato l'applicazione in moduli che riflettono i reparti principali delle aziende nei settori di destinazione. Ad esempio, un sistema ERP utilizzato per le imprese di produzione o logistiche può avere moduli per supportare aree come contabilità, vendite, produzione, gestione dei progetti, acquisti, risorse umane e così via.

### **1.1.3 Migliori produttori di sistemi ERP**

Analizzando quanto riportato in (Best ERP software vendor companies comparison, 2020) è possibile notare come un numero sempre maggiore di aziende stia entrando nel mercato di soluzioni software ERP. In questa ottica di grande espansione, molte imprese stanno scegliendo di internalizzare la creazione e gestione di soluzioni ERP che possano essere pensate ed implementate su misura dell'impresa.

Secondo (Top 10 ERP vendors in 2020, 2020), tra i maggiori fornitori di software ERP spiccano:

- SAP, con sede a Walldorf in Germania, tra le prime aziende sul mercato e leader nel settore delle grandi imprese. Sebbene gli user ritengano il processo di implementazione delle soluzioni SAP molto lungo, esse sono spesso ben adattate a qualsivoglia organizzazione. SAP S/4 HANA (High-performance Analytics Appliance) utilizza una tecnologia relazionale e in memoria e agisce come intermediario tra il software che richiede i dati e i database stessi in modo da liberare risorse IT. SAP ha anche soluzioni cloud come Ariba e Hybris. Inoltre, le soluzioni Business One & SAP Business ByDesign, sono ideali per le piccole e medie imprese fornendo funzionalità complete per i dati finanziari, le vendite, le operations e le relazioni con i clienti.

- Oracle, che è un nome di primo piano per le grandi aziende nel settore ERP è riuscita, soprattutto a seguito dell'acquisizione di NetSuite, a offrire una piattaforma in grado di fornire funzionalità aggiuntive, sfruttando gli strumenti SaaS di NetSuite. Oracle fornisce una suite integrata e completa di dati finanziari, approvvigionamento, gestione dei progetti, gestione del rischio e gestione delle prestazioni aziendali alimentata anche dall'intelligenza artificiale. Secondo gli user Oracle ERP è leader per le suite di gestione finanziaria di base del cloud per grandi imprese, medie imprese e imprese globali. In particolare, Netsuite eccelle in aziende in rapida crescita e di medie dimensioni e fornisce flussi di lavoro pre-configurati, dashboard, ruoli funzionali e KPI, consentendo un'implementazione rapida.

- Microsoft, consigliata soprattutto per quelle aziende che utilizzano già la tecnologia. Microsoft offre prodotti affidabili per organizzazioni di piccole e medie dimensioni e sta diventando una forza crescente, guardando anche alle organizzazioni più grandi. Il prodotto di punta è Microsoft Dynamics Nav.

## 1.2 Manufacturing Execution System – MES

Il Manufacturing Execution System è un software che è stato sviluppato per assistere l'esecuzione della produzione, servendosi del concetto di gestione online in tempo reale delle attività. I sistemi MES colmano il divario tra il sistema di pianificazione (come l'ERP) e i sistemi di controllo (sensori, PLC, ecc.) utilizzando le informazioni di produzione (come attrezzature, risorse e ordini) per supportarne i processi. Come qualsiasi tool di sistemi informativi aziendali, anche MES si è evoluto con il tempo per integrare diverse estensioni ed eseguire varie attività di produzione sfruttando i progressi compiuti dalla tecnologia informatica.

### 1.2.1 Storia dei sistemi MES

Le origini del concetto di MES si trovano nei sistemi di raccolta dei dati dei primi anni '70. Le varie discipline della gestione aziendale come la pianificazione della produzione, la gestione del personale e della qualità, erano dotate di sistemi dedicati di raccolta dei dati (ad esempio fogli di calcolo o database basilari), il che rendeva difficile la manutenzione del software e il consolidamento dei dati. Tale situazione è illustrata nel diagramma in Figura 4: le aree funzionali che erano quasi reciprocamente indipendenti disponevano ognuna di un particolare sistema di raccolta dei dati.

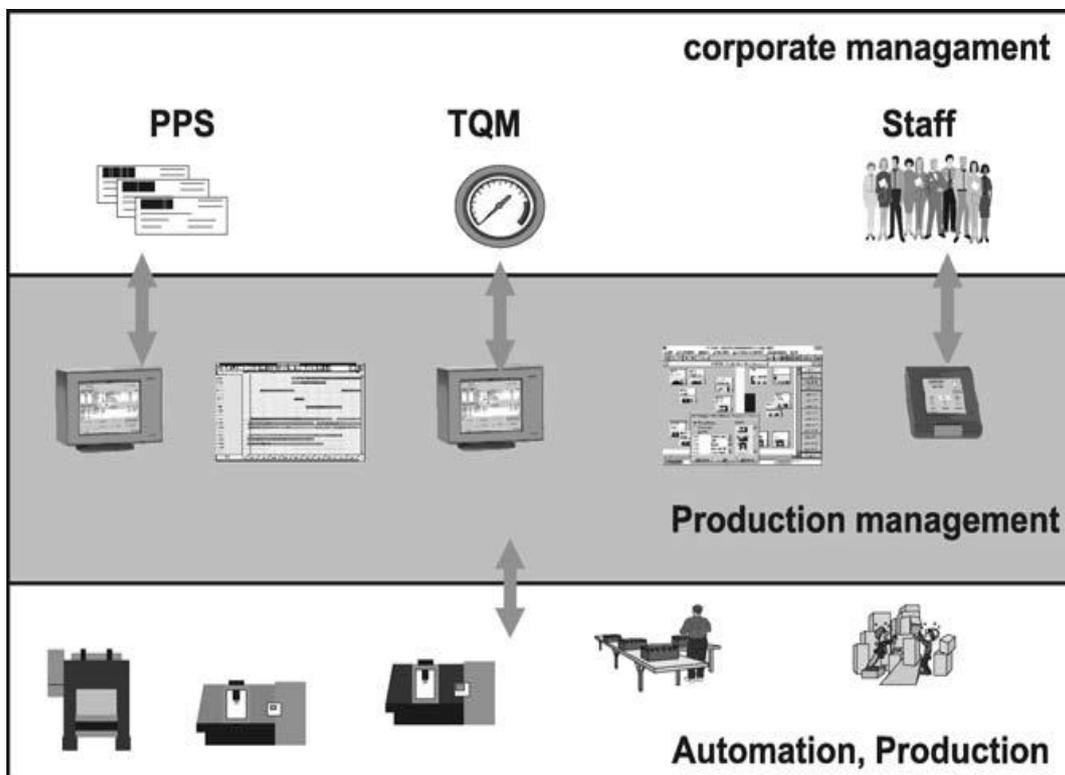


Figura 4 - Aree funzionali coinvolte in un sistema informativo MES (Kletti, 2007)

Secondo (Kletti, 2007), con l'ascesa del concetto di Computer Integrated Manufacturing (CIM), avvenuta intorno alla seconda metà degli anni '70' in seguito al libro “*Computer Integrated Manufacturing*” del Dr. Joseph Harrington, si è iniziato a riprodurre le interdipendenze tra queste aree di attività anche nei sistemi IT. La produzione, il personale e la qualità non erano più visti come completamente indipendenti ed i crossover di dati da una funzione all'altra assumevano un ruolo sempre più rilevante. Nonostante ciò, seppur corretto in linea di principio, questo approccio non è emerso come una vera e propria disciplina IT. L'uso improprio del termine da parte di fornitori di sistemi più piccoli ha ridotto fortemente il potenziale di standardizzazione del CIM come disciplina IT di risoluzione dei problemi per l'ambiente produttivo. Dall'inizio degli anni '90 fino alla metà, i produttori di sistemi informativi hanno iniziato ad aggiornare i propri sistemi specializzati (Product Data Acquisition - PDA, Computer Aided Quality assurance - CAQ, Direct Numerical Control - DNC e così via) aggiungendo in alcuni casi delle funzionalità dalle aree aziendali associate. Con un piccolo numero di combinazioni di sistemi di questo tipo era già possibile mettere insieme un sistema di raccolta dati (e talvolta una valutazione dei dati) per molte aree funzionali di un'azienda manifatturiera. I componenti del sistema, tuttavia, erano indipendenti l'uno dall'altro e la loro sincronizzazione richiedeva un grande lavoro di interfacciamento. Nel corso del tempo si sono formati tre gruppi di sistemi di raccolta e valutazione dei dati dai quali sono emerse combinazioni sistemi, alcuni dei quali performano diverse tasks. Le funzionalità che descrivono l'ambito funzionale attuale del MES sono analoghe a quelle realizzate dalle combinazioni di sistemi suddette.

Con l'avvento di Industria 4.0 le tecnologie produttive si servono di strumenti quali l'Internet of Things (IoT), il mobile computing, l'archiviazione cloud, la disponibilità di software e servizi, i big data, l'analisi avanzata, l'apprendimento automatico, la robotica e la realtà virtuale e aumentata (VR e AR). Tuttavia, proprio come i nervi, gli arti e la testa di una persona, queste nuove tecnologie hanno bisogno di una spina dorsale che li colleghi e li coordini. L'unico modo per garantire la qualità e la produttività, gestire i costi e avere date di consegna affidabili è con un sistema MES.

### **1.2.2 Funzionalità ed informazioni gestite nei sistemi MES**

Il tema del MES è stato ripreso da diverse istituzioni che tentano di proteggere il termine MES dalla banalizzazione. Vari tipi di implementazioni di soluzioni MES possono essere trovati nel mondo manifatturiero ma, nell'attuale contesto evolutivo, due sono i più frequenti: MES per l'industria di processo e MES per l'industria discreta. Nel primo caso, i sistemi di controllo delle macchine e degli impianti formano una parte molto importante della soluzione. Nel secondo caso, il software MES è più un sistema di informazione online, un sistema di feedback e controllo per la produzione.

Tra i vari enti che hanno provato a dare concretezza al significato di MES, MESA (Manufacturing Execution Solutions Association) è stata la prima organizzazione ad adottare questo concetto ed è probabilmente la più esperta a riferire su di esso. L'approccio di MESA è molto pragmatico e verte, come spiegato in (MESA Model, 1997), attorno a dodici gruppi di funzioni necessarie per un supporto efficace alla gestione della produzione. Questi gruppi di funzioni sono:

- Pianificazione dettagliata (pianificazione operazioni/programmazione dettagliata): il sistema MES aiuta a trovare la migliore sequenza di attività che consenta di ottimizzare i tempi di produzione riducendo il tempo di setup e di guasto.
- Gestione del processo: i dati forniti e immagazzinati dal MES potrebbero supportare le azioni decisionali dei manager.
- Gestione dei documenti (o controllo dei documenti): il MES assicura il mantenimento dello storico di documentazione (registrando tutte le informazioni acquisite nel tempo).
- Acquisizione dati: con il MES i dati del processo produttivo sono rilevati utilizzando sensori manuali e automatici.
- Gestione della qualità: il MES tiene traccia dei dati delle linee produttive e controlla la qualità degli output consentendo di intercettare eventuali errori produttivi (pezzi fuori tolleranze, difetti, ecc).
- Dispatching dei prodotti: il sistema informativo MES aiuta a regolare il flusso produttivo in base agli avvenimenti all'interno dell'impianto.
- Gestione della manutenzione: il MES consente con i suoi tools di pianificare operazioni di manutenzione predittiva assicurandone l'affidabilità in base alle attività pianificate.
- Monitoraggio e genealogia del prodotto: mediante l'utilizzo di soluzioni MES si può ottenere per ogni prodotto uno storico per tracciarne il percorso genealogico (materie prime, numero di lotto, quali risorse hanno lavorato su di esso, ecc.)
- Analisi delle performance: mediante la dashboard degli indicatori, il sistema MES consente di tenere sotto controllo l'impianto e di verificare lo stato di avanzamento delle attività intraprese.
- Allocazione e stato delle risorse: il MES coordina e controlla lo stato delle risorse utilizzate nel processo (staff, macchine, tools, ecc.)

Tutti questi gruppi di funzioni (o combinazioni ragionevoli di essi) possono formare una soluzione MES globale. Come riportato da (Kletti, 2007), alla conferenza MESA del 2004 tenutasi nei pressi di Chicago è stato coniato il termine C-MES, ovvero MES collaborativo. In questa accezione MES non solo funge da intermediario tra automazione e gestione aziendale, ma è anche visto come fulcro delle informazioni. Secondo questo approccio, anche le funzionalità aziendali, tecniche e logistiche sono solo utenti che accedono alla piattaforma MES. In un'azienda manifatturiera, però, la produzione è tuttavia l'elemento centrale e deve quindi essere considerato come raggruppare tutti servizi intorno a questo importante aspetto.

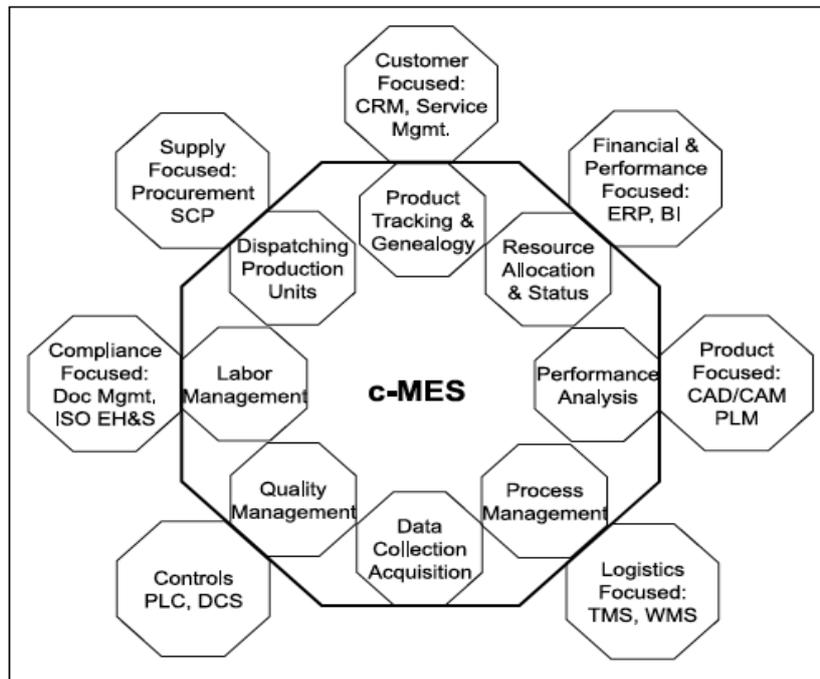


Figura 5 - Struttura funzionale di un sistema informativo MES (Kletti, 2007)

Come affermato in (Zhong, et al., 2011), il software MES realizza le funzioni precedentemente descritte mediante un framework a quattro livelli: il livello shop-floor, il livello MES, il livello di interfaccia e il livello decisionale. Il livello shop-floor include vari dispositivi hardware (ad es. lettori, tag, dispositivi di comunicazione ecc.) che forniscono informazioni dettagliate in termini di distribuzione dei dispositivi RFID, distribuzione di rete, la piattaforma hardware e il suo meccanismo di lavoro. Il livello MES contiene tre servizi core: il servizio di comunicazione (che gestisce tutti i dati ottenuti dallo shop-floor), il servizio di pianificazione e programmazione (utile alla schedulazione delle attività svolte nello shop-floor) ed il servizio di assistenza e visualizzazione (fondamentale nel monitoraggio del processo produttivo a 360 gradi). Il livello di interfaccia è un servizio di interfaccia basato sul concetto di middleware software con l'obiettivo di facilitare l'interazione comunicativa in tempo reale con altri sistemi informativi posti a livello decisionale. Tale livello, infine, comprende sistemi informativi aziendali come ERP, PDM (Product Data Management) e CAPP (Computer-aided Process Planning), che sono utili per prendere decisioni critiche come la pianificazione e la programmazione del processo produttivo.

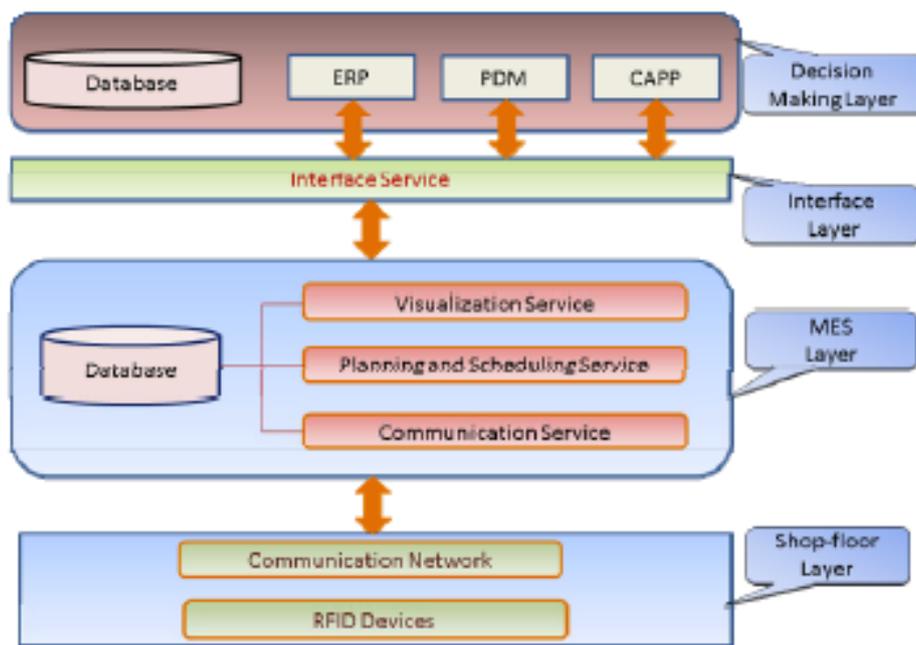


Figura 6 - Framework di un MES real time (Zhong, et al., 2011)

All'interno del framework del software MES, la direzione del flusso informativo dipende dalla finalità per cui è stato attivato il flusso stesso. Sono distinguibili due flussi in particolare: top-down e bottom-up. Il sistema può dover affrontare un flusso di dati top-down: i requisiti e le necessità forniti dal livello decisionale devono essere trasformati in una pianificazione ottimale della sequenza di attività nello shop-floor per il raggiungimento di tali obiettivi. Questa sequenza deve essere identificata sfruttando al meglio le risorse disponibili (come personale, macchine, materiali, inventario) e tenendo conto dei vincoli del processo, come ad esempio i tempi di elaborazione e di installazione, e la capacità delle singole workstation. Al contrario, il flusso di dati bottom-up, prevede che dati relativi alle prestazioni dei processi e alla qualità del prodotto possano essere raccolti a livello di reparto dai dispositivi hardware. In questo caso il ruolo del MES è quello di raccogliere tali dati, analizzarli attraverso tecniche matematiche appropriate ed estrarre un'informazione sintetica per fornire al livello di business un quadro esaustivo dello stato attuale del processo. Eventualmente, l'analisi deve essere eseguita in tempo reale, prendendo decisioni per controllare il processo con la necessaria rapidità. Recentemente, lo sviluppo di piccoli sensori facilmente disponibili ha portato ad una grande diffusione dei sistemi di monitoraggio per valutare la qualità e le performance di processo del prodotto per sostenerne il miglioramento.

### 1.2.3 Maggiori produttori di sistemi MES

Secondo (Manufacturing Execution Systems Reviews and Ratings, s.d.), tra le migliori soluzioni MES fornite nel mondo dell'Information System, spiccano due software che ottengono maggiore riscontro dagli users: Factory Logix e IQMS MES (prodotto da Dassault Systems). Il primo, prodotto da Aegis Industrial Software, ha subito numerose rilavorazioni nei suoi 20 anni di storia ed è giunto ad un elevato livello di usabilità e flessibilità che consentono alle aziende clienti di poter creare la migliore soluzione per i propri modelli di business. I moduli principali di Factory Logix sono: New Product Introduction (NPI), Logistics

Management, Production Management, Analytics, Integration capabilities e Device Management. Per quanto concerne il software IQMS MES, è prodotto da Dassault System specializzata nella fornitura di software per il mondo Manufacturing. Questo software è incluso in una soluzione integrata con un ERP ma viene venduto anche singolarmente per poter consentire al singolo cliente di modularlo in base alle esigenze produttive.

### **1.3 Product Lifecycle Management – PLM**

Product Lifecycle Management (PLM) è un nuovo approccio aziendale integrato che, con l'aiuto dell'IT, implementa una gestione integrata, cooperativa e collaborativa delle informazioni sui prodotti lungo le diverse fasi del loro ciclo di vita. Il suo scopo non è solo quello di gestire i singoli prodotti, ma anche di gestire in modo integrato tutte le componenti, i documenti, il personale assegnato al prodotto e il portafoglio prodotti complessivo. A livello strategico, l'obiettivo del PLM è quello di aumentare i ricavi generati dal portafoglio prodotti, ridurre i costi legati ad esso e massimizzare il valore dei prodotti attuali e futuri sia per i clienti che per gli stakeholder.

#### **1.3.1 Storia dei sistemi PLM**

Per comprendere l'evoluzione che ha portato alla creazione dei software di Product Lifecycle Management bisogna fissare alcune milestones temporali, come affermato in (Javvadi, 2011).

- Anni 60': l'introduzione di nuovi metodi e strumenti di imaging, le prime applicazioni di progettazione CAD, gli sketch book e le matite leggere generano innovazione nel processo di progettazione.
- Anni 70': si verifica l'introduzione di sistemi CAD / CAM, del disegno 2D automatizzato e delle prime postazioni di produzione indipendenti;
- Anni 80': l'introduzione dei sistemi 3D favoriscono lo sviluppo di sistemi di Product Data Management;
- Anni 90': si verificano le prime integrazioni tra sistemi CAD / CAM / CAE parametrici con altri componenti dei software PLM ed il mercato globale Cax/PLM si espande rapidamente.

Come si evince da questa timeline l'origine del concetto di PLM può risalire allo sviluppo della progettazione computerizzata (meglio nota come Computer Aided Design-CAD) emersa nelle industrie manifatturiere nel 1980. In particolare, la American Motors Corporation In (AMC) durante una ricerca del 1985, finalizzata ad accelerare lo sviluppo del prodotto per competere meglio con i suoi concorrenti più grandi, ha iniziato a sviluppare un nuovo modello da cui in seguito è emersa la Jeep Grand Cherokee. Il grande antenato dei sistemi PLM, il Product Data Management (PDM) emerse dalla necessità di condividere i dati di prodotto sia attraverso team distribuiti a livello globale nelle diverse divisioni dell'azienda, che con i partner della supply chain. Tale collaborazione avveniva mediante la condivisione dei concepts di progettazione. I sistemi PDM hanno consentito la realizzazione di procedure per la gestione dei processi di sviluppo dei prodotti e flussi di lavoro collaborativi. Contemporaneamente ai sistemi di progettazione e produzione computerizzati dei sistemi CAD/CAM e PDM, sono stati introdotti altri nuovi strumenti tecnologici per semplificare e sostenere le operazioni di sviluppo prodotto

quali sistemi come ERP e Customer Relationship Management (CRM). I software PLM sono emersi negli anni '90 come modello di business strategico che rappresenta un approccio integrato per la creazione, l'organizzazione e la gestione della conoscenza dei prodotti in un'impresa, la sua rete di fornitori e i suoi partner. Verso la fine della decade, estendendo una visione eco-compatibile, il PLM ha cominciato ad essere inteso come gestione e tracciabilità dell'intero sistema di prodotto e di tutte le attività ad esso collegate, durante le sue varie fasi di vita, cambiando così il significato del termine. Oggi, l'approccio collaborativo di PLM, fornisce le basi su cui gli altri software possono operare attraverso l'integrazione o le interfacce. Servizio come software (SaaS) PLM sistemi e modelli di servizi basati su cloud hanno il potenziale per accelerare l'adozione del PLM con opzioni di licenza modulari, rendendolo più fattibile per le piccole e medie imprese (PMI). Perciò la strada di una sempre crescente integrazione con altri applicativi e sistemi informativi segnerà il futuro sviluppo dei software PLM.

### 1.3.2 Funzionalità ed informazioni gestite dai sistemi PLM

L'ambiente PLM è ovviamente diverso a seconda del tipo di sistema di prodotto/servizio considerato:

- nella produzione manifatturiera, il concetto di PLM si riferisce al bene fisico tangibile, concepito, progettato e fabbricato in sistemi di produzione ad hoc, distribuiti lungo una rete appropriata e smaltiti o recuperati con una rete ugualmente appropriata;
- nell'ingegneria e cantieristica, il PLM si riferisce invece all'impianto/lavoro progettato e costruito su un sito di dimensioni specifiche, costruito e successivamente gestito/mantenuto;
- nel mondo dei servizi, infine, PLM si riferisce al servizio concepito, installato e fornito attraverso un'infrastruttura speciale.

Cercando di sintetizzare la casistica, il ciclo vita di un prodotto o servizio è composto principalmente da cinque fasi, in ognuna delle quali, il prodotto si trova in uno stato diverso. Durante la fase di ideazione, il prodotto è solo un'idea nella testa delle persone mentre, nella fase di definizione, le idee vengono convertite in una descrizione dettagliata. Nel corso della fase di realizzazione il prodotto acquisisce la sua forma finale (ad esempio, come un'auto) in cui può essere utilizzato da un cliente. Durante la fase di utilizzo/supporto, il prodotto è con il cliente che lo utilizza (quindi non nella disponibilità dell'azienda). Infine, il prodotto arriva a una fase in cui non è più utile. È ritirato dal mercato dalla società ed è smaltito dal cliente.



Figura 7 - Le cinque fasi del ciclo vita di un prodotto (Stark, 2018)

Per comprendere il campo d'azione del PLM si considera una “griglia” (detta *PLM grid*) che consiste in una matrice 5 \* 10. Sull'asse orizzontale ci sono le cinque fasi del ciclo di vita del prodotto mentre in quello verticale ci sono i dieci componenti (dati di prodotto, applicazioni, attività, ecc.) che devono essere seguiti quando si gestisce un prodotto durante tutto il ciclo di vita. La griglia aiuta le aziende a organizzare le numerose risorse che sono coinvolte nel PLM e farle comunicare tra loro riguardo le relative questioni. Ogni azienda può personalizzare la propria soluzione PLM dettagliandola in base al modello di business applicato. Inoltre, il software PLM aiuta a visualizzare, quantificare e comunicare lo stato delle risorse relative al prodotto descrivendo la loro attuale situazione e sviluppando la loro futura strategia.

In questo background il software PLM interagisce con le applicazioni software di tutti i livelli del processo di sviluppo del prodotto/servizio. Secondo (Stark, 2018), tali applicazioni sono raggruppabili macro-gruppi:

- applicazioni per la gestione delle idee: consentono una valutazione e classificazione delle idee che porta all'individuazione e gestione delle migliori;
- applicazioni CAE/CAD/CAM: si focalizzano sulla definizione, analisi e simulazione di prodotti/servizi e sulla definizione dei dati di processo;
- applicazioni per la gestione dei dati: consentono di elaborare, visualizzare e gestire i dati;
- applicazioni customer-oriented: si focalizzano sui dati forniti dai clienti e sulla presentazione dei dati di prodotto e processo ai clienti;
- applicazioni supplier-oriented: si focalizzano sui dati forniti dai fornitori e sulla presentazione dei dati di prodotto e processo ai fornitori;
- applicazioni di gestione dei processi: consentono la gestione dei dati relativi ad ogni processo e flusso di lavoro;
- applicazioni di gestione dei progetti: consentono la gestione dei dati relativi ad ogni progetto e programma indirizzando le varie attività nelle rispettive fasi del ciclo-vita;
- applicazioni di gestione del portafoglio prodotti: si focalizzano sullo sviluppo di nuovi prodotti e sulla gestione dei prodotti esistenti;
- applicazioni di regolamentazione e gestione degli standard;
- applicazioni per l'integrazione: si focalizzano sull'integrazione del software PLM con gli altri sistemi informativi a livello enterprise (ERP, CRM, ecc.).

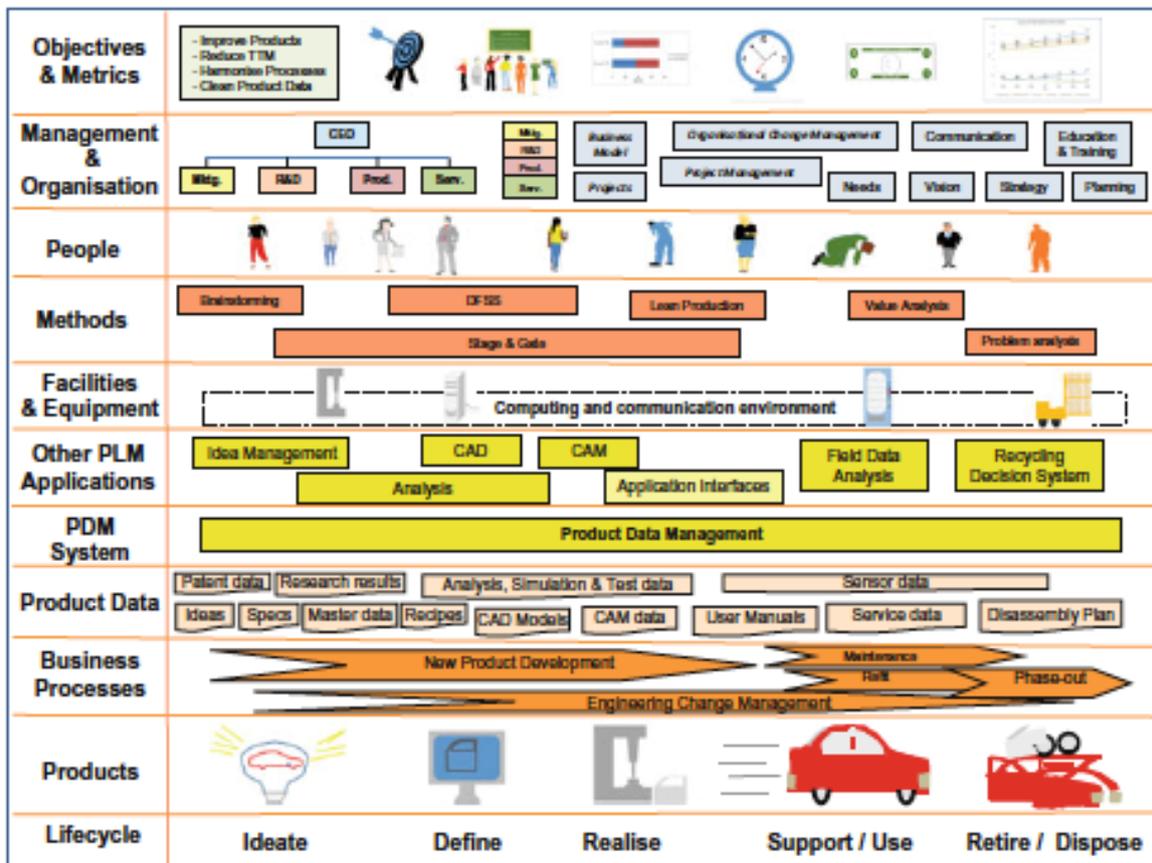


Figura 8 - La griglia del Product Lifecycle Management (Stark, 2018)

Dal punto di vista informativo, i dati definiscono e descrivono il prodotto che è la fonte dei ricavi aziendali. I dati del prodotto di un'impresa rappresentano il suo know-how collettivo. Poiché si tratta di una risorsa importante e strategica, dovrebbe essere utilizzata nel modo più profittevole possibile. Durante l'intero ciclo di vita del prodotto, i dati sui prodotti sono tutti importanti. Il dato deve essere disponibile, ogni volta che è necessario, ovunque sia necessario, da chiunque ne abbia bisogno, durante tutto il ciclo di vita del prodotto. Qualunque sia il prodotto offerto da un'azienda, sono necessari un volume enorme ed una grande varietà di dati per ideare, sviluppare, produrre e supportare il prodotto durante tutto il ciclo di vita.

customer requirements	flowcharts	costing data	regulations
shop floor instructions	analysis results	patent reports	engineering drawings
Computer Aided Design (CAD) files	design specifications	disposal lists	label information
Quality Assurance (QA) records	ingredients lists	functional specs	failure reports
part classifications	machine libraries	wiring diagrams	maintenance data
Numerical Control (NC) programs	packaging standards	user manuals	parts lists

Figura 9 - Principali tipologie di dati gestite da un software PLM (Stark, 2018)

Gli attuali tool PLM offrono funzionalità che gestiscono questi dati in maniera efficiente e integrata. Questi strumenti possono essere classificati in tre categorie principali: Product Data Management (PDM), gestione della configurazione e strumenti di progettazione distribuita.

Le principali funzionalità presenti negli strumenti PDM, esposte in (Frederic Segonds, 2014), sono le seguenti:

- Gestione dei diritti di accesso: a seconda del livello di autorizzazione dell'utente, si stabilisce l'accesso alle informazioni contenute nel sistema PLM.
- Gestione del Vault: set di dati e documenti correlati vengono archiviati in un server denominato vault, anziché essere archiviati localmente nel computer dell'utente.
- Visualizzazione dei documenti: gli utenti sono in grado di visualizzare rapidamente i documenti in vari formati, senza possedere l'applicazione che corrisponde a un particolare formato di file.
- Check-out e check-in: questa funzionalità consente agli utenti di uscire da un documento garantendo che nessun altro utente che lavora al documento contemporaneamente possa modificarlo.
- Controllo delle versioni dei documenti: è possibile archiviare più versioni dello stesso documento.
- Stati: a ciascun documento sono associati vari Stati. Questi aiutano a definire il loro livello di maturità: creazione, convalida, obsolescenza, ecc.
- Flussi di lavoro: questi sistemi rendono possibile modellare i processi e automatizzare le azioni. Questi sistemi sono utilizzati principalmente nei processi di convalida per documenti e dati tecnici.

La gestione della configurazione, invece, consiste nel controllare le informazioni relative alla struttura del prodotto, in particolare suddividerle in parti elementari e aggiungere informazioni relative alle loro caratteristiche funzionali e fisiche. Fornisce una visione chiara dello stato di configurazione associato a un prodotto o progetto, nonché delle loro evoluzioni garantendone la tracciabilità totale. Infine, gli strumenti di progettazione distribuita consentono agli utenti di condividere uno schermo, di ottenere in remoto il controllo sulla workstation di un altro utente e di scambiare messaggi istantanei.

### **1.3.3 Maggiori produttori di sistemi PLM**

Secondo (Compare PLM softwares, s.d.), per poter classificare i software PLM presenti attualmente sul mercato bisogna considerare due parametri principali: presenza sul mercato e soddisfazione degli utenti. Dall'analisi di questi due requisiti emerge sostanzialmente la distribuzione rappresentata in Figura 10.

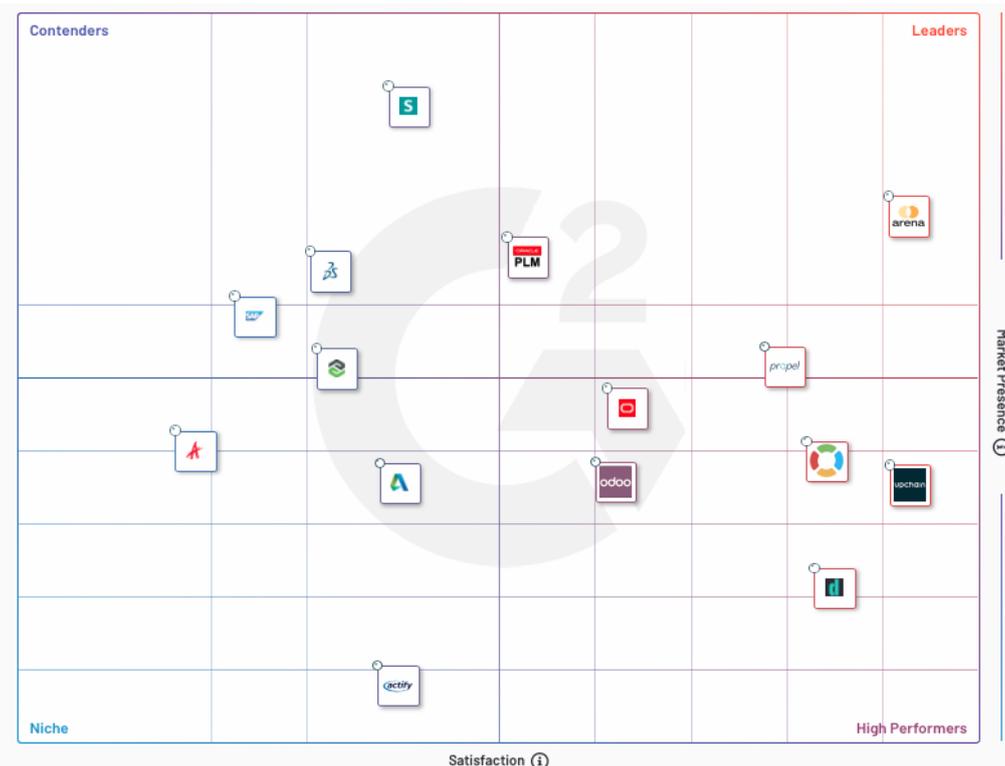


Figura 10 - Principali player nel settore PLM software (Compare PLM softwares, s.d.)

Tra i Leaders nella fornitura di sistemi PLM il primato è ottenuto da Arena PLM & QMS che, con oltre 1300 clienti in ambito high-tech e medicale, può contare su una massiccia presenza sul mercato. Tale successo nasce da soluzioni che integrano sistemi di tracciabilità e visibilità dell'intero ciclo di vita del prodotto con sistemi di monitoraggio della qualità. Le soluzioni offerte da Arena trovano ampio riscontro degli users grazie all'elevata usabilità dei software ed alla possibilità di utilizzarli in cloud, facilitando così i processi di NPD e di collaborazione con team esterni all'azienda. Particolare rilevanza in termini di presenza sul mercato è riscontrabile nel software di Siemens, Teamcenter, seguito dal software PLM prodotto da Dassault Systems, Enovia. A seguire, tra i PLM che realizzano i migliori trade-off, spicca il software cloud aziendale di Propel che ha sviluppato soluzioni PLM, PIM e QMS integrate costruite sulla piattaforma Salesforce, una piattaforma cloud molto sicura, affidabile e flessibile. Inoltre, il software SaaS PLM, PIM e QMS di Propel richiede solo poche settimane per essere operativo. Infine, i due software realizzati da Oracle (Oracle Agile e Oracle Product Lifecycle Management Cloud) forniscono soluzioni adeguate sia per processi produttivi waterfall che agili, garantendo una distribuzione attraverso il cloud che li rende accessibili agli utenti in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo. Questi software non riscontrano un'ottima soddisfazione da parte degli users, i quali lamentano un costo superiore rispetto agli altri software di pari livello.

## **2. Integrazione tra sistemi informativi aziendali**

L'avvento di Industry 4.0 ha sicuramente ampliato il raggio d'azione dei singoli sistemi al punto da non potersi più ritenere autonomamente sufficienti a sostenere le nuove necessità della produzione industriale. Ciò ha dato l'avvio a studi e sperimentazioni incentrati sull'integrazione tra i più diffusi sistemi informativi aziendali. In questo capitolo sono trattate le integrazioni tra sistemi informativi aziendali maggiormente impattanti e quelle che si ipotizza possano fungere da basi per la gestione del know-how produttivo del futuro.

### **2.1 Integrazione tra sistemi PLM ed ERP**

L'integrazione di Product Lifecycle Management (PLM) e Enterprise Resource Planning (ERP) migliora significativamente la produttività e l'efficacia di utenti e organizzazioni che lavorano con informazioni relative a prodotti e impianti. Questi due sistemi informativi aziendali comprendono molte delle funzioni critiche necessarie a sviluppare, testare, produrre, fornire, utilizzare e supportare un prodotto per tutta la sua durata e la loro integrazione può offrire vantaggi significativi alle aziende di tutte le dimensioni. Come si evince da (CIMdata, 2005) le integrazioni iniziali di PLM ed ERP si sono verificate in primis presso aziende più grandi poiché queste avevano le risorse necessarie per sostenere tali progetti. Ma tutte le aziende, indipendentemente dalle dimensioni, devono affrontare problemi simili e hanno le stesse esigenze di integrazione tra sistemi PLM ed ERP. In particolare, le piccole e medie imprese (PMI), all'interno delle proprie supply chains, stanno lavorando per aggiungere valore ai propri prodotti e servizi e stanno accelerando nel trovare soluzioni di gestione del know-how aziendale. Come detto precedentemente, il software PLM gestisce il processo di innovazione, consentendo alle aziende di creare rapidamente prodotti da immettere sul mercato e di sfruttare il ri-utilizzo delle parti. Esso si concentra sulla proprietà intellettuale digitale, sulle funzioni e sui processi aziendali, sulle risorse associate alla definizione del prodotto e dell'impianto. Il sistema ERP garantisce, invece, che un prodotto di qualità sia prodotto in base alla domanda del cliente in modo tempestivo e tenendo sotto controllo i costi. Si concentra sui processi aziendali fisici e si occupa della programmazione e pianificazione della produzione, della gestione dell'inventario, dei costi e di altri aspetti fisici della produzione. È stato ottimizzato per gestire transazioni e grandi volumi di dati storici sulle transazioni.

L'integrazione tra sistemi PLM ed ERP è una scelta che combina diversi trade-off aziendali dei quali è necessario tenere conto affinché la soluzione da implementare divenga efficace. Una decisione chiave è definire il livello di integrazione necessario per l'azienda. L'integrazione tra PLM ed ERP può variare in complessità da un semplice trasferimento unidirezionale di informazioni della distinta base dalla progettazione alla produzione, ad un ambiente completo e con flusso bidirezionale in cui gli utenti accedono alle informazioni in entrambi i domini dall'interno dell'interfaccia utente delle loro applicazioni primarie. Ciascuna azienda ha bisogno di un proprio livello di integrazione: le grandi imprese tendono a volere e ad avere bisogno di un'integrazione molto completa tra PLM ed ERP; le PMI hanno generalmente requisiti più ristretti che possono essere soddisfatti con un'integrazione più basilare. Questa differenza tra le due sta nel fatto che imprese più grandi possono avere più tipi di informazioni da scambiare.

Per prendere decisioni su come integrare al meglio PLM ed ERP si deve tenere conto, inoltre, dei modelli aziendali e operativi specifici di ogni azienda. Tradizionalmente, gli utenti di sistemi PLM ed ERP sono posizionati nelle diverse funzioni all'interno di un'azienda, ognuna con obiettivi, metodi di lavoro e culture organizzative differenti. Inoltre, è necessario prendere in considerazione le diverse sovrapposizioni di funzionalità e processi basati su filosofie, storie e culture all'interno di ogni azienda. L'integrazione di PLM ed ERP costringe un'azienda ad affrontare queste differenze al fine di creare una soluzione che sarà adottata ed utilizzata da tutte le funzioni.

Determinare quale dominio "possieda" e controlli le informazioni e i processi è un altro problema che l'integrazione si propone di risolvere. Storicamente, le informazioni sul controllo e cambiamento della struttura del prodotto erano gestite nella produzione soprattutto perché essa rappresentava il principale centro di costo e possedeva più budget e controllo.

Precedentemente all'introduzione del concurrent engineering, tutte le informazioni relative ai prodotti erano gestite sia dalla progettazione che dalla produzione nonostante queste avessero opinioni e priorità diverse su tali processi. Tuttavia, con l'evoluzione introdotta dall'utilizzo di software PLM, tutto questo è cambiato (Figura 1): le aziende assegnano ora le informazioni su struttura del prodotto e gestione delle modifiche all'engineering che gestisce la progettazione e garantisce che essa soddisfi tutti i requisiti funzionali e normativi. La produzione è responsabile, invece, di una produzione efficiente del progetto. Questo cambiamento ha spostato la proprietà delle informazioni riguardanti la struttura del prodotto e la gestione del cambiamento dalla produzione all'ingegneria e influisce su quali informazioni si decide di condividere o trasferire tra PLM ed ERP. Tali decisioni devono riflettere l'organizzazione e la cultura dell'azienda, ma anche supportare la visione dell'azienda per il suo futuro.

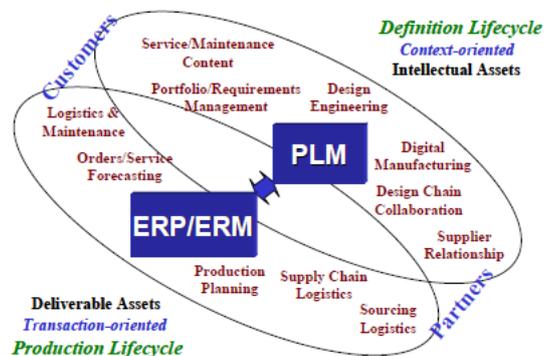


Figura 11 - Categorie di informazioni gestite nell'interfaccia PLM-ERP (CIMdata, 2005)

Altro aspetto fondamentale che l'integrazione di PLM ed ERP richiede di affrontare consiste nel trasferimento di informazioni e nel controllo di gestione dei processi aziendali che si estendono su più organizzazioni. Potrebbe essere necessario che le informazioni fluiscano più volte attraverso i confini del PLM e dell'ERP nel corso del processo. Integrazioni efficaci devono affrontare il funzionamento di un'azienda così come il flusso dei dati.

Ci sono molti fattori tecnologici da prendere in considerazione, tra cui:

- Il tipo di informazioni da integrare.

- I processi da supportare.
- Il tipo e la complessità dell'integrazione richiesti.
- Gli strumenti e i metodi da utilizzare per creare e mantenere l'integrazione.

La struttura del prodotto e lo scambio delle informazioni sulla distinta base sono normalmente la prima porzione di integrazione intrapresa. La seconda riguarda un'informazione più completa sulle modifiche. Altri potenziali punti di integrazione tra PLM ed ERP includono (ma non sono limitati ad essi): i dettagli del fornitore, le informazioni sull'inventario e lo stoccaggio, i dati sui costi, i processi e i cicli di produzione, gli elenchi fornitori approvati (AVL), i dati di classificazione dei componenti e i dati master articolo.

Nell'ambito di queste decisioni, è necessario determinare quali informazioni debbano essere scambiate rispetto a quali informazioni debbano essere accessibili. Ciò determinerà anche quali passaggi di processo verranno gestiti in quali sistemi.

Definire l'ambito di integrazione significa anche determinare il livello e la direzione del flusso di dati tra PLM ed ERP. Per alcune informazioni, uno scambio in una sola direzione potrebbe essere tutto ciò che serve (ad esempio spostare le informazioni sui costi da ERP a PLM). In altri casi, potrebbe essere necessario uno scambio bidirezionale (ad esempio richieste di modifica e avvisi): esso è più complesso dei trasferimenti unidirezionali e dovrebbe essere utilizzato dove fornisce il maggior valore per il business, ma offre opportunità per maggiori funzionalità e vantaggi associati. Un esempio di flusso unidirezionale potrebbe essere l'informazione sui costi creata e gestita all'interno del dominio ERP. Un ingegnere di progettazione deve conoscere il costo di possibili componenti che potrebbero essere incorporati in un prodotto. Poiché la finestra di progettazione non modifica il costo di un componente acquistato, potrebbe essere sufficiente passare semplicemente tali informazioni a monte all'ambiente PLM.

Le richieste di modifica e le azioni che possono verificarsi in entrambe le aree possono essere gestite meglio tramite un'integrazione bidirezionale in quanto un utente di PLM ed ERP deve essere consapevole dello stato corrente del progetto e/o del prodotto. Le informazioni scambiate tra i due domini devono essere sincronizzate. Se le informazioni comuni possono divergere, tali informazioni diventano non valide e introducono di nuovo i problemi che l'integrazione è destinata ad affrontare. Gli aggiornamenti più frequenti mantengono le informazioni più aggiornate, ma aumentano i carichi su reti e server. Per tutte le integrazioni, le informazioni devono essere coerenti sia tra PLM che ERP. Ciò include il mantenimento dell'integrità delle informazioni, gli stati delle informazioni, la replica delle informazioni, gli attributi definiti e l'uso coerente degli standard. Non tutte le informazioni devono essere scambiate tra PLM ed ERP. In alcuni casi, fornire l'accesso alle informazioni che risiedono nell'altro dominio potrebbe essere sufficiente. Questo può essere fornito incorporando l'accesso alle informazioni gestite da PLM e/o ERP all'interno delle interfacce utente delle applicazioni principali come CAD, PLM ed ERP, o tramite portali basati sul browser.

Tutte le aziende si evolvono nel tempo; pertanto qualsiasi integrazione dovrebbe essere progettata per essere flessibile ed economica da mantenere, in modo che possa evolversi per

soddisfare le mutevoli esigenze aziendali. L'integrazione PLM ed ERP dovrà affrontare le aspettative, come gli aggiornamenti dell'applicazione, nonché le sfide poste dalla crescita, dalle acquisizioni, dalle fusioni, dai nuovi fornitori e da altri cambiamenti aziendali imprevisti.

Esistono diversi approcci che un'azienda può adottare per realizzare l'integrazione tra PLM ed ERP. Ogni approccio fornirà diversi livelli e complessità di integrazione, funzionalità, ambito e costo di implementazione e supporto. Le aziende devono valutare i problemi descritti in precedenza e selezionare l'approccio migliore in base alle loro esigenze specifiche, ai piani futuri, all'infrastruttura attuale e ai costi stimati.

Esistono tre metodi principali (Figura 12) utilizzati per le integrazioni PLM ed ERP, ognuno dei quali presenta vantaggi e svantaggi, punti di forza e di debolezza:

- L'incapsulamento è una soluzione relativamente semplice (l'implementazione può essere eseguita in un tempo misurato in giornate uomo) ed è più facile da implementare rispetto all'interfaccia o all'integrazione.
- L'interfaccia è più difficile da implementare (l'implementazione può essere eseguita entro alcune settimane di lavoro).
- L'integrazione è la più difficile da implementare (l'implementazione può richiedere da mesi ad anni di lavoro).

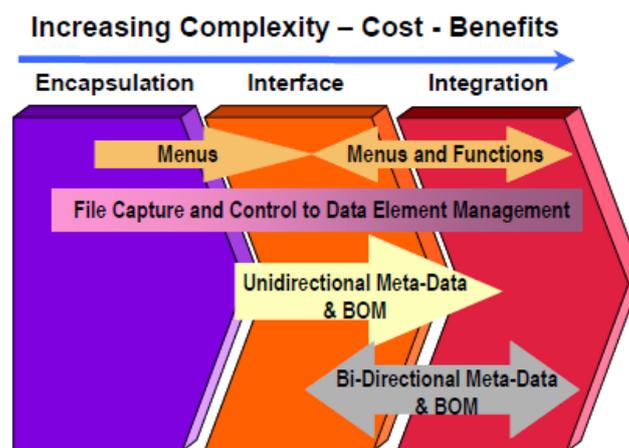


Figura 12 - Metodi per l'integrazione PLM-ERP (CIMdata, 2005)

Incapsulare significa racchiudere o circondare. Nel contesto dell'integrazione PLM ed ERP, un esempio potrebbe essere quello di mettere un wrapper intorno a un insieme di file CAD (ovvero creare un pacchetto di dati) e trasferirli al sistema ERP dove sarebbero memorizzati. Le persone che possono utilizzare il sistema ERP potrebbero cercare e localizzare il pacchetto di dati, ma dovrebbero trasferirli in un'altra applicazione per l'uso. Il sistema ERP non riconoscerebbe il contenuto del pacchetto di dati né sarebbe in grado di utilizzare le informazioni all'interno. L'incapsulamento è sufficiente per le applicazioni che possono creare tutti i dati come file, ma l'incapsulamento non può gestire i dati all'interno dei file. In un approccio di interfaccia, invece, PLM ed ERP possono scambiare automaticamente file e alcuni metadati (senza l'intervento dell'utente). Le funzioni PLM sono fruibili tramite menu dell'ERP e le informazioni PLM come le strutture dei

prodotti vengono passate unidirezionalmente all'ERP. I metadati vengono trasferiti da un dominio all'altro e per stabilire l'interfaccia è necessaria una certa conoscenza delle strutture dati sia del PLM che dell'ERP. In genere le informazioni sulla struttura del prodotto vengono trasferite dal PLM all'ERP e sono disponibili per l'uso all'interno del dominio ERP e delle applicazioni. Infine, lo sviluppo di integrazioni consente uno scambio completo e automatico di tutti i tipi di dati di prodotto e metadati tra i due domini. I dati specifici dell'applicazione (come le strutture dei prodotti) hanno flussi bidirezionali e sono normalmente gestiti all'interno del PLM. La maggior parte delle funzioni PLM sono disponibili all'interno di ERP e le funzioni ERP appropriate sono disponibili all'interno del PLM. In questo scenario, gli utenti lavorano in un ambiente coerente, accedendo alle informazioni e ai processi necessari dall'interno dell'interfaccia utente dell'applicazione principale, indipendentemente dal fatto che le informazioni risiedano sotto il controllo PLM o ERP. Esistono diverse categorie di integrazione per lo scambio informativo riguardante non solo i sistemi informativi PLM ed ERP ma anche tanti altri IS. Tra le tante, in (B.N. Prashanth, 2017) si analizzano le seguenti tipologie (da considerarsi valide anche nelle altre integrazioni trattate):

- Integrazione point to point (Figura 13). In essa i trasferimenti sono di solito interfacce punto a punto tra due sistemi. I file tendono ad essere creati per scopi specifici ed è insolito che i dati nel file siano utilizzati da più di un sistema ricevente. Il formato del file è fondamentale per le applicazioni, ma potrebbe essere basato su colonne, delimitato (in genere con virgole) o formato XML (eXtensible Markup Language). I dati trasferiti in questo modo possono essere transazionali o di riferimento. È più comune che i dati in un trasferimento transazionale siano per un gruppo di transazioni piuttosto che file separati per ogni transazione. L'applicazione di origine esegue un report o una routine per estrarre dati in un file di testo con un formato specificato. Questo viene quindi inviato all'applicazione ricevente e viene eseguita una routine di importazione per importare ed elaborare i dati.

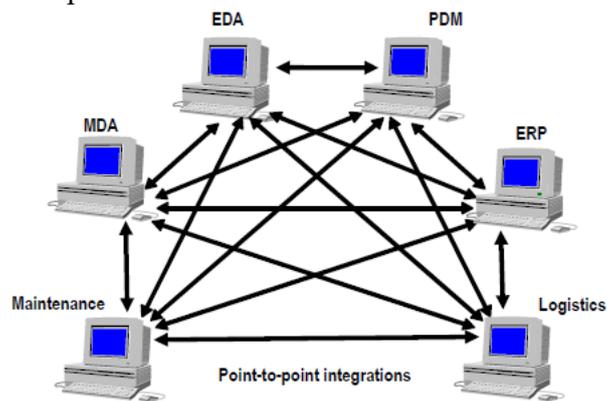


Figura 13 - Integrazione point to point (B.N. Prashanth, 2017)

- Integrazione Client/Server (Figura 14). E' una relazione "di programma" in cui un programma (il client) richiede un servizio o una risorsa da un altro programma (il server). Sebbene il modello client/server possa essere utilizzato dai programmi all'interno di un singolo computer, è un concetto più importante per la rete. In questo caso, il client stabilisce una connessione al server tramite una rete locale "LAN" oppure

mediante una rete “WAN” (Wide-Area Network), ad esempio Internet. Una volta che il server ha soddisfatto la richiesta del client, la connessione viene terminata.

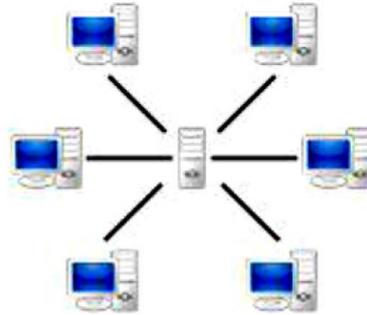


Figura 14 - Integrazione client/server (B.N. Prashanth, 2017)

- Integrazione middleware orientata alla messaggistica (MOM). L’acronimo MOM descrive una soluzione al problema di collegamento tra nuove applicazioni e vecchi sistemi legacy. È implementato genericamente in Java Messaging Service (JMS) ed è in grado di archiviare e instradare messaggi che forniscono comunicazioni basate su chiamate “asincrone” in cui i sistemi non devono essere connessi alla rete contemporaneamente.
- Integrazione mediante dei tools di Enterprise Application Integration-EAI (Figura 15). L’EAI aiuta nell’integrazione dei dati e dei processi, nell’indipendenza del fornitore e nell’interfaccia comune. Esistono due modelli di integrazione EAI: il modello di mediazione (in cui il sistema EAI funge da broker tra più applicazioni e quello di federazione (in cui il sistema EAI funge da facciata generale su più applicazioni, tutto l’accesso dall’esterno avviene attraverso un’interfaccia comune). Ci sono due tipologie di EAI: “Hub and spoke”, in cui EAI System è il centro e tutta l’interazione tra un sistema e l’altro avviene tramite l’hub; “Bus” nella quale le applicazioni interagiscono con il Bus e il bus trasporta informazioni nei punti finali appropriati (il bus dei messaggi potrebbe già esistere).

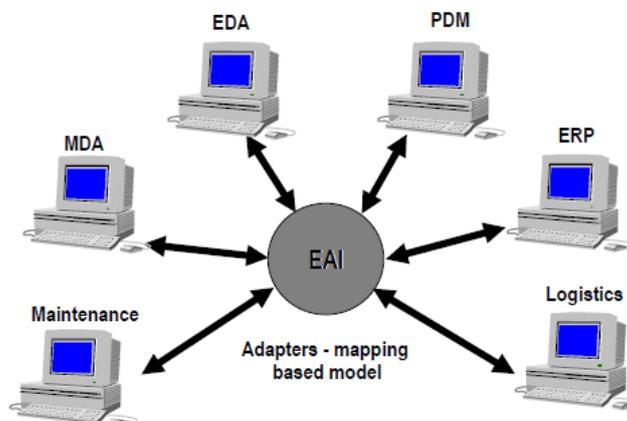


Figura 15 - Integrazione mediante EAI (B.N. Prashanth, 2017)

Ci sono molti vantaggi associati all'integrazione di PLM ed ERP. Questi vantaggi maturano in diversi settori, tra cui:

- La coerenza e l'uso delle informazioni relative a prodotti/impianti da parte del personale delle organizzazioni di tutta l'azienda.
- La riduzione i tempi per portare nuovi e migliori prodotti sul mercato a un costo inferiore, migliorando al contempo la qualità,
- La creazione e utilizzo di terminologia e processi comuni relativi al prodotto in tutta l'azienda.

La ricerca (CIMdata, 2005) sui vantaggi dell'integrazione PLM ed ERP ha mostrato quanto segue:

- Riduzione del 75% dei tempi, dei costi e degli errori associati alla re-immissione dei dati da un sistema all'altro.
- Riduzione del 75% del costo dovuto a errori associati alle distinte base man mano che vengono create una volta e quindi gestite in modo coerente sia in PLM che in ERP.
- Riduzione del 15% dei costi di inventario grazie al fatto che progettisti e ingegneri sanno quali parti sono già a portata di mano e le utilizzano nelle nuove progettazioni di versioni o prodotti;
- Riduzione dell'8% dei rottami di materiali che non possono essere utilizzati nella produzione e che erano già in magazzino o ordinati prima che la logistica fosse a conoscenza di modifiche in sospeso.

La riduzione dei costi (di progettazione, di produzione ecc.) è un vantaggio significativo che può derivare dall'integrazione di PLM ed ERP. Gli ingegneri possono avere accesso alle informazioni sui costi dei componenti e ai livelli di inventario. Queste conoscenze possono essere utilizzate per progettare prodotti che utilizzano parti e componenti a basso costo e per utilizzare anche parti in magazzino qualora esse soddisfino i requisiti di progettazione. Inoltre, la possibilità di avvisare il personale e le organizzazioni "a valle" dei possibili problemi e delle modifiche in sospeso consente di evitarne la rapida propagazione riducendo o eliminando errori, rilavorazioni e scarti. Ridurre i tempi (ad esempio tempo di progettazione, tempo di prima produzione, produzione time-to-volume, tempo per incorporare un cambiamento, time-to-market) è uno dei principali vantaggi dell'integrazione di PLM ed ERP. L'integrazione può fornire una rapida disponibilità di informazioni di progettazione e modifica agli utenti a valle, cioè al personale di ingegneria, produzione, assistenza e manutenzione che esamina i progetti e fornisce feedback lavorando in "anticipo" per preparare gli impianti e i processi di produzione. Ciò può ridurre significativamente il tempo necessario per far entrare in produzione un prodotto una volta completato e approvato il suo progetto. Un altro vantaggio legato al tempo è garantire che le modifiche alla progettazione e alla configurazione di un prodotto, incluse opzioni e varianti, vengano passate in modo rapido e accurato all'ERP per la pianificazione e lo scheduling, consentendo così alla produzione di soddisfare le richieste previste dei clienti. Tali informazioni possono anche essere trasmesse alle vendite e al marketing in modo che sappiano quali prodotti vendere e quali configurazioni sono valide per l'ordine dei clienti. Migliorare la qualità di un prodotto e dei relativi processi di produzione è un altro importante vantaggio dell'integrazione di PLM ed ERP.

## 2.2 Integrazione tra sistemi ERP e MES

Per quanto concerne l'integrazione tra i sistemi informativi di Enterprise Resource Planning e quelli di Manufacturing Execution System essa è stata regolamentata nel tempo mediante degli standard pensati per aiutare le aziende a sfruttare nel miglior modo possibile lo scambio informativo tra tali sistemi. Il primo tra questi documenti è stato redatto nel 1995 dall'International Society of Automation (ISA) con il nome di "ANSI/ISA-95" al quale sono seguite delle riedizioni aggiornate ed evolute che vanno sotto il nome di "IEC-62264". Questo standard è costruito in sei sezioni:

- Parte 1: "Modelli e terminologia": questa parte contiene la definizione della terminologia e dei modelli adottati nello standard; in questa parte è evidenziato il limite esistente tra sistema di business e sistema produttivo e le funzioni che appartengono al dominio della produzione.
- Parte 2: "Definizione degli attributi dei modelli descritti in Parte 1": nella Parte 1 sono presentati dei modelli E-R per la gestione delle informazioni, invece, nella Parte 2 sono definiti in dettaglio gli attributi delle entità e delle relazioni.
- Parte 3: "Definizione del modello di attività della gestione delle Operazioni Manifatturiere": in questa parte sono delineate le funzionalità appartenenti al dominio produttivo e quindi implementate da un sistema MES.
- Parte 4: "Definizione delle informazioni scambiate tra le attività di controllo": sono definiti i modelli di oggetti e gli attributi scambiati tra le attività di gestione delle operazioni definite nella norma IEC 62264-3.
- Parte 5: "Definizione delle Informazioni scambiate nelle transazioni Business-to-Manufacturing": sono definiti i flussi di informazioni che vengono scambiate tra il dominio delle operazioni produttive e i sistemi di business.
- Parte 6: "Messaging Service Model": definisce un modello indipendente dalla tecnologia per lo scambio di messaggi in base ai modelli di transazione definiti nella norma IEC 62264- 5. Il modello, denominato "MSM" (Messaging Service Model), è concepito per l'interoperabilità tra le applicazioni del dominio delle operazioni di produzione e le applicazioni in altri domini.

Lo scopo della Parte 1 (Ansi/Isa-95 - Part 1, s.d.) è limitato alla definizione dei modelli e della terminologia, adottati nello standard. L'obiettivo è quello di delineare chiaramente l'interfaccia tra i sistemi di business d'impresa e i sistemi di controllo della produzione al fine di aumentare l'integrazione e la comunicazione tra le parti. La norma definisce due modelli: il "Modello gerarchico" (che delinea l'assetto dell'organizzazione di un'impresa coinvolta nella produzione manifatturiera) ed il Modello "a flusso di dati" (che definisce le funzioni e il flusso di dati associati all'interfaccia tra sistemi di controllo e gli altri sistemi di impresa). Il modello gerarchico evidenzia il rapporto tra il dominio delle operazioni e del controllo sulla produzione e i domini degli altri sistemi aziendali tramite due modelli di gerarchie: funzionale e dell'equipaggiamento. La gerarchia funzionale ha lo scopo di mettere in evidenza le macro-funzioni aziendali di un'organizzazione coinvolta nella produzione manifatturiera. Lo standard definisce cinque livelli gerarchici (Figura 16), ognuno dei quali delinea una macro-funzione:

- LIVELLO 4: definisce le attività correlate al business.

- LIVELLO 3: definisce le attività concernenti il flusso di lavoro (esse sono finalizzate alla produzione del bene).
- LIVELLO 2: definisce le attività di monitoraggio e controllo dei processi fisici.
- LIVELLO 1: definisce le attività coinvolte nel rilevamento e nella manipolazione dei processi fisici.
- LIVELLO 0 riguarda i processi fisici.

I livelli 2, 1 e 0 differiscono per quanto riguarda il tipo di produzione (continua e/o discreta) in cui vengono utilizzati. Lo schema mette in evidenza quale sia l'interfaccia di interesse: lo standard si occuperà di definire tutte le funzioni appartenenti al dominio del controllo manifatturiero, ossia appartenenti ai Livelli 3-2-1, e tutti gli scambi di informazione tra il dominio del controllo manifatturiero e gli altri domini di impresa. In altre parole, lo scopo dello standard è quello di definire tutto ciò che si trova al di sotto della linea rossa e tutto ciò che la attraversa.

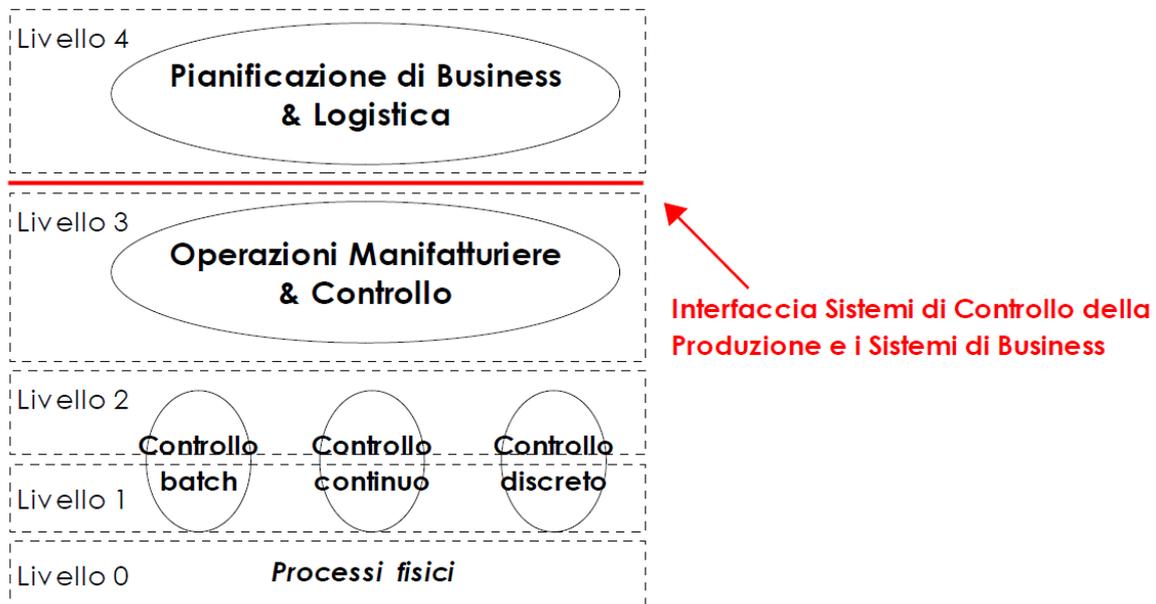


Figura 16 - Livelli gerarchia funzionale (Ansi/Isa-95 - Part 1, s.d.)

La gerarchia dell'equipaggiamento definisce invece per ogni livello funzionale l'area di responsabilità.

Per quanto concerne il modello di flusso di dati funzionale, esso mette in evidenza le aree coinvolte nella produzione di un'impresa manifatturiera ed i flussi di informazione che attraversano l'interfaccia, definita nel modello gerarchico, tra il dominio del Manufacturing Execution System e gli altri sistemi di impresa. Lo standard definisce le seguenti "funzioni" aziendali:

- Elaborazione dell'ordine
- Pianificazione di produzione
- Controllo di produzione
- Controllo di energia e materiali
- Approvvigionamento

- Garanzia di qualità
- Controllo di inventario di Produzione
- Contabilità costi prodotto
- Amministrazione spedizioni prodotto
- Gestione della manutenzione
- Ricerca & Sviluppo e Ingegnerizzazione
- Marketing e Vendite

Il flusso di dati tra le varie funzioni è mostrato in Figura 17, la linea tratteggiata indica l'interfaccia tra il dominio delle operazioni di produzione e controllo e gli altri domini d'impresa. Ai fini dello standard interessano i soli flussi di informazioni scambiati tra funzioni all'interno dell'interfaccia (Figura 17) e i flussi scambiati tra una funzione interna ed una esterna ad essa. La struttura del modello non riflette una struttura organizzativa dell'impresa ma una struttura esclusivamente funzionale: difatti imprese diverse posizionano le funzioni in diversi gruppi organizzativi.

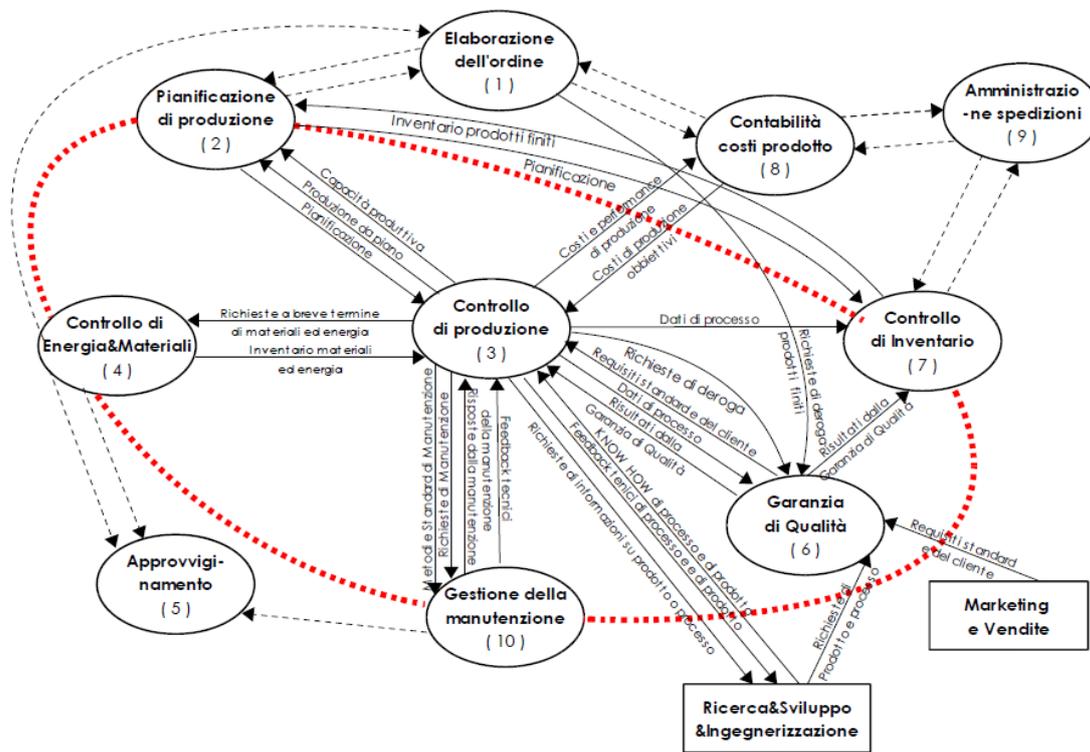


Figura 17 - Flussi informativi intrasistemiche ed intersistemiche

La maggior parte dei flussi di informazioni scambiati tra funzioni all'interno e funzioni all'esterno dell'interfaccia del dominio ascrivibile ad un sistema MES e gli altri sistemi di impresa ricadono in tre categorie: informazioni richieste dalla produzione; informazioni sulla capacità produttiva; informazioni sulla produzione attuale.

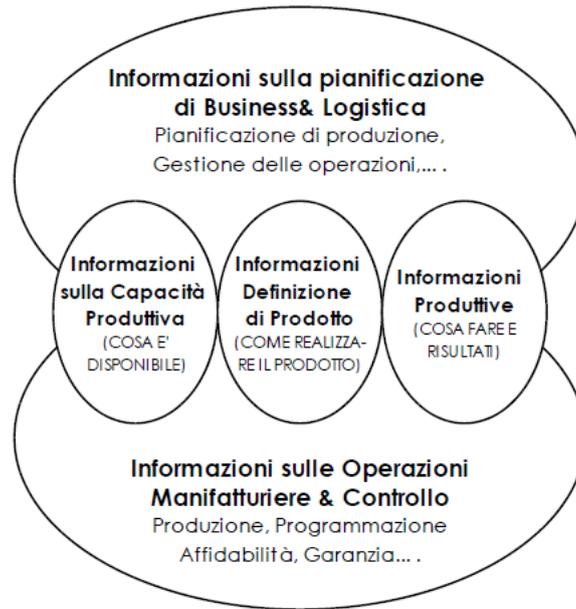


Figura 18 - Categorie di informazioni gestite nell'interfaccia tra ERP e MES (Boiko O., 2019)

Nello studio (Boiko O., 2019) si cerca di interpretare lo standard, definendo esattamente quali informazioni sulle risorse dovrebbero essere integrate all'interno dei livelli ERP e MES per fornire una soluzione di integrazione verticale per la produzione manifatturiera. Questi dati dovrebbero contenere informazioni in tempo reale sulle transazioni relative all'ordine e fornire un processo decisionale sincronizzato mediante dati real-time riguardanti lo stato delle risorse. Di seguito i dati studiati in (Boiko O., 2019):

1. Dati relativi all'inventario (beni finiti o materie prime): questi dati includono le informazioni sull'ubicazione di magazzino, le quantità della parte, l'orario di arrivo della parte, identificativi dell'ordine e del fornitore.
2. Dati relativi all'WIP (work in process): questi dati includono le informazioni sull'ordine dell'officina, sul funzionamento, sulla risorsa, ubicazione, parti non finite, quantità di parti non finite, prodotti finiti, quantità di prodotti finiti e posizione di questi.
3. Dati di monitoraggio delle risorse: questi dati includono le informazioni sul nome della risorsa, il tipo di risorsa, lo stato, l'ubicazione, la descrizione ed il tempo di produzione. Nella pratica attuale, anche qualora il sistema ERP fosse in grado di raccogliere dati sui WIP e sullo stato delle risorse, tali dati sarebbero per lo più raccolti da un sistema MES a causa della sua natura dinamica. Infatti, il MES è in grado di connettersi direttamente con le macchine per monitorare/raccogliere lo stato della produzione in tempo reale.

Come per le altre integrazioni, anche per quella MES-ERP le modalità di integrazione possono essere tra le più disparate. Seguendo le prescrizioni dello standard (Parte 4 descritta in precedenza), per realizzare lo scambio informativo tra MES e ERP (o altri sistemi informativi aziendali) si propone l'utilizzo di un'implementazione XML che va sotto il nome di B2MML (Business To Manufacturing Markup Language). Questa implementazione si serve di un linguaggio di descrizione del contenuto di un file XML, ovvero il suo scopo è delineare quali

elementi siano permessi, quali tipi di dati siano ad essi associati e quale relazione gerarchica abbiano fra loro gli elementi contenuti in un file XML.

Come più volte affermato, i sistemi Manufacturing Execution System e Enterprise Resources Planning aiutano le aziende a essere più efficienti da decenni. Tuttavia, ognuno dei due sistemi ha le proprie insidie, che sono facilmente coperte nelle integrazioni grazie alle mansioni espletate dal software complementare. L'integrazione di tutte le funzionalità e le funzioni necessarie di entrambi i sistemi porta alla creazione dei migliori processi di produzione per efficienza e produttività. Ecco alcuni dei potenziali vantaggi di questa integrazione. In merito alla gestione dell'approvvigionamento è noto quanto avere abbastanza materiali in entrata per realizzare i prodotti sia ovviamente un'esigenza critica per i produttori. La gestione della propria supply chain può diventare difficile se non si dispone di dettagli sufficienti su come funziona il processo di produzione in un dato momento. L'integrazione di MES ed ERP è in grado di fornire ai manager una visione chiara di dove si trova un particolare prodotto nel processo in ogni momento. Ciò consentirebbe migliori previsioni, distribuzione, produzione e migliori decisioni aziendali complessive. L'integrazione impedisce arrivi tardivi dei materiali, il che avrebbe un effetto di trickle down a cascata per i clienti.

Altro vantaggio apportato dall'integrazione riguarda la gestione di tutte le risorse in un impianto di produzione è fondamentale per diventare più efficienti. Le risorse vanno dai materiali reali alle macchine e persino alle persone che lavorano su di esse. L'integrazione di MES ed ERP aiuta i responsabili dell'impianto ad analizzare i difetti in qualsiasi punto del processo e a migliorare il flusso di lavoro in una determinata posizione. Si ha così la possibilità di visualizzare i dati cronologici, i dati correnti e le proiezioni future al fine di gestire le risorse in modo più accurato. La gestione delle risorse contribuirà a semplificare il processo di produzione, a vantaggio dell'azienda in ogni fase. Inoltre, l'integrazione MES-ERP comporta un notevole incremento dell'efficienza aziendale complessiva. Ciò può significare integrare processi o sistemi, migliorare la pianificazione o qualunque altro aspetto che generi maggiori profitti. L'integrazione di MES ed ERP dà ai manager il controllo completo sull'intero processo di produzione, in modo che possano concentrarsi su aree più piccole per riconoscere e correggere i colli di bottiglia e migliorare il flusso di lavoro. Senza questa integrazione, alcuni difetti potrebbero essere trascurati, semplicemente perché i manager non hanno le risorse adeguate ad identificare i problemi.

### **2.3 Integrazione tra sistemi PLM e MES**

Sebbene gli studi concernenti l'integrazione tra sistemi PLM e MES stiano aumentando notevolmente negli ultimi anni, non è ancora presente una letteratura ampia e consolidata al pari di quelle discusse in precedenza. Nonostante ciò, l'importanza di questo tipo di integrazioni trova riscontro nella sua crescente applicazione in industry e aziende di dimensioni molto differenti. In (A. Ben Khedher, 2011) si studiano le integrazioni opportune per cinque categorie di prodotti, analizzando lo scambio di dati tra PLM e MES per i prodotti "Engineer-to-order". Si tratta di prodotti ad alto contenuto personalizzato la cui produzione è caratterizzata da un'alta frequenza di modifica dei dati di prodotto, un basso volume di produzione e un'elevata varianza del prodotto. Il sistema PLM è molto importante nelle fasi di progettazione e industrializzazione e dunque l'interazione PLM-MES è essenziale per garantire il passaggio

delle informazioni di produzione. Nello studio, concentrandosi sulla produzione del prodotto, sono state identificate alcune categorie di dati (Figura 19) che PLM dovrebbe comunicare al MES, tra cui: modelli CAD, piani, distinte base, processi di produzione, istruzioni di lavoro e configurazioni delle macchine. Questi dati devono essere comunicati al MES dal PLM. Dall'altro lato, il MES dovrebbe essere in grado di comunicare al PLM, mediante dei report, qualora siano rilevati problemi in merito a questi dati.

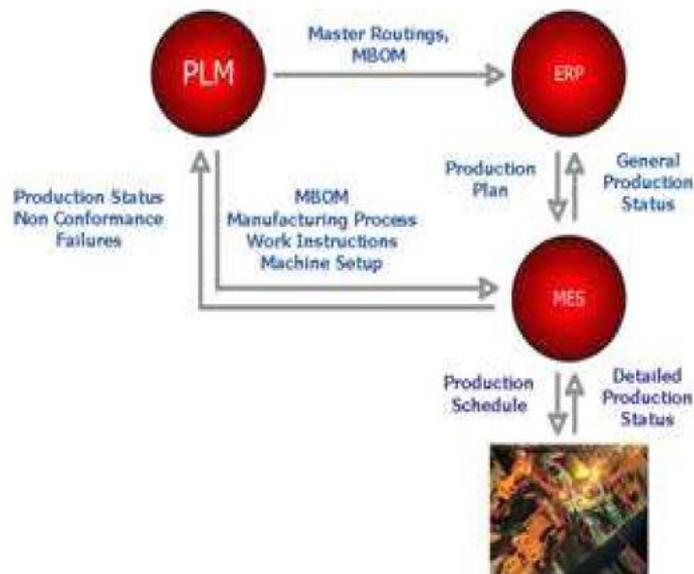


Figura 19 - Diagramma flusso informativo PLM-MES (A. Ben Khedher, 2011)

Un'altra proposta formulata in (D'Antonio Gianluca, 2017) afferma che, nel flusso dalla progettazione alla produzione, il PLM dovrebbe contenere le informazioni necessarie per definire le proprietà della parte finita da produrre. Il MES, invece, dovrebbe raccogliere le informazioni necessarie per trasformare il prodotto definito nel PLM in un oggetto fisico, ad esempio i cicli e i parametri di processo. Dallo studio condotto si evince inoltre che il PLM contiene anche dati relativi alle caratteristiche necessarie per garantire una corretta qualità del prodotto, mentre il MES contiene le fasi operative necessarie per valutare la qualità del prodotto. In sintesi, il sistema MES deve contenere solo informazioni di processo, mentre le informazioni sul prodotto devono essere memorizzate nel PLM; tuttavia, in molti casi, MES contiene anche informazioni sul prodotto. Ciò può portare a informazioni duplicate (cioè informazioni contenute sia nel PLM che nel MES), con possibili rischi di errori. Nel flusso opposto (cioè dalla produzione alla progettazione), MES è il deposito delle informazioni raccolte sul campo in reparto. Questo ruolo è potenziato dal paradigma Industry 4.0: le risorse saranno sempre più dotate di sensori e dispositivi per l'acquisizione dei dati ed è necessario un approccio strutturato per la loro analisi e raccolta. Una connessione tra PLM e MES consente ai product manager e ai progettisti di identificare in qualsiasi momento possibili criticità, valutarne l'impatto e sviluppare possibili soluzioni. Ciò può portare a un miglioramento complessivo della qualità del prodotto: non appena viene riscontrata una criticità, i progettisti possono prendere decisioni per risolverlo, in base ai dati raccolti in officina e memorizzati nel MES. Inoltre, quando un nuovo prodotto viene rilasciato, la fase di produzione di ramp-up può

essere strettamente monitorata attraverso il MES e le necessarie regolazioni alle caratteristiche del prodotto o ai piani di controllo possono essere fatte rapidamente.

Anche per lo scambio informativo PLM-MES esistono differenti modalità di integrazione. Fra i metodi analizzati in precedenza il middleware sarebbe un framework software utile per organizzare e collegare tutte le informazioni fornite al database di sistema in modo intuitivo. Questo tipo di applicazione è anche indicato come applicazione di integrazione e, queste applicazioni consentono lo scambio di informazioni sul prodotto tra applicazioni PLM (ad esempio, tra un'applicazione CAD e un'applicazione CAE). In modo molto rilevante, questa linea di pensiero viene ampliata da (A. Ben Khedher, 2011) nel cui lavoro riguardante diverse architetture di sistemi per l'implementazione di un MES-PLM integrato si descrive l'uso di un sistema di mediazione nell'architettura dei servizi web (Figura 20). Infatti, lo studio in questione sostiene una strategia di interoperabilità basata sulla tecnica Service-Oriented-Architecture (SOA). L'architettura proposta utilizza lo scambio di dati basato su tecnologie Internet per aiutare le aziende a sfruttare le opportunità generate dai Web services. Questa tecnica si fonda su due concetti: l'architettura software e i web services. Il concetto di architettura software definisce l'utilizzo dei servizi per supportare le esigenze degli utenti di software, rendendo tali servizi indipendenti ed accessibili dagli users in modo standardizzato. Il concetto di "Web service" indica un'applicazione (programma o sistema software) progettata per supportare interazioni interoperabili macchina-macchina su una rete, secondo la definizione di W3C SOA si basa fondamentalmente su tre ruoli: fornitore di servizi (provider), richiedente di servizi (requestor) e broker di servizi. Questi ruoli interagiscono tra di essi mediante tre fondamentali operazioni di base: pubblicare, trovare e associare. Abbiamo scelto questa tecnica perché SOA offre meccanismi di flessibilità e interoperabilità che consentono alle diverse tecnologie di essere dinamicamente integrate, indipendentemente dalla piattaforma e dal sistema in uso. Un'altra leva che spinge ad adottare una Service-Oriented-Architecture è la capacità di questa di promuovere la riutilizzabilità e ridurre il tempo di messa a disposizione e accesso alle funzionalità del nuovo sistema, consentendo alle aziende di pubblicare, scoprire e aggregare dinamicamente una serie di servizi web via Internet.

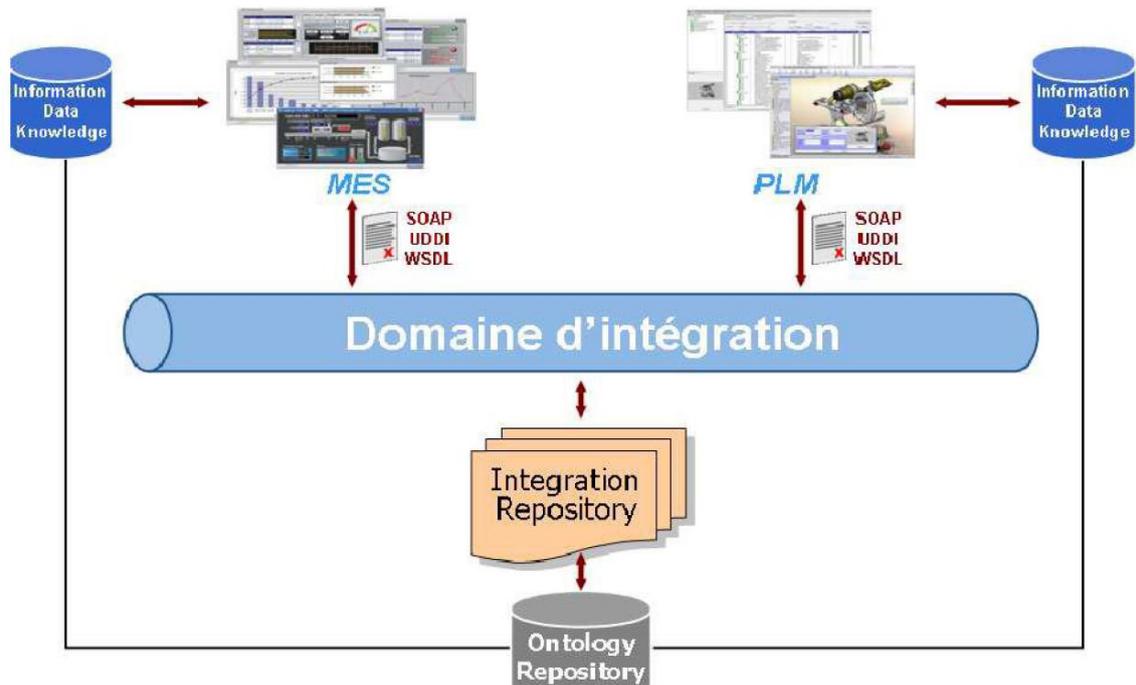


Figura 20 - Diagramma dell'architettura dei servizi Web (A. Ben Khedher, 2011)

L'integrazione PLM-MES ha rappresentato dunque il primo passo verso una nuova gestione del know-how aziendale, generando una serie di benefici in ambito produttivo e di monitoraggio dei costi. Tali vantaggi sono causati sia dall'implementazione dei singoli sistemi che dall'integrazione tra di essi. Secondo (D'Antonio G., 2015) il primo vantaggio atteso dall'implementazione del sistema di monitoraggio e controllo (MES) è, ad esempio, il miglioramento della qualità del prodotto: i sensori consentono di rilevare, misurare e monitorare variabili, eventi e situazioni che influiscono sulle prestazioni del processo o sulla qualità del prodotto. Rispetto alla procedura manuale solitamente eseguita al termine del processo produttivo, questo continuo controllo qualità consente di ridurre la quantità di prodotti difettosi, scarti e rilavorazioni e, a sua volta, di ridurre i costi di produzione. L'efficacia del controllo qualità è esaltata dalla tracciabilità del prodotto: nel caso in cui un prodotto non sia conforme alle specifiche, le cause del difetto possono essere rapidamente rilevate nel processo e vengono acquisite nuove conoscenze di processo; queste informazioni vengono quindi integrate nel sistema PLM e sono disponibili per ulteriori miglioramenti del prodotto e del processo. I dati raccolti e i risultati delle analisi possono essere utilizzati anche per pianificare strategie innovative, prendere decisioni per una reazione migliore e più rapida ai cambiamenti del mercato e per migliorare la competitività di un'azienda: i costi di produzione e i tempi di ciclo possono essere ridotti grazie alla riduzione dei difetti e della variabilità del prodotto, mentre la produttività e la capacità di realizzare prodotti innovativi di alta qualità possono essere aumentate. A tal fine, l'integrazione tra i diversi sistemi informativi consente uno scambio di dati più efficace all'interno e tra le aziende, portando a una maggiore agilità aziendale e a una migliore qualità delle informazioni trasmesse. L'integrazione PLM-MES è utile anche per migliorare la sostenibilità dei processi. L'implementazione di un sistema di monitoraggio e controllo consente di prevedere la qualità delle parti prodotte, di evitare operazioni inutili e di concentrare le azioni di rielaborazione. La riduzione dei prodotti difettosi

consente di ridurre il consumo energetico e l'impatto ambientale (ad esempio, utilizzo dei materiali, consumo di acqua, emissione di inquinanti). Nel prossimo futuro, le azioni volte a migliorare la sostenibilità svolgeranno un ruolo strategico e forniranno un vantaggio competitivo. Inoltre, memorizzare in un PLM i risultati delle analisi eseguite dal MES consente di condividere tali conoscenze ovunque possa essere utile, di supportare le persone nel prendere decisioni consapevoli e di intraprendere pratiche di miglioramento continuo.

#### 2.4 Integrazione tra sistemi ERP, PLM e MES

Sebbene non sia tutt'ora presente un'ampia e consolidata letteratura sul tema, l'integrazione dei tre sistemi informativi aziendali ERP, PLM e MES rappresenta lo scenario principale verso cui muovono le ricerche accademiche e, di conseguenza, le applicazioni aziendali. Già in (Grieves, 2007) si individuano delle tipologie di prodotti per i quali un'integrazione completa dei tre sistemi possa essere adeguata, ovvero:

- I prodotti “*Contract product*”: la cui produzione conduce all'implementazione un sistema informativo specifico che ne gestisce le fasi di sviluppo. In questo caso, le interazioni tra i sistemi ERP, PLM e MES richiedono scambi di dati multipli tra PLM ed ERP per tenere conto di ogni esigenza del cliente all'interno dei lavori di progettazione;
- I prodotti “*Configure-to-order*”: l'interazione tra PLM, ERP e MES in questa tipologia di produzione ha portato ad utilizzare il sistema ERP per gestire la complessità dei calcoli basati su regole di configurazione definite all'interno della fase di progettazione del prodotto. Dunque, alla fase di produzione (già altamente customizzata) segue la fase di personalizzazione del prodotto;
- I prodotti “*Assemble-to-order*”: questa produzione, essendo finalizzata al medesimo prodotto per periodi temporali notevoli, prevede un basso tasso di scambio informativo tra sistemi. Perciò, l'interazione tra PLM, ERP e MES è caratterizzata da un massiccio scambio di dati tra ERP e MES che consente la realizzazione del prodotto a seconda dell'ordine da assemblare;

Il concetto viene ripreso in (Saaksvuori A., 2008), dove si afferma il ruolo di un Manufacturing Execution System per l'integrazione completa dei tre sistemi. Il sistema MES risulta fondamentale in quanto agisce come interfaccia tra PLM e MES definendo ciò che deve essere prodotto e le risorse per farlo. Per comprendere quali informazioni debbano scambiare i tre sistemi è possibile utilizzare il modello informativo proposto in (A. Ben Khedher, 2011) e riportato in Figura 21. In esso si riconoscono due differenti flussi informativi: PLM-MES ed ERP-MES o ERP-PLM. Il flusso bidirezionale PLM-MES coinvolge informazioni di alto livello (riguardanti la progettazione) gestite dal PLM ed informazioni di basso livello (riguardanti la produzione) gestite dal MES. Questi flussi si uniscono in un loop all'interno del quale sono costantemente scambiati dati di prodotto e feedback di produzione. Invece, il flusso che coinvolge il sistema ERP agli altri due è caratterizzato dallo scambio di informazioni ad ampio spettro. Ad esempio, il sistema ERP riceve dati riguardanti la struttura del prodotto (principalmente la BOM) e restituisce verso il sistema PLM gli ordini di lavoro da eseguire e gli standard di qualità da rispettare per la realizzazione del prodotto.

Infine, è importante rilevare come l'integrazione tra sistemi ERP, PLM e MES stia gradualmente abbandonando la struttura di un'interazione tra sistemi indipendenti per assumere i connotati di un unico ampio sistema integrato di conoscenza. Nel capitolo seguente sarà fornito un esempio di questi nuovi sistemi mediante l'analisi del caso Eurodies.

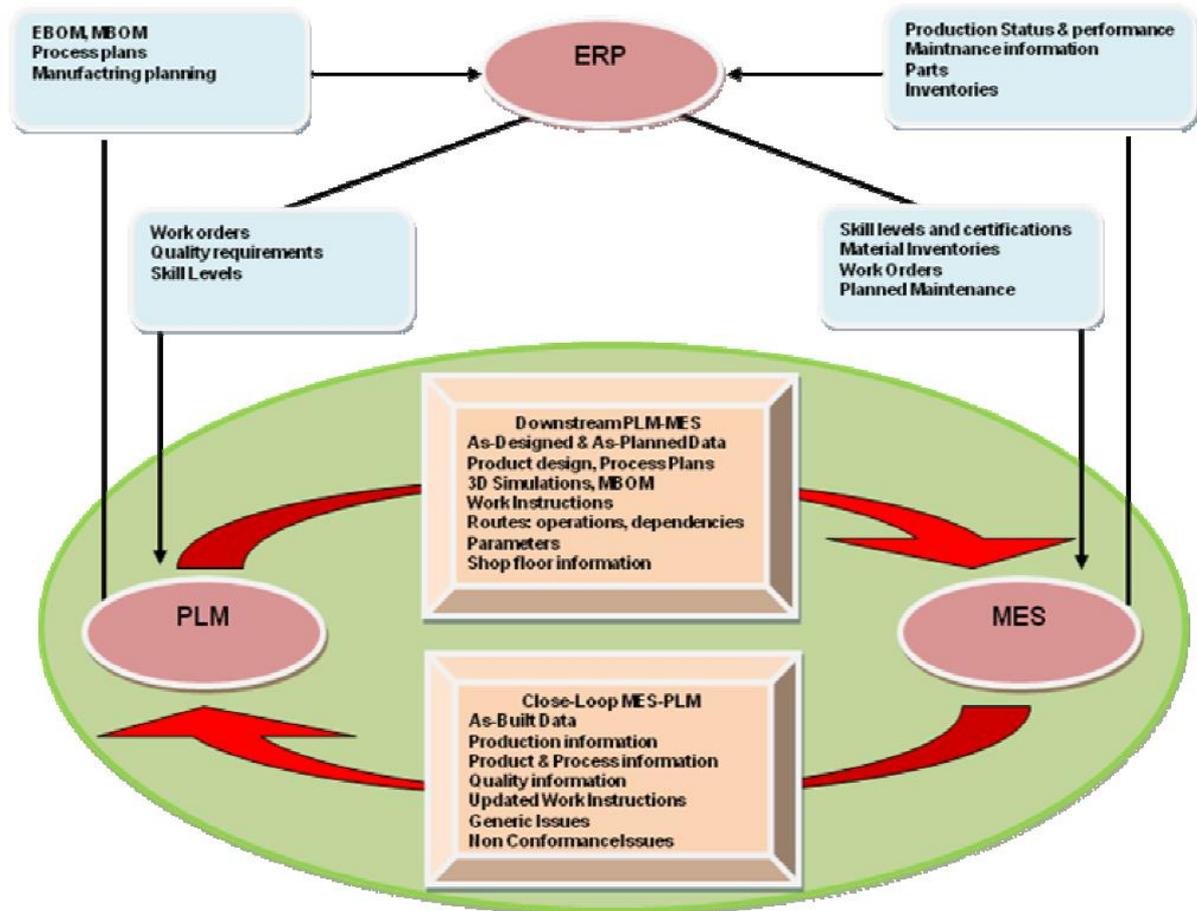


Figura 21 - Modelli informativo per integrazione ERP, PLM e MES (A. Ben Khedher, 2011)

### 3. Gestione del know-how produttivo nel caso Eurodies: descrizione e analisi

Come affermato nel capitolo precedente, l'integrazione tra sistemi informativi aziendali assume rilevanza sempre crescente nel processo di miglioramento delle performance produttive di un'impresa. Questa evoluzione ha portato ad un cambio di paradigma nel pensare la gestione della conoscenza aziendale: partendo dai primi software di gestione delle informazioni, ideati e sviluppati per rispondere alle esigenze produttive delle singole funzioni, fino ad arrivare agli odierni sistemi di gestione del know-how d'impresa, che incorporano la totalità delle funzionalità svolte dalle diverse divisioni aziendali.

#### 3.1 Il progetto HOME

Eurodies, secondo (G. Bruno, 2021) rappresenta un esempio di azienda coinvolta in questo processo evolutivo. Essa, infatti, cooperando in sinergia con partner pubblici e privati, ha preso parte al progetto di ricerca "HOME" (*Hierarchical Open Manufacturing Europe*) finanziato con fondi europei erogati dalla Regione Piemonte. Tale progetto nasce per esplorare e promuovere lo sviluppo del modello produttivo Industria 4.0 secondo il quale la fabbrica è concepita come un'unica grande macchina "intelligente", dotata di architettura aperta e sistemi informativi, che comunicano tra loro e che consentono agli addetti ai lavori di monitorare diversi aspetti (criticità, costi, utilizzo ottimale delle risorse, tracciabilità, manutenzione, prestazioni operative, ecc.) in tempo reale. Un ambiente che funziona in modo organico consente di prendere decisioni più rapide e precise poiché basate su dati completi, trasparenti e integrati.



Figura 22 - Logo progetto HOME (IN PROGRESS, 2021)

I ventisette partner partecipanti al progetto HOME variano tra Enti di Ricerca, aziende di produzione industriale (tra cui Eurodies) e aziende di sviluppo tecnologico. Tra di essi, due sono stati i main partner di Eurodies nel progetto: il DIGEP (Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione) del Politecnico di Torino e AEC Soluzioni (PMI innovativa operante nella consulenza informatica mediante lo sviluppo di soluzioni software MES).

#### 3.2 Eurodies, overview aziendale

Come si evince in (E. Traini, 2021), Eurodies è un fornitore di secondo livello per produttori automobilistici conosciuti in tutto il mondo. Il principale punto di forza dell'azienda risiede nella sua capacità di sviluppare processi produttivi complessi in breve tempo fornendo prototipi e prodotti di preserie. Per questo motivo Eurodies è un perfetto esempio di approccio One-of-a-Kind Production nel produrre prodotti altamente personalizzati in base alle esigenze dei singoli clienti. La sua produzione in gran parte mira a supportare le maggiori case automobilistiche nelle diverse fasi dello sviluppo di un nuovo veicolo dove, nonostante i grandi passi nel campo della virtualizzazione prototipale, è sempre necessario ricorrere alla

realizzazione di prototipi fisici, sia per certificarne le funzionalità, sia per metterne a punto la producibilità. La grande competenza nei processi di trasformazione della lamiera, unita a un modernissimo parco macchine per la lavorazione sia degli stampi, sia della lamiera stessa, consentono all'azienda di soddisfare le esigenze più complesse della clientela, producendo gli elementi più complessi di una carrozzeria, come la fiancata, la relativa ossatura, o altri elementi strutturali di non facile esecuzione.



*Figura 23 - Logo EURODIES (IN PROGRESS, 2021)*

Coniugando al meglio le elevate professionalità artigianali degli addetti, con le competenze tecnologiche dello staff di progettazione, l'azienda è anche riuscita sino ad ora ad accontentare buona parte dei clienti sul piano delle tempistiche e dei costi. Pur tuttavia, la forte concorrenza mondiale nel settore dell'auto, spinge le case costruttrici ad abbreviare sempre più i tempi di sviluppo e a imporre costi e tempi contenuti e consegne garantite degli elementi richiesti. D'altro canto, ogni volta che si trova ad affrontare la lavorazione di un nuovo prodotto, inclusa la realizzazione delle attrezzature di stampaggio strettamente collegate alla scelta del metodo e del ciclo di lavoro, Eurodies si trova a effettuare una vasta quantità di scelte e a definire il processo di trasformazione nei minimi dettagli, come se si trattasse di un prodotto di serie. In fase di sviluppo del metodo e di progetto delle attrezzature, ogni errore, o imprevisto, può comportare rilavorazioni e, talvolta, anche correzioni delle attrezzature e dei programmi di lavorazione, che si ripercuotono sui tempi di consegna, oltre che sui costi di produzione. Poter progettare senza errori il metodo di lavorazione e i relativi processi, consente dunque all'azienda di minimizzare tempi e costi. Ma, poterne stimare con precisione le difficoltà e le possibili soluzioni sin dalle prime battute, in fase di contrattazione con il cliente, consente anche di potersi impegnare con serietà e certezza nei confronti di quest'ultimo, garantendo tempi e costi per l'esecuzione dei prototipi richiesti.

Uno dei fattori chiave per raggiungere questi obiettivi risiede nell'esperienza accumulata dall'azienda e dai suoi esperti nel corso degli anni che, oggi, è alla base della rapida ed efficiente capacità di risposta al mercato. Proprio questa esperienza – guadagnata ogni volta attraverso lunghi e onerosi processi di “trial and error” per la messa a punto dei processi di lavorazione di nuovi prodotti – può facilmente disperdersi con l'invecchiamento e la difficoltà di sostituzione dei tecnici e delle maestranze che contribuiscono ai ragguardevoli traguardi raggiunti e che oggi costituiscono il più grande asset aziendale.

Focalizzandosi pertanto sul know-how del caso Eurodies, il progetto portato avanti durante la partnership ha affrontato il problema di raccogliere, conservare e organizzare tutte quelle informazioni chiave di prodotto e di processo che rappresentano il sistema della conoscenza condivisa, per poterle riutilizzare e tramandare nel tempo.

### 3.3 Knowledge Based System framework: ricerca ed applicazione

L'attività portata avanti dal DIGEP nel corso dell'iter progettuale si è inizialmente soffermata su una attenta analisi della produzione OKP attuata da Eurodies. In seconda battuta, il team del Politecnico si è focalizzato sulla ricerca di una architettura software che potesse ottemperare alle esigenze del partner garantendo una gestione integrata dei dati lungo tutto il flusso produttivo. Per quanto concerne il primo aspetto, la principale criticità di una produzione altamente customizzata e prototipale consiste nella molteplicità di cicli produttivi ed operazioni che l'azienda deve mettere in atto per ottenere le differenti caratteristiche proprie di ogni prodotto.

A tal fine il partner accademico, nella seconda fase progettuale, ha condotto un'ampia ricerca conclusasi con la proposta di un framework in grado di raccogliere ed immagazzinare dati provenienti sia dalla progettazione del processo che dalla produzione. Questo framework si basa su un database centrale, denominato "Knowledge Based System" (KBS), contenente il sottoinsieme di dati rilevanti sia per PLM che per MES e che funge da ponte tra di loro. Anche se un MES può memorizzare tutte le informazioni riguardanti il monitoraggio della produzione, secondo il DIGEP, è importante mantenere in un sistema centrale le informazioni sia dal MES che dal PLM. Ad esempio, senza il KBS, non sarebbe possibile per l'azienda recuperare, per un dato prodotto ordinato da un cliente, i precedenti prodotti simili già prodotti, perché le informazioni su dimensione prodotto, categoria prodotto, cicli produttivi, materia prima, ecc. di solito non vengono presentati nel MES, ma solo nel PLM.

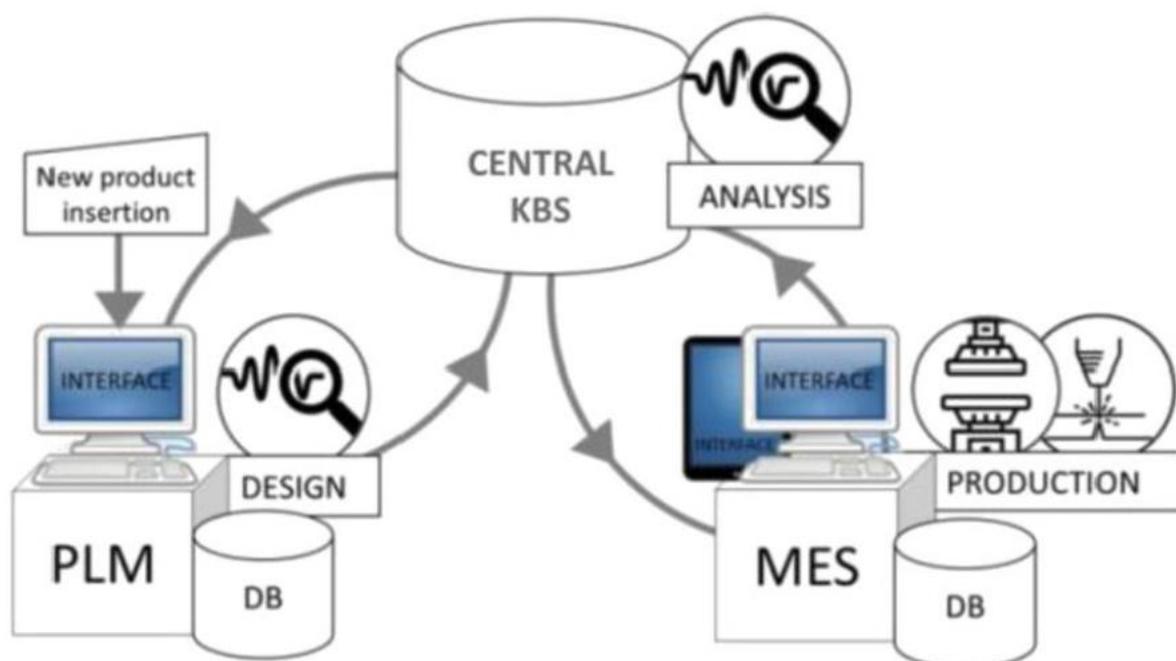


Figura 24 - KBS framework (IN PROGRESS, 2021)

Per implementare un sistema KBS, è necessario eseguire una serie di passaggi preliminari. Di seguito viene descritta un esempio di elenco di tali passaggi.

Innanzitutto, è necessario analizzare il contesto in cui opera l'azienda e analizzare tutti quei fattori, interni ed esterni, che possono impattare sui processi e le performances aziendali. In letteratura sono presenti molti esempi di strumenti completi utili a valutare il background in cui opera un'azienda, come: l'analisi PESTEL (Fattori politici, economici, socioculturali, tecnologici, ambientali e legali), l'analisi CATWOE (Clienti, Attori, processo di trasformazione, Weltanschauung o Worldview, Owner Environment) e l'analisi CAUSE (criteri, alternative, stakeholder, incertezze e ambiente). Attraverso la valutazione del contesto, si definisce un quadro chiaro degli obiettivi e dei possibili rischi per l'azienda e di come essi debbano essere monitorati. Questi fattori dovrebbero essere raggruppati in tre gruppi secondo la scala gerarchica prevista dalla piramide di Anthony, ovvero: strategico, tattico e operativo.



Figura 25 - Piramide di Anthony (Wikipedia)

Per implementare tutti gli aspetti del sistema informativo è possibile definire tre ulteriori step, descritti in (E. Traini, 2021):

- 1) Fase Funzionale: a partire dalla conoscenza del contesto, l'azienda deve decidere quali funzioni si aspetta di ottenere dal sistema, quali indici chiave di performance monitorare, chi può vederli e quale funzione di miglioramento possono avere sul processo.
- 2) Fase Tecnica: questo passaggio definisce come verranno eseguite le funzioni scelte, quale sarà la struttura del database selezionato, quali tabelle verranno interrogate e con quale frequenza. Conoscere la frequenza delle richieste e la velocità di aggiornamento dei dati in queste fasi preliminari è fondamentale per il terzo passaggio.
- 3) Fase Tecnologica: durante la quale vengono effettuati gli investimenti, l'azienda deve scegliere che tipo di hardware e software sono necessari per raggiungere gli obiettivi. È necessario conoscere le tecnologie presenti sul mercato per avere una soluzione il più su misura possibile.

Al termine di queste fasi l'azienda dovrebbe disporre di un sistema informativo basato sulla conoscenza, ma nulla garantisce che questo sia in linea con i propri obiettivi. Dovrebbe essere

definita come una mappa di metriche per verificare l'efficacia e l'efficienza del sistema; la verifica crea un ciclo che mira a generare un processo di miglioramento continuo.

### **3.4 Knowledge Based System framework: implementazione**

Saranno riportate di seguito nel dettaglio, le fasi di implementazione del database di KBS e la sua integrazione con i sottosistemi PLM e MESE. Innanzitutto, la Fase Funzionale ha visto i partner impegnati a raccogliere tutte le informazioni necessarie a descrivere il contesto produttivo in cui opera Eurodies e quali prodotti realizza. Le informazioni relative al prodotto sono infatti quelle maggiormente rilevanti ai fini della realizzazione del dimostratore e della definizione di opportuni indicatori di “performance” del KBMS, per quantificarne l’efficacia rispetto al precedente modus operandi. Per far ciò, Eurodies ha anche condiviso dettagliatamente le proprie conoscenze di “progetto/prodotto” con gli altri partner del WP, focalizzandosi sulle diverse famiglie di prodotti selezionate per la realizzazione progettuale. Per quanto riguarda la Fase Tecnica, la scelta di un database centrale che contenesse dati provenienti dai due sottosistemi integrati è stata articolata suddividendo i dati necessari nelle seguenti cinque categorie:

- 1) dati di prodotto, relativi ai singoli prodotti, comprese le informazioni sugli ordini dei clienti;
- 2) dati di produzione, relativi alle operazioni che possono essere eseguite dall'azienda ed alle risorse impiegate;
- 3) dati di progettazione del processo, relativi alla progettazione dei cicli di produzione di ogni prodotto;
- 4) dati di pianificazione della produzione, relativi all'assegnazione delle operazioni dei cicli di produzione alle risorse al fine di soddisfare le richieste temporali dei clienti;
- 5) dati di monitoraggio della produzione, relativi al monitoraggio delle operazioni in tempo reale, inclusi i tempi effettivi di inizio e fine delle operazioni e la valutazione della qualità sui pezzi prodotti.

Per ogni categoria, sono necessarie più entità per rappresentare i dati appartenenti alla categoria. La Figura seguente mostra le entità del KBS attraverso un modello di entità-relazione. Per motivi di leggibilità, solo le relazioni di chiave esterna sono rappresentate dalle frecce. Le entità blu rappresentano i dati provenienti dal sistema PLM, mentre le entità verdi contengono dati provenienti dal sistema MES. La descrizione dettagliata di ciascuna entità è riportata di seguito.

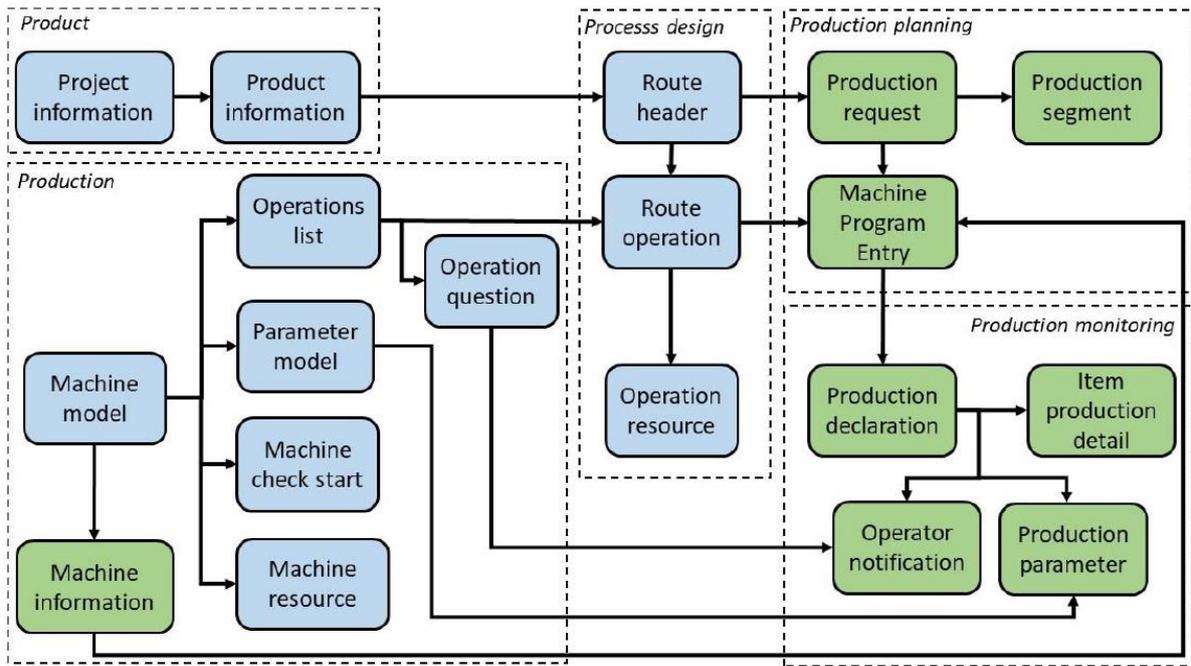


Figura 26 - KBS modello entità-relazione (G. Bruno, 2021)

Nella categoria “*Product*” sono presenti due entità:

- “*Project information*”, che contengono i dati di un ordine proveniente da un cliente, ovvero il codice, il nome, ecc. Del cliente, la quantità e il termine per la ricezione dei prodotti;
- “*Product information*”, che contengono i dati di un prodotto, ovvero la classificazione della famiglia, la materia prima e i file CAD con i disegni.

La categoria “*Production*” contiene sette entità:

- *Machine model*, che rappresenta le tipologie di macchine disponibili nell'impianto (es. Taglio laser 3D, pressa da 1000 ton).
- *Machine check start*, che raccoglie i controlli da effettuare prima di iniziare l'esecuzione delle operazioni su una macchina (es. Controllo chiusura porta, controllo pulizia, controllo corretto posizionamento).
- *Parameter model*, che rappresenta i parametri da impostare su una macchina prima di eseguire un'operazione (es. Velocità pressa, potenza, rotazione mandrino), insieme ad i loro valori massimi e minimi consentiti.
- *Machine information*, che rappresentano le macchine fisiche disponibili nell'impianto, ciascuna delle quali appartiene ad uno specifico modello di macchina.
- *Operations list*, che contiene l'elenco delle operazioni che possono essere eseguite su ogni modello di macchina.
- *Operation question*, che elenca le domande da porre agli operatori dopo l'esecuzione di un'operazione, per verificare se il risultato è corretto.
- *Resource information*, che contiene dati relativi alle altre risorse necessarie a un modello di macchina per funzionare correttamente (ad es. Olio, raspa, nylon).

Nella categoria “*Process design*” sono contenute tre entità:

- “*Route header*”, che rappresenta i cicli produttivi associati ad ogni prodotto (per ogni prodotto è possibile memorizzare più revisioni del ciclo produttivo). Il ciclo di produzione è l'elenco delle operazioni ordinate eseguite per produrre uno specifico prodotto.
- “*Route operation*”, che rappresenta le operazioni utilizzate in ogni ciclo.
- “*Operation resource*”, che rappresenta le risorse utilizzate in ogni operazione, come gli stampi per le operazioni di pressatura.

Per la categoria “*Production planning*” sono presenti tre entità:

- “*Production request*”, che riporta per ogni ciclo di produzione, la prima ora di inizio, l'ultima ora di fine, la durata stimata e la quantità di prodotti da produrre con quel ciclo
- “*Production segment*”, che riporta per ciascuna operazione del ciclo di produzione, la macchina assegnata, la prima ora di inizio, l'ultima ora di fine e la durata stimata.
- “*Machine Program Entry*”, che rappresenta, per ciascuna macchina, la pianificazione delle operazioni, ovvero la data di inizio e la data di fine panoramica.

Infine, le entità della categoria “*Production monitoring*” sono quattro, ovvero:

- “*Production declaration*”, che rappresenta la data effettiva di inizio e fine delle operazioni eseguite sulle macchine, insieme alla data degli eventuali fermi macchina e alle relative motivazioni; qui viene riportata anche la quantità di parti buone e scartate.
- “*Production parameter*”, che riporta i valori dei parametri impostati in ogni operazione eseguita su ogni macchina.
- “*Item production detail*”, che riporta per le parti scaricate di un'operazione, il motivo dello scarto.
- “*Operator notification*”, che riporta le risposte degli operatori alle domande definite, per le operazioni eseguite su ciascuna macchina.

A queste categorie si aggiunge “*Project information*” in cui sono contenuti i dati relativi alla commessa del cliente. Questa categoria non è presente in figura poiché è gestita dall'ERP ed è quest'ultimo a inviarne il contenuto al resto del sistema.

Come riportato nel diagramma, quasi tutte le entità delle prime tre categorie (ovvero, prodotto, produzione e progettazione del processo) contengono dati provenienti dal PLM, mentre tutte le entità delle restanti categorie (ovvero, pianificazione della produzione e monitoraggio della produzione) contengono dati provenienti dal MES. L'unica eccezione è “*Machine information*”, perché l'elenco delle macchine effettive disponibili nell'impianto, anche se è un'informazione nota prima di iniziare la pianificazione della produzione, è un'informazione normalmente memorizzata nel sistema MES.

Dopo aver strutturato il database KBS, il team del DIGEP ha definito come i dati registrati dovessero fluire tra il database stesso ed i sottosistemi PLM e MES integrati. In particolare, il flusso di dati tra PLM e KBS può essere di due tipi: un flusso occasionale e uno continuo. Il primo flusso si riferisce alle informazioni immesse o aggiornate nel PLM a intervalli di tempo

irregolari e distanti, ad esempio un anno o più. Ad esempio, se l'azienda decide di acquistare una nuova macchina con caratteristiche diverse da quelle già presenti (es. Una pressa con una potenza massima superiore alle altre presse) o se si necessita di un nuovo tipo di operazione di lavorazione in stabilimento, è necessario per inserire nuove voci nelle entità corrispondenti del PLM. Il secondo flusso, invece, è quello relativo all'inserimento di nuovi cicli produttivi. Questo flusso è continuo perché ogni nuovo ordine del cliente corrisponde ad uno o più cicli di produzione, quindi i dati vengono generati nell'ordine delle ore. Questi dati non vengono trasferiti solo tra PLM e KBS, ma anche tra KBS e MES, dove sono disponibili per produrre la pianificazione della produzione dei nuovi cicli. Infatti, non appena un nuovo ciclo di produzione viene inserito nel KBS, il MES riceve i nuovi dati e li utilizza per aggiornare la pianificazione della produzione. Il flusso dati da MES e KBS, invece, contiene tutte le informazioni derivanti dal monitoraggio della produzione in tempo reale. Durante l'esecuzione delle attività pianificate, gli operatori possono memorizzare le informazioni riguardanti la data e l'ora di inizio e fine di ciascuna operazione, il numero di prodotti finiti e scartati e qualsiasi altro commento o annotazione che desiderano includere come informazioni aggiuntive. Ciò è particolarmente utile, perché in caso di guasto il gestore può controllare i risultati intermedi riportati per ogni operazione decidere una procedura alternativa per ottenere un risultato migliore.

Infine, durante la Fase Tecnologica, è stato realizzato operativamente il sistema partendo dalla scelta dei software tra quelli presenti sul mercato. Il partner AEC si è occupato di sviluppare un sottosistema MES per raccogliere la conoscenza di processo di Eurodies relativa ai prodotti delle famiglie selezionate, durante un regime di normale operatività. Gli altri due partners, Eurodies e DIGEP, si sono invece occupati del design e dell'implementazione del sottosistema PLM, introducendo una soluzione sistemica per la prima volta in azienda. Infine, per quanto riguarda il sistema ERP, è stata utilizzata la piattaforma già in uso in Eurodies da molti anni.

Il software PLM scelto è l'open source ARAS ([www.aras.com](http://www.aras.com)), il quale è stato sfruttato per digitalizzare e memorizzare le informazioni relative al prodotto, alla produzione e alla progettazione del processo. Attraverso una procedura automatica, i dati relativi alle entità identificate vengono periodicamente estratti dal sistema PLM e inseriti nel KBS. Per implementare il sistema MES, invece, è stata utilizzata la piattaforma MES commerciale JPiano (<https://www.aecsoluzioni.it/wp/en/jpiano-panoramica/jpiano-prodotti>). Anche in questo caso la sincronizzazione tra MES e KBS è gestita automaticamente. Il KBS è stato implementato come database PostgreSQL ([www.postgresql.org](http://www.postgresql.org)). Node-RED è l'applicazione open source che è stata utilizzata per lanciare le API REST (Application Programming Interface utilizzate per architetture di tipo Representational State Transfer), per elaborare i dati e inviarli al database KBS. Con Node-RED, il sistema ottiene i dati tramite la richiesta "GET" dell'API REST, pulisce e struttura i dati in base al formato KBS e li invia al database KBS tramite la richiesta "POST" / "UPDATE". Poiché l'API REST è basata su un meccanismo richiesta / risposta, il sistema esegue diverse iterazioni in base all'intervallo di tempo e confronta i dati acquisiti con i dati esistenti nel database KBS. Se i dati sono nuovi, "POST" i dati nel database KBS o, se viene modificato un valore di proprietà specifica di un'entità, eseguirà l'operazione "UPDATE". Allo stesso modo, se sono disponibili nuovi dati nel KBS, esegue l'operazione "POST"/"UPDATE" sull'URI corrispondente nel database

dell'applicazione. In PLM, il piano di processo e le operazioni di produzione hanno stati del ciclo di vita, ovvero stato preliminare, stato rilasciato, stato in modifica e stato obsoleto. Questi stati definiscono il flusso di dati in KBS. Se un utente crea un nuovo piano di processo con le operazioni corrispondenti e lo stato è impostato come preliminare, i dati non vengono trasferiti a KBS. In effetti, lo stato preliminare significa che il piano del processo non è completamente progettato o adeguatamente convalidato. Se lo stato viene promosso a rilasciato, i dati vengono sincronizzati nel KBS, consentendo così al MES di pianificare la produzione. Lo stato di modifica viene utilizzato per apportare modifiche a un piano di processo esistente che è già stato rilasciato. Quando un piano di processo non verrà più utilizzato per produrre prodotti, il suo stato viene impostato su obsoleto.

### **3.5 Knowledge Based System framework: popolamento del database**

Una volta terminata la fase di sviluppo software della soluzione, Eurodies ha provveduto al progressivo popolamento del Knowledge Based System. Questo processo ha portato alla creazione di quattro sezioni di dati, ovvero:

- 1) Anagrafiche, intese come strutture dati contenenti le informazioni relative a:
  - materiali che attraversano il sistema aziendale (ovvero prodotti finiti, mescole (materie prime), componenti di acquisto e stampi);
  - clienti e fornitori;
  - misure (informazioni base per poter generare successivamente i piani di controllo necessari per gestire la qualità);
  - dipendenti coinvolti nei processi produttivi (ovvero gestione di squadre, presenze, turni, competenze, allocazione dei carichi di lavoro).

Nel progetto HOME non sono considerati i semilavorati e gli assemblati per semplificazione del caso di studio. Tuttavia, questo lavoro non preclude la possibilità dell'inserimento della gestione di queste informazioni, ovviamente con l'introduzione di piccoli adattamenti: ad esempio, nella soluzione attuale, la BOM consiste semplicemente nell'esplicitazione della materia prima e andrebbe ampliata agli altri componenti qualora si introducessero semilavorati o assemblati.

- 2) Modello. In questa sezione i servizi previsti consentono di scambiare informazioni relative a:
  - risorse primarie, intese come impianti, macchine e linee;
  - risorse secondarie (accessori per la produzione e attrezzature);
- 3) Programmazione. Le informazioni di questa sezione servono per creare il ciclo di produzione (da intendersi come sequenza ordinata di operazioni). Il MES può suddividere la commessa di un cliente in ordini multipli la cui numerosità dipende da:
  - versione ciclo o variante (in quanto più il ciclo è da considerarsi definitivo più vi è la tendenza a lanciare tutta la commessa);
  - lotto progressivo.
- 4) Monitoraggio per consuntivazione e KPI: sulla base dei dati acquisiti in questa sezione il MES consentirà di monitorare lo stato di avanzamento della produzione e metterà a

disposizione del KBS vari feedback di produzione (rilevazione scarti, suggerimenti di miglioramento e vari).

Per non uscire dal contesto del presente lavoro di tesi, saranno riportati nello specifico solo gli elementi della raccolta dati svolta dal DIGEP in collaborazione con Eurodies mediante PLM ARAS. Di seguito, le schede di acquisizione dati di PLM ARAS utilizzate nel progetto.

Scheda anagrafica commessa - Mediante questa scheda è possibile inserire i dati anagrafici generali delle varie commesse in ordine dal cliente. In pratica, la scheda consente di inserire informazioni sulla commessa sia di tipo amministrativo (cliente, progetto, fase di avanzamento del progetto), sia di tipo tecnico (tipologia del materiale e una breve descrizione del pezzo).

The screenshot displays the ARAS INNOVATOR software interface for the 'Informazioni del progetto' (Project Information) form. The form is titled '31F15EFC5FBA417D88905292A0A31A02'. The 'eurodies' logo is visible on the left. The form contains several input fields and a metadata sidebar. The fields are: 'N° Commessa' (4889), 'ID Commessa' (4889), 'Cliente' (BI...), 'Prj' (G...), 'FASE' (B...), 'PKT' (14), 'Spres(mm)' (0,85), 'Materiale' (AL-5-STD NP-UM), 'Data' (02/12/2019), 'Durata' (12), and 'Descrizione'. The sidebar on the left shows 'Informazioni del progetto' with the following metadata: Created By: Innovator Admin, Created On: 05/08/2020, Modified By: Innovator Admin, Modified On: 05/08/2020, Locked By: A, Major Rev: 1, Generator: 1, State: . Colored boxes and arrows highlight specific fields: blue for 'N° Commessa', green for 'Dati Cliente', red for 'Materiale', and yellow for 'Descrizione'.

Figura 27 - Scheda anagrafica commessa (E. Traini, 2021)

Scheda anagrafica pezzi - Questa scheda consente di inserire i dati specifici della commessa, relativi ai pezzi da produrre. In pratica, la scheda consente di inserire il quantitativo complessivo e le tempistiche con cui i pezzi devono essere spediti al cliente finale. Inoltre, nella sezione dedicata alla famiglia, è possibile indicare il tipo di classificazione del prodotto così da poter raggruppare e analizzare tutti i prodotti che hanno cicli di lavoro simili.

The screenshot displays the 'Informazione Materiale' form in the Aras Innovator system. The form is organized into several sections, each highlighted with a colored box and an arrow pointing to it:

- ID Commessa:** A blue box highlights the 'ID Materiale' (4889.PZA.ESAN1) and 'Commissa' (4889) fields.
- Dati Commessa:** A green box highlights the 'Descrizione' (VERSTÄRKUNG FRONTKLAPPE VORN), 'Unità di misura' (N° PEZZI), 'Quantità pallet' (100), 'Data di pubblicazione' (02/12/2019), 'Materiale di base' (AL-5), 'Dimensioni', 'Tipo di definizione materiale ID', and 'Quantità del ciclo' (20) fields.
- Definizione Famiglia:** A red box highlights the 'Tipo' (Pezzo), 'Lato o Simmetria' (Pezzo Unico), 'Progressivo', 'Famiglia' (Elementi Strutturali), 'Sottofamiglia(PN)', 'Sottofamiglia(ES)', 'Sottofamiglia(NS)', 'Sottofamiglia(AZ)', 'Zona' (Anteriore), and 'Complessità' (Bassa) fields.
- Dati disegno con programma consegne:** A yellow box highlights the 'NR. Disegno', 'Indice' (E1A), 'Peso(kg)' (0,85), 'Data Prima Consegna' (21/08/2020), 'Quantità Prima Consegna' (20), 'Numero Totale di Consegne' (1), 'Frequenza Consegne' (0), 'Quantità a Consegna', 'Date di consegna per ogni consegna (gg/mm/aaaa)', and 'Quantità totale dell'ordine' (20) fields.

Additional fields visible include 'Materiale', 'Lavorazione', 'Componente', 'CAD File', 'CAD Hyperlink', and 'Note'.

Figura 28 - Scheda anagrafica pezzi (E. Traini, 2021)

Scheda anagrafica attrezzatura - Questa scheda consente di inserire i dati specifici delle attrezzature utilizzate per la produzione di un particolare prodotto e sono strettamente associate alla commessa. La maschera di input permette di creare l'attrezzatura (ad es. lo stampo completo) da utilizzare nell'operazione, definendo tutte le caratteristiche nel dettaglio: materiale, lavorazione ed eventuali tools (punzone, matrice, premilamiera, ecc.) di cui è composta l'attrezzatura stessa. I tools sono quindi riferiti alla specifica attrezzatura e non possono essere impiegati altrove.

The screenshot displays the 'Informazione Materiale' (Material Information) form in the Aras Innovator system. The form is titled 'euro dies' and contains the following sections:

- ID Compressa:** A blue box highlighting the 'ID Materiale' field (4889.STA.GH30010) and the 'Compressa' field (4889).
- Dati Compressa:** A green box highlighting the 'Descrizione' field (VERSTÄRKUNG FRONTKLAPPE VORN) and the 'Data di pubblicazione' field (20/07/2020).
- Definizione Famiglia:** A red box highlighting the 'Tipo' field (Stampo) and the 'Famiglia' field.
- Specifiche componente:** A yellow box highlighting the 'Materiale' field (Ghisa) and the 'Componente' field (Punzone).

Other visible fields include 'Unità di misura', 'Quantità pallet', 'Materiale di base', 'Dimensioni', 'Tipo di definizione materiale ID', 'Quantità del ciclo', 'Letto a Simmetria', 'Pezzo Unico', 'Progressivo', 'Sottofamiglia(PN)', 'Sottofamiglia(ES)', 'Sottofamiglia(NS)', 'Sottofamiglia(AZ)', 'Zona', 'Complessità', 'NR. Disegno', 'Indice', 'Peso(kg)', 'Data Prima Consegna', 'Quantità Prima Consegna', 'Numero Totale di Consegne', 'Frequenza Consegne', 'Quantità a Consegna', 'Date di consegna per ogni consegna (gg/mm/aaaa)', 'Quantità totale dell'ordine', 'CAD File', 'CAD Hyperlink', and 'Note'.

Figura 29 - Scheda anagrafica attrezzatura (E. Traini, 2021)

Scheda risorse - Si tratta di una scheda a servizio dei cicli di lavoro con cui è possibile creare oggetti/risorse che devono essere impiegati durante le lavorazioni. Questi oggetti vanno intesi come materiali “consumabili” e, pertanto, non vanno confusi con le attrezzature.

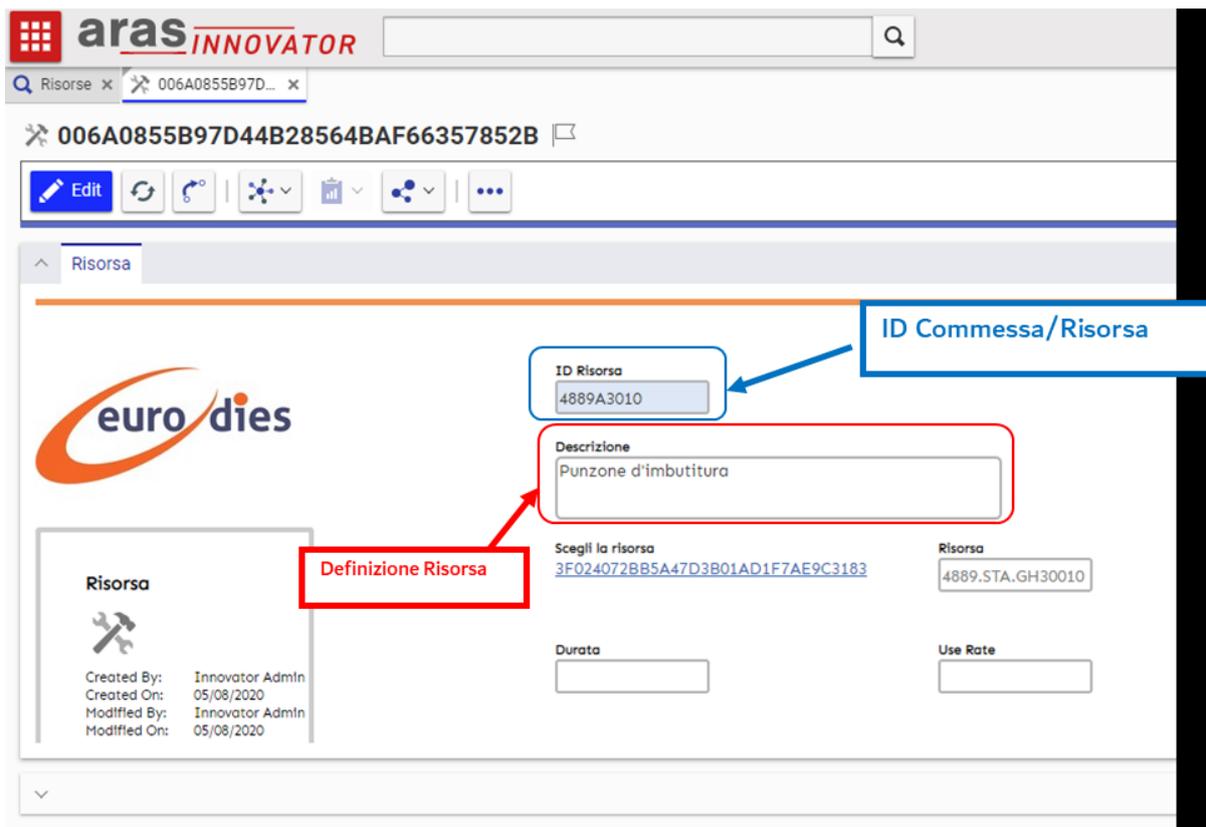


Figura 30 - Scheda risorse (E. Traini, 2021)

Scheda ciclo con i vari passaggi - Le immagini seguenti visualizzano il menù di creazione del ciclo di produzione in cui vengono schematizzati le fasi di lavorazione con le relative macchine associate ed i tools che devono essere utilizzati. La prima immagine mostra la prima schermata in cui si associa la commessa al relativo ciclo di lavoro e/o si revisiona un ciclo esistente.

**aras INNOVATOR**

Process Plans x 4889.K00 x

4889.K00

**ID Ciclo con riferimento della Commessa e indice di Revisione**

ID Process Plan: 4889.K00

Scegli la Commessa: 31F15EFC5FBA417D88905292A0A31A02

Commissa: 4889

Revisione: 0

Descrizione:

**Dati del prodotto**

Scegli il Prodotto: 177B05071BC541AF9BD1FE85404F3D7C

Prodotto: 4889.PZA.ESAN1

Quantità: 20

Durata (min):

**Quantità e durata dell'intero ciclo di lavorazione**

**Process Plan**

Created By: Innovator Admin  
 Created On: 05/08/2020  
 Modified By: Innovator Admin  
 Modified On: 03/09/2020  
 Locked By:  
 Major Rev: A  
 Release Date: 05/08/2020  
 Effective Date: 05/08/2020  
 Generation: 1  
 State: Released

**Produced Part** Locations

Part Number	Revision	Name	Type	State	Unit	Changes	Quantity
4889.K00	A		Component	Preliminary	EA	<input type="checkbox"/>	

Figura 31 - Scheda ciclo (E. Traini, 2021)

Grazie al menù seguente, si può definire la sequenza di operazioni del ciclo produttivo definendo la tipologia di operazione, la macchina da utilizzare e le risorse che servono a svolgere l'operazione stessa. Per ogni operazione si possono selezionare le attrezzature sopra definite.

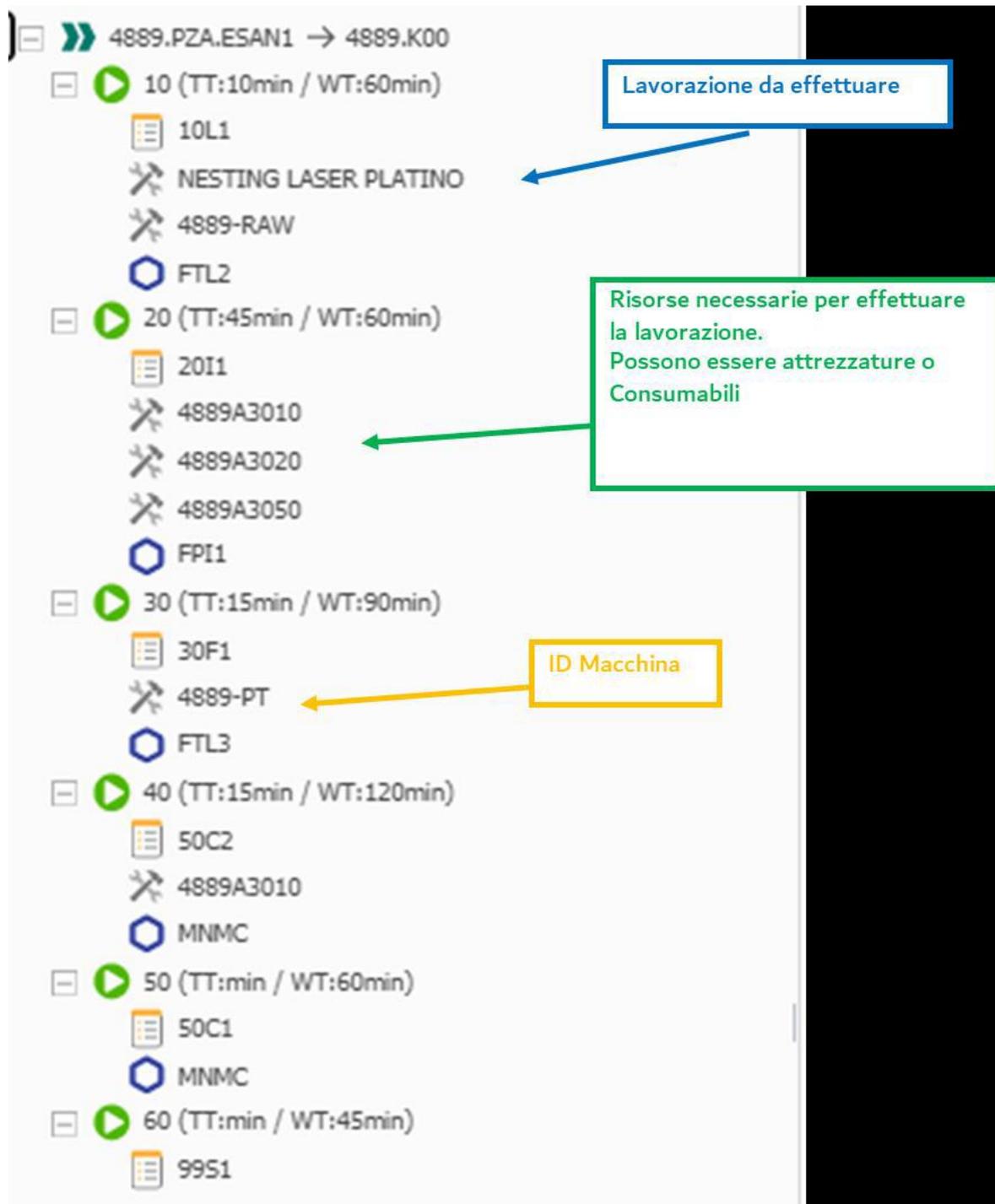


Figura 32 - Menù sequenza operazioni (E. Traini, 2021)

Nella figura che segue è rappresentato un esempio di descrizione del ciclo completo, comprensivo delle risorse (macchine, attrezzature, tool, ...) da impiegare in ciascuna operazione.

ProcessPlan : 4889.PZA.ESAN1 - 4889.K00

**Operation 10 :**

Tooling Time: 10min, Working Time: 60min

Resource Number	Name	Type
10L1	Taglio laser 2D "PLATINO"	Elenco delle operazioni
NESTING LASER PLATINO	Programma laser per Platino	Risorsa
4889-RAW	AL 5	Risorsa
FTL2	Taglio laser 2D	Modello della macchina

**Operation 20 :**

Tooling Time: 45min, Working Time: 60min

Resource Number	Name	Type
20I1	Imbutitura con 1600 ton	Elenco delle operazioni
4889A3010	Punzone d'imbutitura	Risorsa
4889A3020	Matrice d'imbutitura	Risorsa
4889A3050	Premiamiera	Risorsa
FP11	Pressa idraulica 1600t	Modello della macchina

**Operation 30 :**

Tooling Time: 15min, Working Time: 90min

Resource Number	Name	Type
30F1	Taglio laser finitura	Elenco delle operazioni
4889-PT	Pallet finitura laser 4889	Risorsa
FTL3	Taglio laser 3D	Modello della macchina

**Operation 40 :**

Tooling Time: 15min, Working Time: 120min

Resource Number	Name	Type
50C2	Correzione primo pezzo	Elenco delle operazioni
4889A3010	Punzone d'imbutitura	Risorsa
MNMC	Metrologia e collaudo manuali	Modello della macchina

**Operation 50 :**

Tooling Time: min, Working Time: 60min

Resource Number	Name	Type
50C1	Benestare	Elenco delle operazioni
MNMC	Metrologia e collaudo manuali	Modello della macchina

**Operation 60 :**

Tooling Time: min, Working Time: 45min

Resource Number	Name	Type
9951	Spedizione con contenitore specifico cliente	Elenco delle operazioni

Figura 33 - Esempio ciclo completo (E. Traini, 2021)

### 3.6 Conclusioni del caso Eurodies

Grazie a questo lavoro, Eurodies ha approfondito la propria conoscenza sulle tematiche PLM e valutato i costi ed i benefici di investimenti in ambito IT. Oltre a questo, l'azienda ha avuto l'occasione di valutare la risposta dei propri operatori all'introduzione di una piattaforma, come quella del KBS, che in un primo momento può risultare difficoltosa da utilizzare nello svolgimento dell'attività lavorativa. Il partner AEC ha condiviso ed esteso la propria conoscenza nel settore dei sistemi informativi aziendali, e svolto ulteriori test di sviluppo soluzioni IT di supporto a realtà specializzate nella prototipazione del settore automobilistico. Il partner DIGEP ha approfondito la propria conoscenza dello stato dell'arte sul design e l'integrazione dei sistemi informativi aziendali. Inoltre, tramite conferenze e giornali internazionali, ha divulgato i propri studi sui sistemi di produzione manifatturieri che comprendono anche la progettazione e lo sviluppo di un sistema PLM per l'OKP.

Più in generale, l'integrazione di MES e PLM attraverso la definizione di un sistema di Knowledge Based comune può migliorare in modo significativo l'automazione e la comunicazione all'interno della fabbrica di intelligence. Il framework proposto è

particolarmente semplice da implementare, e potrebbe essere molto utile per tutte quelle imprese che, nonostante la dimensione medio-piccola, gestiscono un gran numero di commesse con frequenti richieste di redesign e reengineering. La formalizzazione di un metodo generale di integrazione dei sistemi informativi è ancora troppo dipendente dalle tipologie di produzione: basti pensare all'enorme differenza tra processi di additive manufacturing e processi di sottrazione classici, ad esempio. Tuttavia, l'interesse a promuovere e diffondere la filosofia e le metodologie per ottenere, integrando, gestendo ed elaborando la maggior percentuale possibile di dati in possesso dell'azienda, è qualcosa di vivo nel mondo della manifattura scientifica. Questa capacità rimane un punto fermo negli obiettivi delle aziende che vogliono mantenere la competitività internazionale attraverso l'automazione, l'innovazione e il risparmio sui costi.

## **4. Implementazione dell'integrazione ERP, PLM e MES in Odoo**

L'integrazione analizzata nel capitolo precedente verte sull'impiego di un sistema informativo di tipo PLM come scheletro per l'implementazione di un Knowledge Based System. In questo capitolo, invece, si propone una soluzione fondata su un sistema informativo ERP al fine di evidenziare gli ambiti di integrazione con altri sistemi. Il software ERP scelto gestisce queste integrazioni attraverso una struttura modulare che ben si presta allo sviluppo di una soluzione KBS. In primis sarà presentato il processo manifatturiero scelto per il caso di studio ed in seguito sarà descritta la sua implementazione a sistema.

### **4.1 Descrizione del processo produttivo**

Il processo produttivo proposto in questo caso di studio riguarda la produzione di una ruota per biciclette da città. Il prodotto finale è ottenuto con una soluzione ibrida di produzione e acquisti: i raggi ed il cerchio della ruota sono prodotti internamente a differenza di mozzo, copertone e materiale di packaging che sono acquistati. Per i componenti oggetto della produzione sono stati ipotizzati flussi produttivi differenti: sebbene ciò non sia propriamente realistico in termini di costi, questa scelta consente un arricchimento della trattazione. Nonostante le diversità tra i processi, essi partono entrambi con l'approvvigionamento di acciaio in barre (per i cerchi) e bobine (per i raggi). Il processo pensato per il cerchione inizia con l'estrusione di barre di acciaio in profilati seguita da una loro curvatura e taglio per ottenere il cerchio finito. Per quanto concerne i raggi, si è pensato ad un processo in cui un filo di acciaio, inizialmente stoccato in bobine, viene stirato mediante un set di rulli per essere tagliato al laser ed infine forgiato a freddo. A valle dei due processi i componenti acquistati e quelli prodotti confluiscono in un centro di assemblaggio dove avviene la "raggiatura" della ruota ed il montaggio del copertone. Terminato l'assemblaggio, la ruota finita è sottoposta alle operazioni di packaging ed è pronta per essere stoccata in magazzino.

### **4.2 Distinta base e conteggio componenti**

Il prodotto finito proposto è dunque costituito da diversi componenti che sono di seguito elencati e gerarchizzati in forma di distinta base. La seguente distinta parte dal "Livello 0" in cui è posizionata la ruota per poi scomporla nei suoi costituenti nel livello immediatamente inferiore ("Livello 1"). Questo processo è reiterato per tutti i macro-componenti fino a raggiungere il livello più basso della gerarchia ("Livello 5") nel quale sono elencate le materie prime da cui il processo produttivo ha inizio.

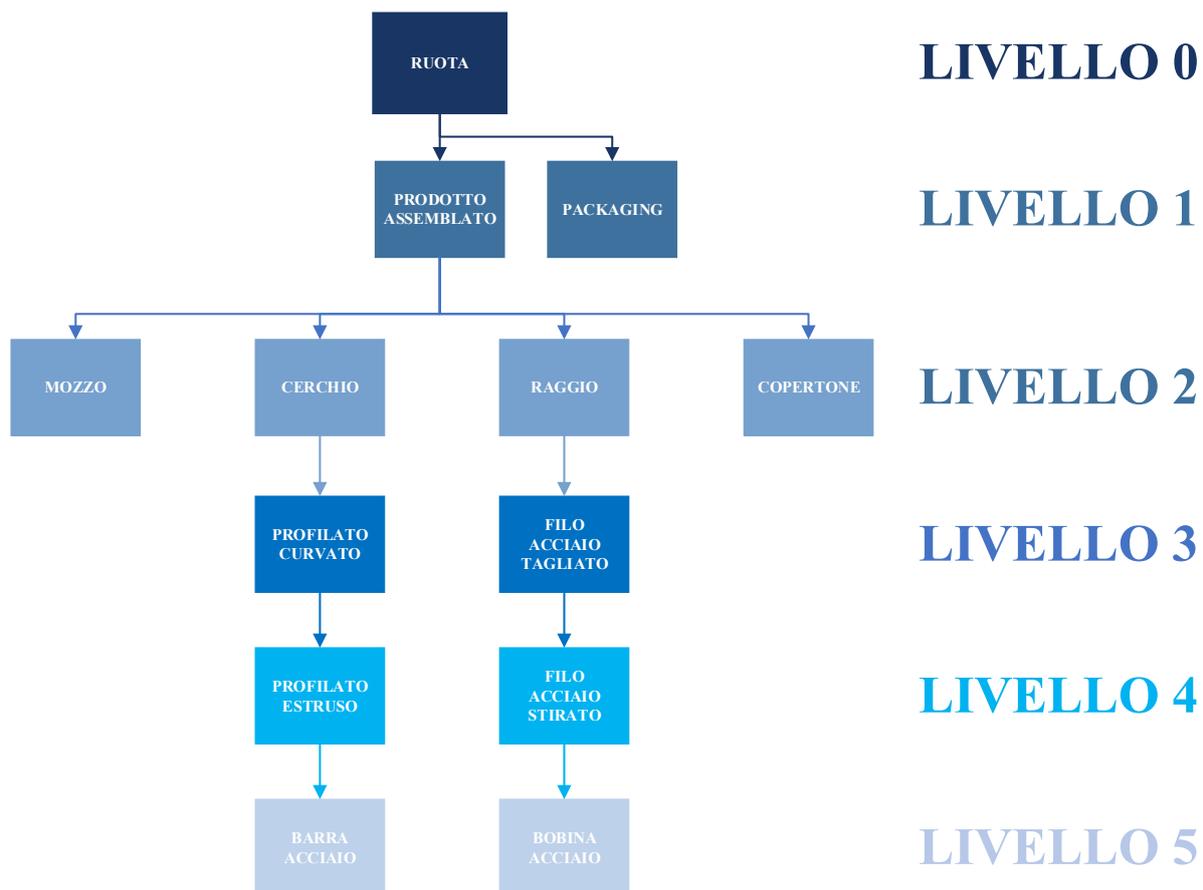


Figura 34 - Distinta base di una ruota per bici da strada

Di seguito, sono riportati i vari elementi analizzati nella distinta base per ognuno dei quali è stata conteggiata la quantità necessaria per il completamento del processo di produzione di una ruota.

Componente	Conteggio parti
Prodotto assemblato	1 pz
Cerchio Profilato curvato Profilato estruso Barra acciaio	1 pz 1 pz 20 m 20 m
Raggio Filo acciaio tagliato Filo acciaio stirato Bobina acciaio	36 pz 36 pz 9 m 1 t
Mozzo	1 pz
Copertone	1 pz
Packaging	1. pz

Tabella 1 - Conteggio parti e componenti distinta base

### 4.3 Centri di lavoro e cicli di produzione

Dopo aver analizzato i componenti e la struttura della distinta base, sono stati definiti i cicli di produzione necessari per la realizzazione del prodotto finito. Tenendo conto delle differenti lavorazioni richieste per ciascun componente, si è ipotizzato di associare ad ognuna di queste un ciclo di produzione. I cicli indicati sono complessivamente sette.

<b>Componente</b>	<b>Ciclo di produzione</b>
Cerchio	1) Estrusione della barra 2) Curvatura del profilato 3) Taglio del profilato
Raggio	1) Stiratura del filo 2) Taglio del filo 3) Forgiatura a freddo
Prodotto assemblato	1) Assemblaggio
Ruota bike	1) Imballaggio

Tabella 2 - Cicli di produzione

Per compiere questi cicli è necessario predisporre dei centri di lavoro che supportino il processo produttivo. Nel caso proposto si è pensato ad un numero di centri di lavoro pari a quello dei cicli produttivi in modo da semplificare l'implementazione a sistema. Per ognuno di questi centri di lavoro è stata allocata una unità produttiva (o macchina).

<b>Componente</b>	<b>Centro di lavoro</b>
Cerchione	1) Macchina per estrusione 2) Curvatrice idraulica 3) Troncatrice radiale
Raggio	1) Set di rulli 2) Macchina per taglio laser 3) Macchina per forgiatura a freddo
Prodotto assemblato	1) Macchina per assemblaggio
Ruota bike	1) Macchina per imballaggio

Tabella 3 - Centri di lavoro

#### 4.4 Odoo

Odoo è un software ERP open source creato nel 2005 in Belgio per opera di Fabien Pinckaers. Essendo stata pensata come una soluzione all-in-one, Odoo contiene più di trenta moduli relativi alle diverse funzioni coinvolte nel business.



Figura 35 - Logo Odoo

I moduli principali sono raggruppati in tre categorie descritte brevemente di seguito.

1) Finanza

Il modulo finanziario comprende tutte le funzionalità relative alla gestione contabile e finanziaria di un'azienda quali la gestione della contabilità generale, la gestione dei crediti e la gestione dei pagamenti online. Inoltre, con questo modulo è possibile inviare fatture a fornitori e clienti utilizzando diverse valute e monitorare le performance finanziarie mediante le funzionalità di reportistica.

2) Logistica

La logistica comprende tutte le attività relative al flusso fisico dei materiali, dei semilavorati, dei prodotti finiti e delle materie prime utilizzate in tutte le fasi della produzione. Le funzionalità di questo modulo riguardano tre macro-aree all'interno delle quali si possono svolgere diverse attività: vendite e distribuzione (attività riguardanti vendite operative, supporto alle vendite, listini prezzi, ordini, spedizioni, fatture e regolamenti dei contratti di vendita), pianificazione della produzione (attività riguardanti lo schedule produttivo basato su sistemi MRP) ed approvvigionamento (attività riguardanti l'acquisto di beni, il controllo delle scorte, la gestione del magazzino, la selezione e il ranking dei fornitori). La logistica è la funzione che, più di ogni altra, incarna il concetto classico di sistema ERP.

3) Risorse Umane

Il modulo delle risorse umane in Odoo non è composto da un'unica applicazione ma è stato suddiviso in più componenti, ognuna riferita ad una specifica area, ovvero: "Valutazione del Personale" (svolta mediante la creazione di questionari da sottoporre ai dipendenti); "Reclutamento" (utile a monitorare la necessità di nuovi dipendenti);

“Dipendenti”/“Costi Dipendenti” (permette di registrare e controllare le spese effettuate dai dipendenti); “Timesheet” (consente di gestire orari, turni, ferie e permessi). In aggiunta a questi moduli, sono state recentemente implementate delle funzionalità per la creazione di portali informativi mediante i quali i dipendenti possano monitorare tutto ciò che li riguarda in ambito Human Capital.

Questa modularità semplifica l’apporto di modifiche abbattendo il loro impatto sul sistema, e segmentandole in aggiornamenti di dimensioni ridotte che agevolano rilasci più rapidi.

Una peculiarità molto importante per comprendere l’unicità di Odoo sta nella sua community che riunisce più di 5400 sviluppatori dediti alla creazione di nuove app customizzate in base alle esigenze dei differenti modelli di business. Alcune di queste app contengono sistemi complementari da integrare ai moduli dell’ERP come ad esempio quelli di Supply Chain Management (SCM), Customer Relationship Management (CRM) e, soprattutto, Product Lifecycle Management (PLM).

Inoltre, Odoo è un framework completamente web-based e ciò garantisce una elevata scalabilità e portabilità del software ideale per piccole e medie imprese che possono partire anche dall’implementazione di sistemi con dimensioni contenute. Per condensare tutti gli aspetti descritti in una soluzione accattivante ed efficiente, Odoo propone due versioni del sistema: una “community version” ed una “enterprise version”. La versione community è la versione open source gratuita ed è liberamente disponibile per chiunque. La versione enterprise, essendo a pagamento, è disponibile come Software-as-a-Service e l’accesso al codice sorgente è limitato ai clienti e ai partner aziendali. Quest’ultima fornisce più funzionalità e servizi.

Per quanto concerne il seguente caso di studio, la versione utilizzata è la community version di Odoo 14 ed essa è stata implementata con l’ausilio del software Docker. La scelta di non procedere con il consueto download dal sito web di Odoo è dovuta alla volontà di creare un sistema con elevata portabilità e replicabilità.

#### 4.5 Docker

Docker è una piattaforma software open-source che permette di creare, testare e distribuire applicazioni con la massima rapidità. Docker raccoglie le applicazioni in unità standardizzate chiamate ‘container’ che offrono tutto il necessario per la loro corretta esecuzione, incluse librerie, strumenti di sistema, codice e runtime. Con Docker, è possibile distribuire e ricalibrare le risorse per un’applicazione in qualsiasi ambiente, tenendo sempre sotto controllo il codice eseguito.



Figura 36 - Logo Docker

Per fare ciò, Docker utilizza funzionalità di isolamento delle risorse del kernel Linux come 'cgroup' e 'namespace' per consentire a "container" indipendenti di coesistere sulla stessa istanza di Linux, evitando l'installazione e la manutenzione di una macchina virtuale. I 'namespace' del kernel Linux isolano ciò che l'applicazione può "vedere" dell'ambiente operativo (cioè albero dei processi, rete, ID utente e file system montati) mentre i cgroup forniscono l'isolamento delle risorse (quali la CPU, la memoria, i dispositivi di I/O a blocchi e la rete). Un container di Docker, a differenza di una macchina virtuale, non include un sistema operativo separato. Le risorse possono essere isolate, i servizi limitati e i processi avviati in modo da avere una prospettiva completamente privata del sistema operativo, col loro proprio identificativo, file system e interfaccia di rete. Più container condividono lo stesso kernel, ma ciascuno di essi può essere costretto a utilizzare una certa quantità di risorse, come la CPU, la memoria e l'I/O. Docker accede alle funzionalità di virtualizzazione del kernel Linux o direttamente utilizzando la libreria 'libcontainer', inclusa nella soluzione software, o indirettamente attraverso libvirt, LXC o systemd-nspawn. L'utilizzo di Docker per creare e gestire i container può semplificare la creazione di sistemi distribuiti, permettendo a diverse applicazioni o processi di lavorare in modo autonomo sulla stessa macchina fisica o su diverse macchine virtuali. Ciò consente di effettuare il deployment di nuove release solo quando necessario, permettendo uno stile di sviluppo del tipo 'Platform As A Service' (PaaS).

Per utilizzare Docker è necessario effettuare il download del software al link <https://www.docker.com/products/docker-desktop> dove è possibile selezionare la versione docker compatibile con il sistema operativo del dispositivo su cui sarà installato. Nel caso in analisi, l'opzione selezionata è la versione compatibile con il sistema operativo MacOS per il quale è possibile scegliere la versione di Docker da scaricare in base al chip montato (Intel o Macintosh).

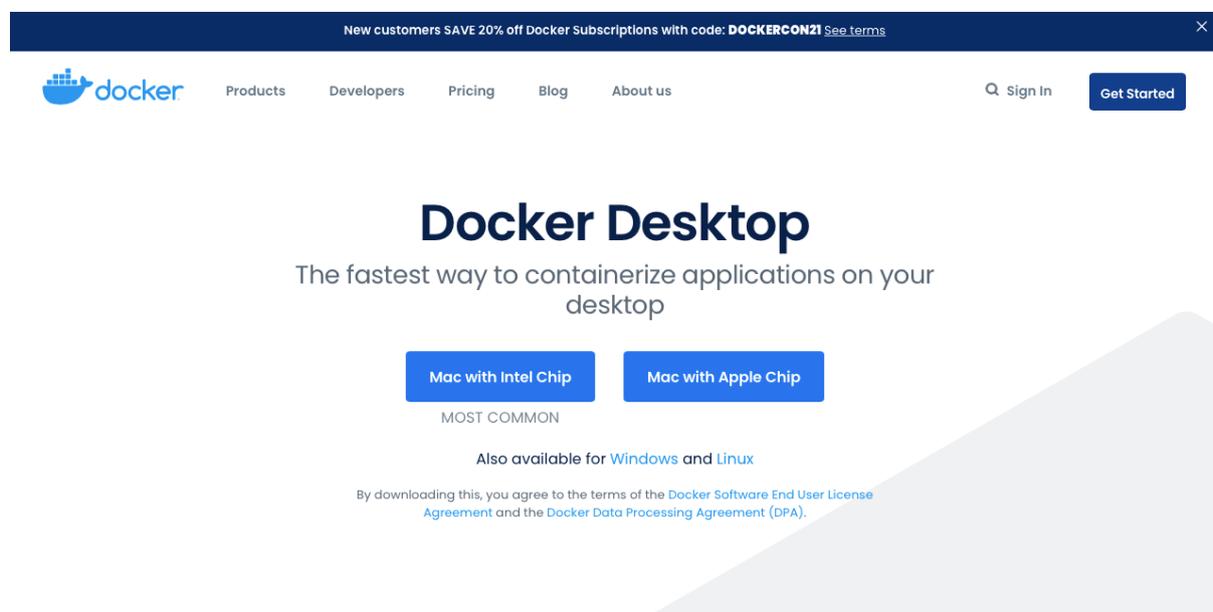


Figura 37 - Download Docker da sito web

Dunque, selezionando l'apposito pulsante, il download prende avvio automaticamente e al termine di esso il software è utilizzabile. Per lanciare Odoo mediante il software Docker sono stati seguiti gli step descritti in [https://hub.docker.com/\\_/odoo](https://hub.docker.com/_/odoo). Inizialmente è necessario ottenere l'immagine Odoo in Docker mediante l'apposito comando da terminale.

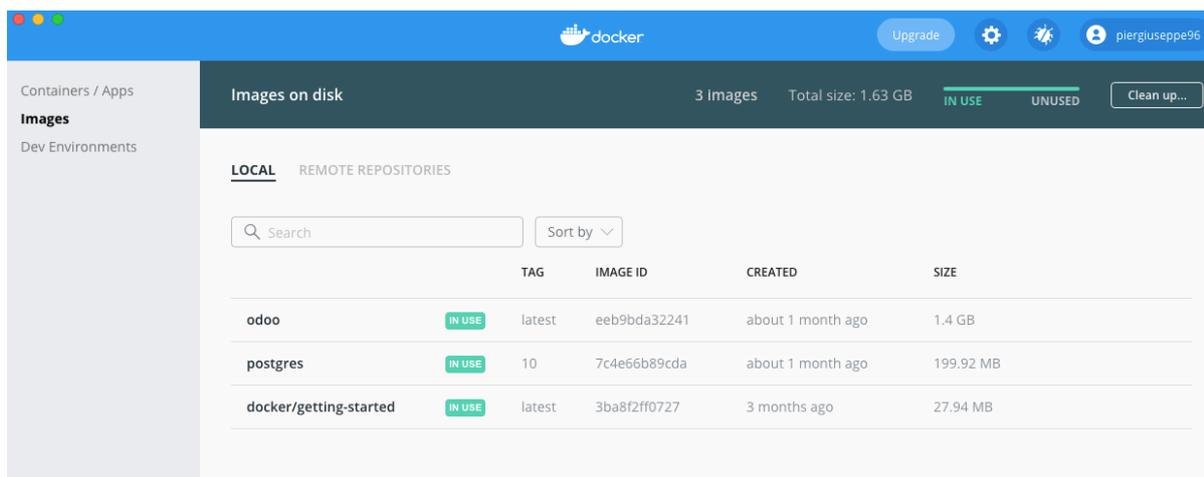


Figura 38 - Immagini sul disco Docker

Una volta ottenuta l'immagine è possibile visualizzare i container contenuti in essa nei quali sono ospitati sia il database dei dati gestiti in Odoo che il software vero e proprio. È possibile creare autonomamente dei container inizialmente non contenuti nell'immagine e collegarli ad essa. A questo punto, i container sono pronti per essere avviati ed il lancio può avvenire con due modalità:

- 1) Selezionando l'opzione "Open in browser" (riquadro blu), il sistema viene lanciato sul browser predefinito all'URL "localhost:8069";
- 2) Selezionando l'opzione "Terminal" (riquadro rosso), è possibile lanciare il sistema utilizzando la commandline del terminale.

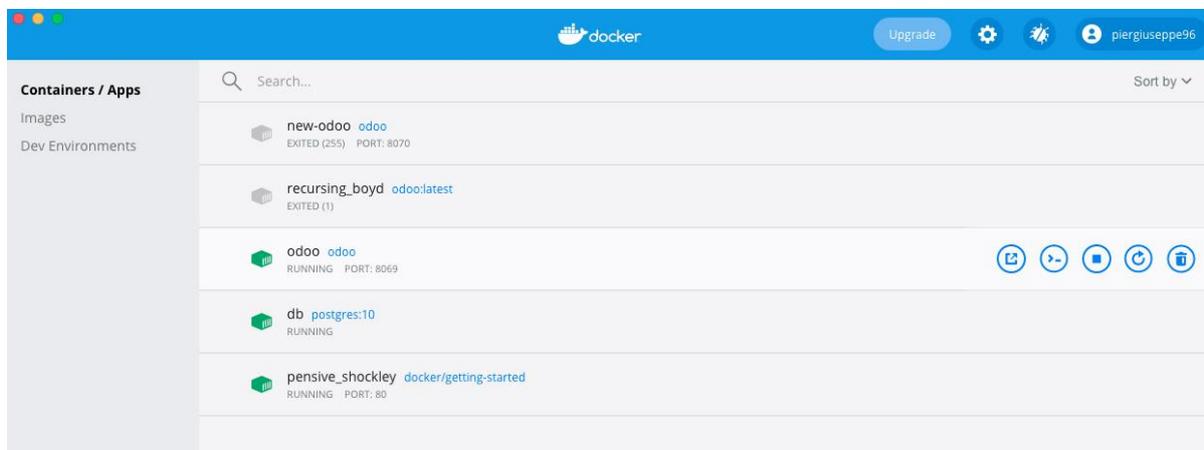


Figura 39 - Container in Docker

## 4.6 Modulo "Produzione"

Il modulo "Produzione" in Odoo espleta le funzionalità tipicamente assimilabili ad un sistema informativo di tipo MES, focalizzandosi sulla gestione della produzione elaborando anagrafiche di dati relative a prodotti, distinte base, centri di lavoro e operazioni di produzione.

### 4.6.1 Prodotti

La view "Prodotti" contenuta nel modulo di "Produzione" consente di immagazzinare informazioni relative ai prodotti utilizzati a qualsiasi livello del flusso produttivo.

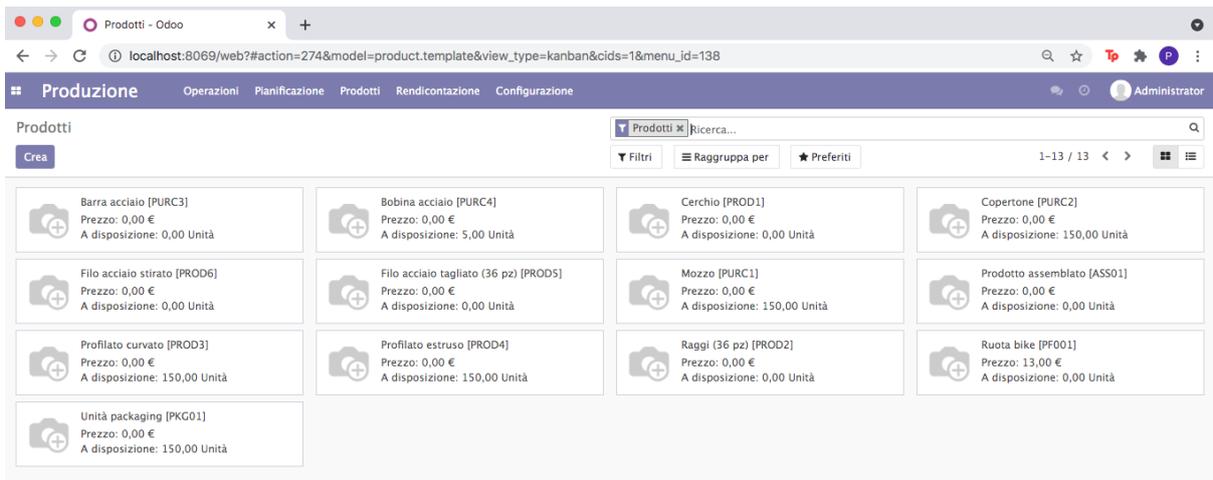


Figura 40 - View "Prodotti" in Odoo

Per ogni prodotto, è possibile indicare la tipologia del prodotto (acquistato o prodotto), le condizioni commerciali alle quali è acquistato o venduto (prezzo, fornitore, costo, imposta sul cliente, ecc), le condizioni di stoccaggio.

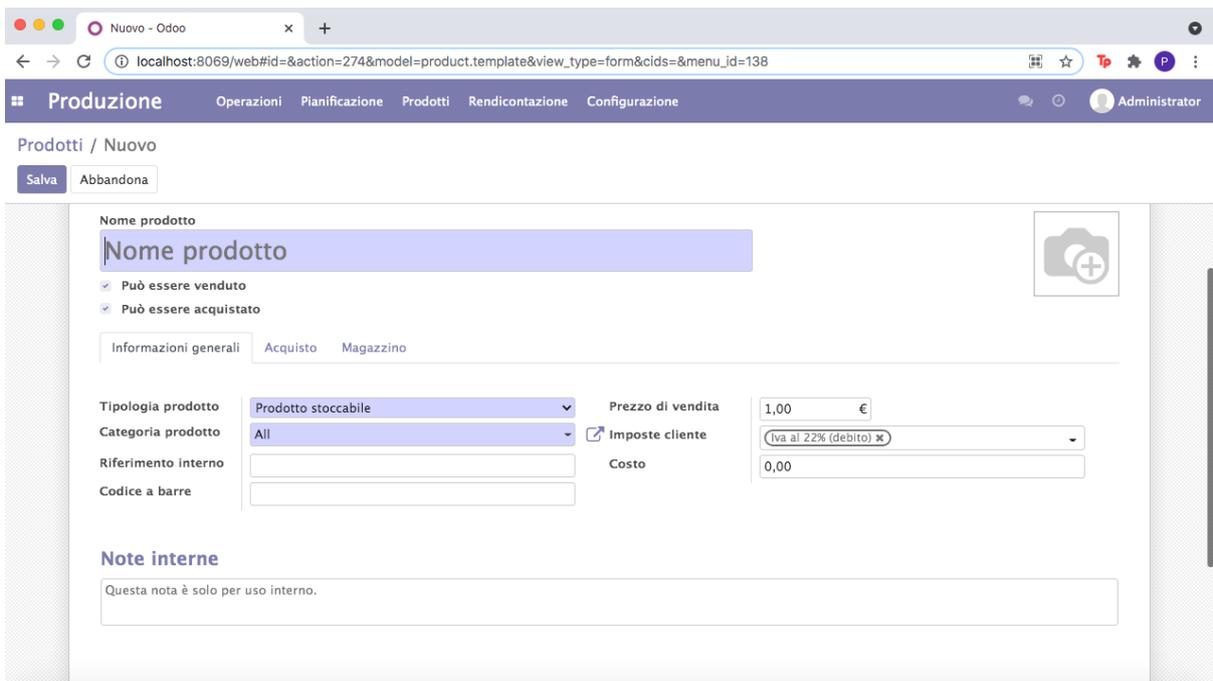


Figura 41 - Creazione prodotto in Odoo

#### 4.6.2 Distinte base

La view "Distinta base" consente l'inserimento a sistema delle distinte base. Ogni prodotto presente nel diagramma ad albero (vedi sopra) può essere scomposto nei suoi componenti mediante due tipologie di distinta: la distinta base "Normal BOM", ovvero la classica BOM; la distinta base "Kit" che scompone il prodotto nei suoi costituenti durante gli ordini di produzione e gli ordini di trasferimento.

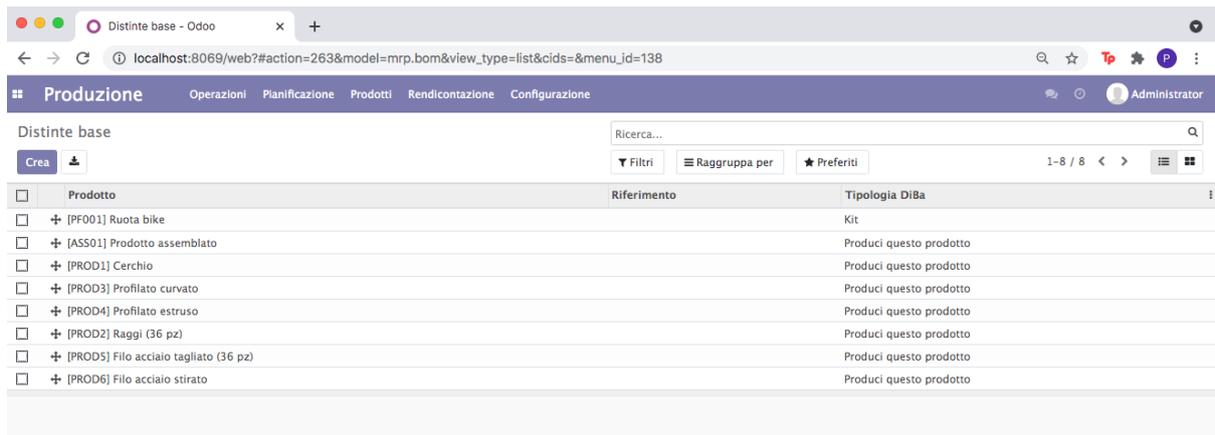


Figura 42 - View "Distinte base" in Odoo

Per ogni componente è possibile indicare la quantità necessaria per ottenere una unità del prodotto appartenente al livello immediatamente superiore della distinta base.

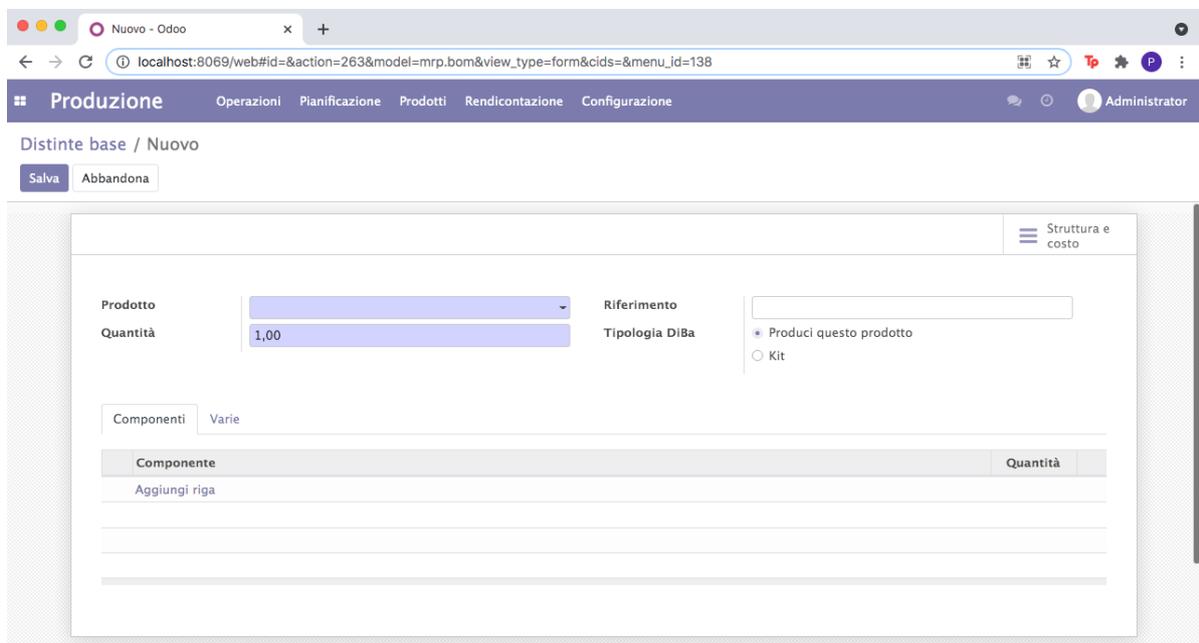


Figura 43 - Creazione distinta base in Odoo

### 4.6.3 Centri di lavoro

La view "Centri di Lavoro" consente l'inserimento a sistema dei centri di lavoro presso i quali sono completati i task di produzione. Per ogni centro di lavoro è possibile indicare:

- Orario lavorativo, indicato in ore settimanali;
- Costo orario;
- Tempi di set-up;
- Tempi di post-produzione;
- Capacità ed efficienza del centro di lavoro;

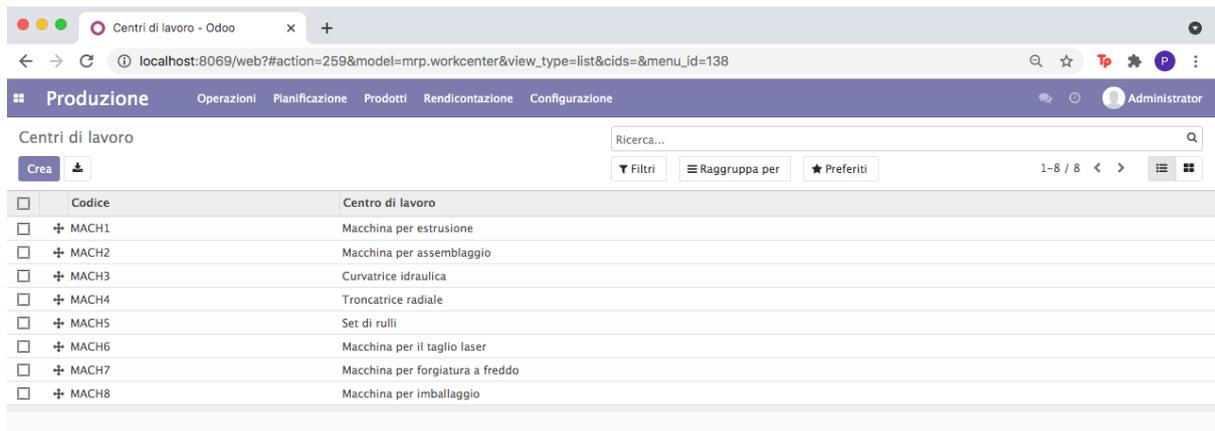


Figura 44 - View "Centri di lavoro" in Odoo

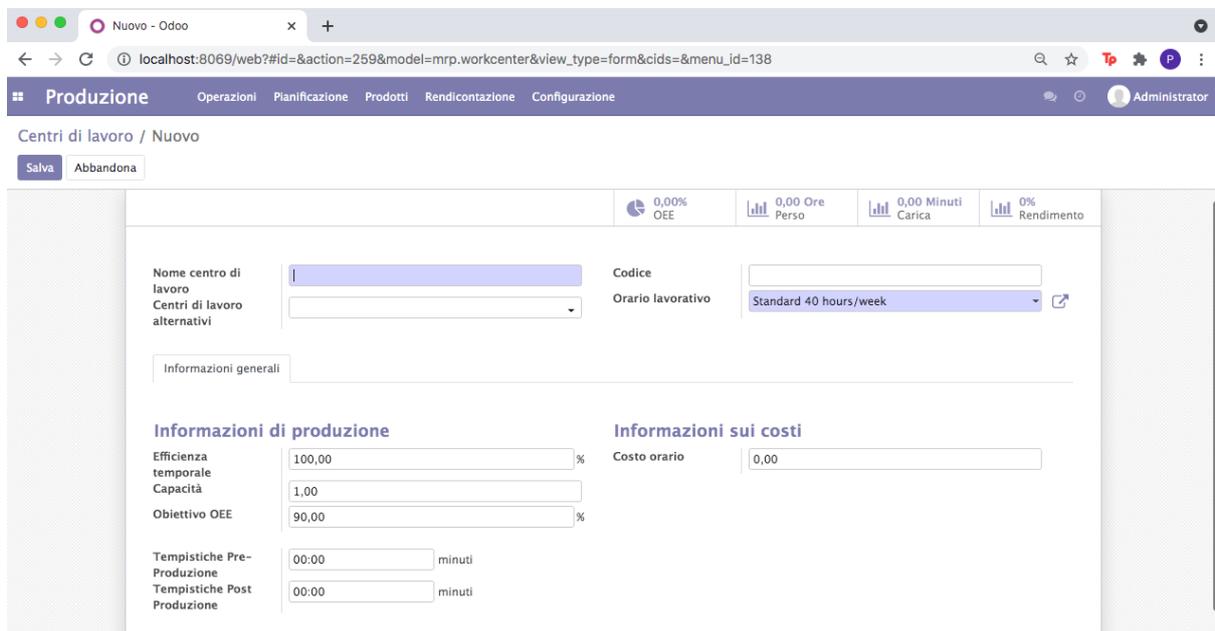


Figura 45 - Creazione centro di lavoro in Odoo

#### 4.6.4 Cicli di operazioni

La view "Operazioni" contiene informazioni riguardanti i cicli di produzione. I dati contenuti in questa view riguardano:

- Durata (può essere impostata manualmente o calcolata in base al tempo monitorato);
- Centro di lavoro (sul quale è eseguita l'operazione);
- Distinta base (coinvolta nell'operazione);
- Foglio di lavoro (ovvero documenti contenenti tutte le informazioni necessarie agli operatori per completare l'operazione in questione).

<input type="checkbox"/>	Operazione	Centro di lavoro	Durata (minuti)
<input type="checkbox"/>	+ Estrusione della barra	Macchina per estrusione	15:00
<input type="checkbox"/>	+ Curvatura del profilato	Curvatrice idraulica	01:00
<input type="checkbox"/>	+ Taglio del profilato	Troncatrice radiale	02:00
<input type="checkbox"/>	+ Stiratura del filo	Set di rulli	00:30
<input type="checkbox"/>	+ Taglio del filo	Macchina per il taglio laser	05:00
<input type="checkbox"/>	+ Forgiatura a freddo	Macchina per forgiatura a freddo	40:00
<input type="checkbox"/>	+ Assemblaggio	Macchina per assemblaggio	15:00
<input type="checkbox"/>	+ Imballaggio	Macchina per imballaggio	03:00
			81:30

Figura 46 - View "Operazioni" in Odoo

Operazioni / Nuovo

Salva Abbandona

Operazione:

Centro di lavoro:

Distinta base:

Foglio di lavoro:

Foglio di lavoro:  PDF  Presentazione Google  Testo

Descrizione:

Calcolo durata:  Calcolare in base a tempo monitorato  Impostare manualmente la durata

Durata predefinita:  minuti

Figura 47 - Creazione operazione in Odoo

#### 4.6.5 Ordini di produzione

L'avvio del processo di produzione si ottiene mediante la creazione di un "Ordine di produzione" e l'inizio del corrispondente "Ordine di Lavoro". La view "Ordini di produzione" contiene le informazioni necessarie per generare un ordine di produzione (OdP). In fase di creazione di un OdP le informazioni inserite riguardano:

- Nome del prodotto oggetto dell'ordine;
- Quantità del prodotto oggetto dell'ordine;
- Distinta base associata al prodotto oggetto dell'ordine;
- Data programmata per avvio delle operazioni di produzione;
- Identificativo del responsabile della produzione.

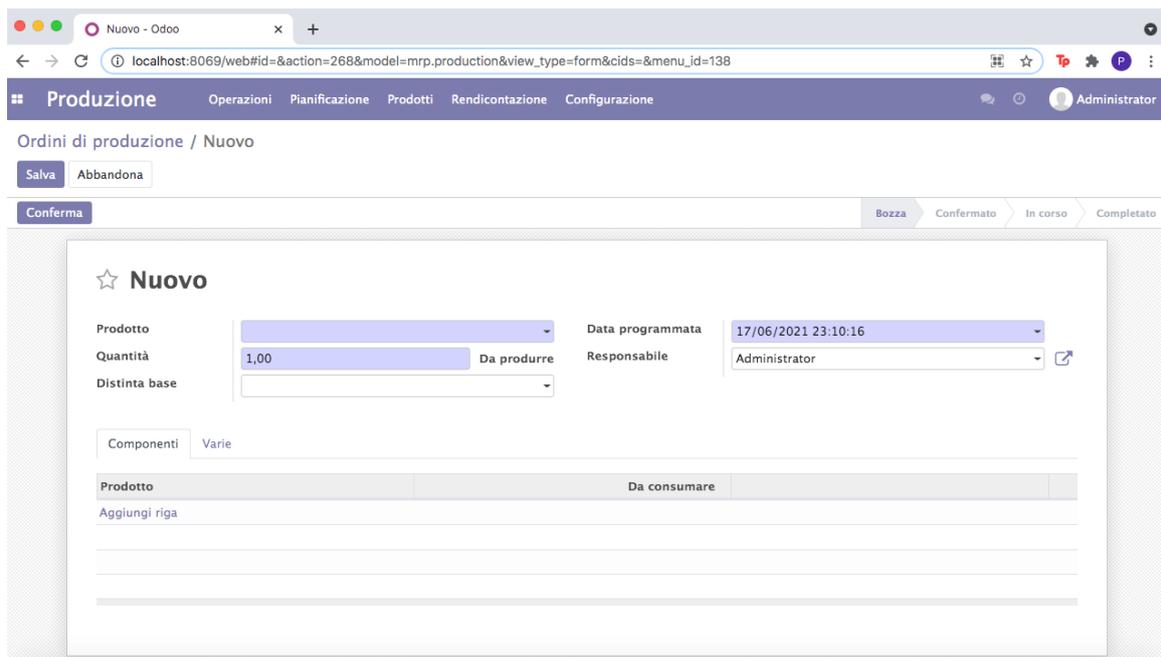


Figura 48 - Creazione ordine di produzione in Odoo

Una volta confermato l’OdP (stato dell’ordine “Confermato”), il sistema verifica la disponibilità a magazzino dei materiali necessari ed avvia i processi d’acquisto di conseguenza. Nel momento in cui si ottiene una disponibilità sufficiente, il sistema pianifica l’ordine di lavoro corrispondente all’OdP confermato. Al termine di eventuali attese il sistema lancia l’ordine di lavoro e tiene traccia delle tempistiche di produzione.

	Riferimento	Data programmata	Prodotto	Origine	Disponibilità materiale	Quantità	Stato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00009	Tra 9 giorni	[PROD2] Raggi (36 pz)		In attesa	2,50	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00011	Tra 7 giorni	[ASS01] Prodotto assemblato		In attesa	100,00	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00008	Tra 4 giorni	[PROD5] Filo acciaio tagliato (36 pz)		In attesa	90,00	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00007	Domani	[PROD6] Filo acciaio stirato		In attesa	180,00	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00012	Oggi	[PF001] Ruota bike		In attesa	100,00	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00010	Oggi	[PROD4] Profilato estruso		In attesa	100,00	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00006	Oggi	[PROD3] Profilato curvato		Pronto	100,00	Confermato
<input type="checkbox"/>	☆ WH/MO/00005	Oggi	[PROD1] Cerchio		Pronto	150,00	Confermato
						822,50	

Figura 49 - Riepilogo "Ordini di produzione" in Odoo

A produzione conclusa, le quantità di componenti necessarie e presenti all’interno del magazzino vengono automaticamente aggiornate dal sistema.

Inoltre, il modulo “Produzione” offre dei tool di reportistica utili per tracciare le performance del reparto produttivo aziendale. Ad esempio, è possibile verificare l’andamento della produzione sia a livello di OdP che di ordini di lavoro monitorando lo scostamento delle tempistiche di produzione dal target previsto per ogni ordine.

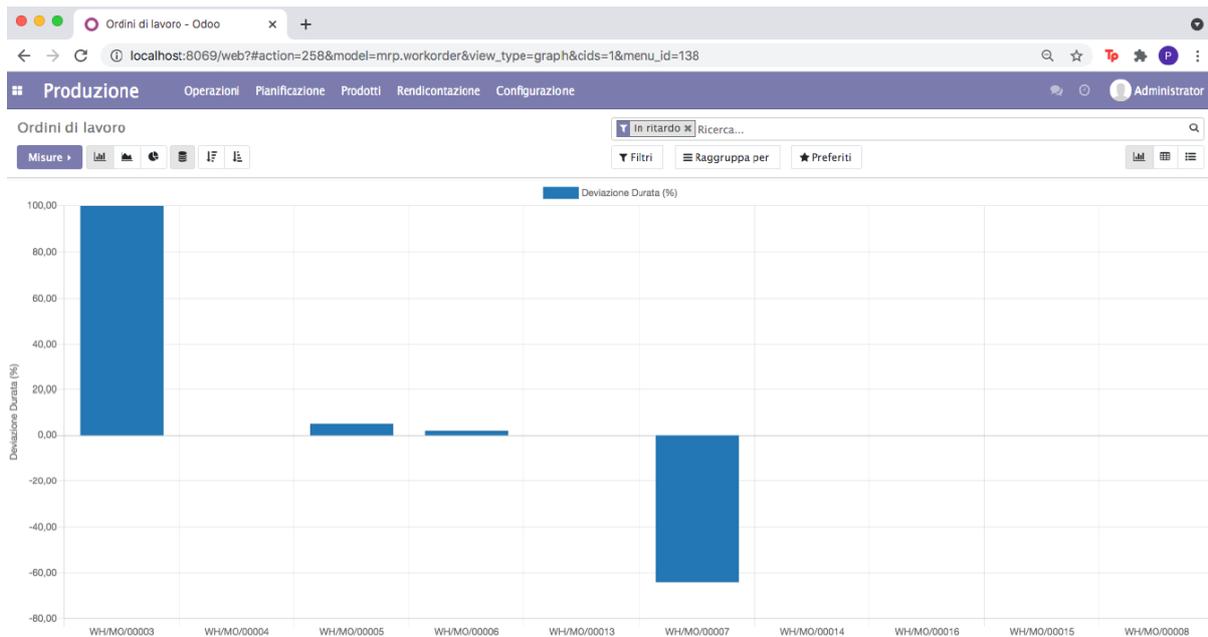


Figura 50 - Reportistica "Ordini di lavoro" in Odoo

#### 4.7 Modulo "Acquisti"

Il modulo "Acquisti" in Odoo consente di gestire l'approvvigionamento di materiali al fine di garantire lo svolgimento della produzione. Un ordine d'acquisto può essere generato sia manualmente dall'utente che automaticamente dal sistema. Nel primo caso, la creazione di una "Richiesta di Preventivo" implica l'inserimento dei campi:

- Fornitore, al quale viene inviata la richiesta di preventivo;
- Prodotto per il quale si intende creare la RdP e quantità da ordinare;
- Data di scadenza della richiesta;
- Data di ricezione preferita;

Richiesta di preventivo

☆ **New**

Fornitore:  Scadenza ordine:

Riferimento fornitore:  Data ricezione:

Richiesta di conferma

Prodotti

Prodotto	Descrizione	Quantità	Prezzo un...	Imposte	Imponibile	i
<input type="button" value="Aggiungi prodotto"/> <input type="button" value="Aggiungi sezione"/> <input type="button" value="Aggiungi nota"/>						

Indica termini e condizioni...

Importo imponibile: 0,00 €  
 Imposte: 0,00 €  
**Totale: 0,00 €**

Figura 51 - Creazione ordine d'acquisto in Odoo

Nel secondo caso, invece, è possibile impostare delle regole di riordino nel modulo “Magazzino” che consentano all’azienda di rifornirsi evitando rotture di stock. Queste regole fissano un target di quantità (massima o minima) oltre il quale viene automaticamente generata una richiesta di acquisto per riportare il livello di scorte al target iniziale.

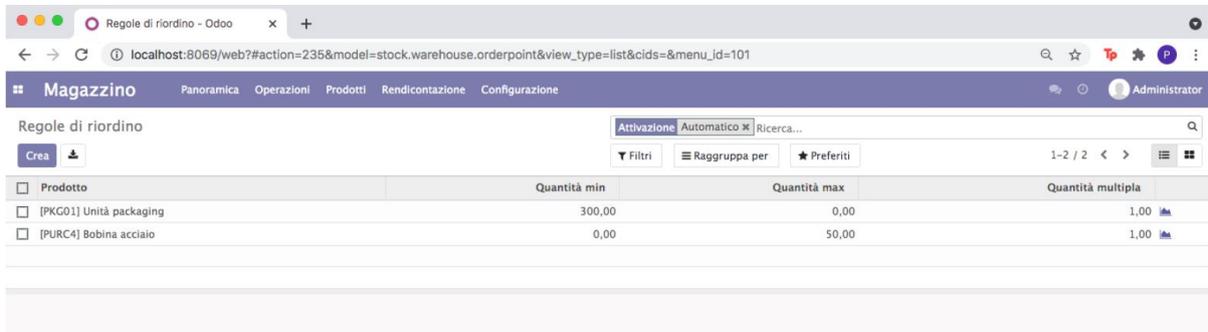


Figura 52 - View "Regole di riordino" in Odoo

Una volta confermato l’ordine d’acquisto, esso viene registrato come “In attesa di fatturazione” per poi raggiungere lo stato di “Completamente fatturato” a seguito dell’emissione della fattura del fornitore. Qualora l’ordine sia annullato la fatturazione sarà archiviata mediante lo stato “Nulla da fatturare”.

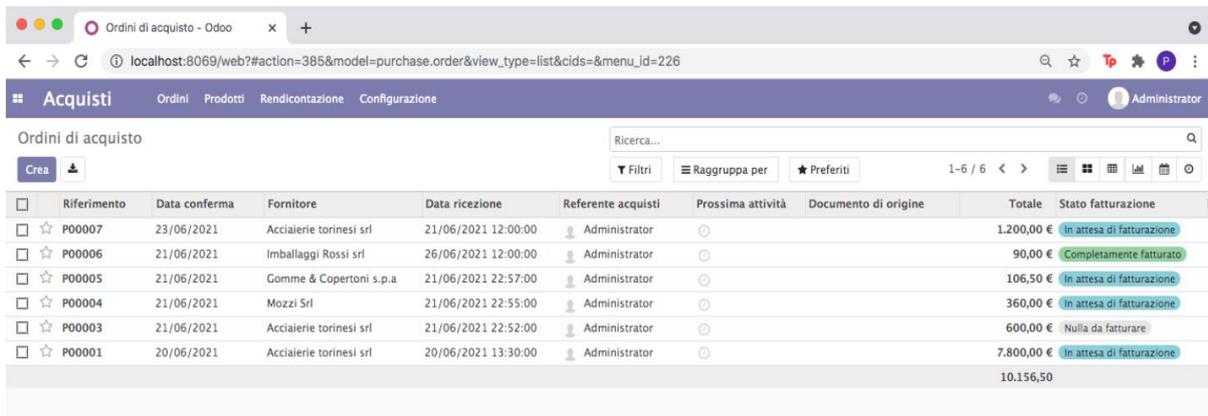


Figura 53 - Riepilogo "Ordini d'acquisto" in Odoo

#### 4.8 Modulo “Gestione del ciclo di vita del prodotto”

Il modulo “Gestisci ciclo di vita del prodotto” non è contenuto nella versione iniziale del sistema e rientra tra le migliaia di app che la community di Odoo ha sviluppato. Questa app gestisce tutte le informazioni solitamente contenute in un software PLM standard coprendo anche le aree di integrazione con i sistemi MES ed ERP contenute nei moduli Odoo precedentemente descritti. Tra queste aree un aspetto particolarmente importante è dato dalle anagrafiche relative a distinte base e prodotti. Queste, a valle della creazione nel modulo di “Produzione”, sono automaticamente trasferite e rese disponibili nel modulo PLM.

Prodotto	Riferimento	Tipologia DiBa
+ [PF01] Ruota bike		Kit
+ [ASS01] Prodotto assemblato		Produzione del prodotto
+ [PROD1] Cerchio		Produzione del prodotto
+ [PROD2] Raggi (36 pz)		Produzione del prodotto
+ [PROD3] Profilato curvato		Produzione del prodotto
+ [PROD4] Profilato estruso		Produzione del prodotto
+ [PROD5] Filo acciaio tagliato (36 pz)		Produzione del prodotto
+ [PROD6] Filo acciaio stirato		Produzione del prodotto

Figura 54 - View "Distinte base" modulo PLM in Odoo

Inoltre, per ogni componente di una distinta base, è possibile caricare dati o informazioni rilevanti all'interno del processo di sviluppo del prodotto. In particolare, il modulo PLM consente di creare dei file ECO collegati alle schede del prodotto e a quelle degli elementi della distinta base. Questi file sono solitamente utilizzati per gestire modifiche nel prodotto o nel processo produttivo, infatti possono contenere file CAD (in cui siano riportate le modifiche del prodotto) o di testo (in cui siano riportare le modifiche al processo produttivo).

Componente	Quantità
[PURC1] Mozzo	1,00
[PURC2] Copertone	1,00
[PROD1] Cerchio	1,00
[PROD2] Raggi (36 pz)	1,00

Figura 55 - Inserimento file ECO/file aggiuntivi in Odoo

PLM | Panoramica | Modifiche | Anagrafiche | Rendicontazione | Configurazione | Administrator

Distinta base / [PROD1] Cerchio / Ordini di modifica tecnica / New

SALVA | ABBANDONA

COMINCIARE NUOVA REVISIONE | NUOVA | IN CORSO | VALIDATO | EFFETTIVO

### Breve riepilogo

#### Modificare materiale in Lega Alluminio

Tipologia: Introduzione nuovo prodotto  
 Responsabile: Administrator  
 Applica a:  Solo prodotto  Distinta base  
 Entrata in vigore:  Prima possibile  Alla data  
 Prodotto: [PROD1] Cerchio  
 Data entrata in vigore: 30/06/2021 23:14:18  
 Distinta base: [PROD1] Cerchio  
 Etichette:

Nota | Approvazioni

La presente modifica prevede la sostituzione del materiale utilizzato attualmente nel ciclo produttivo legato alla distinta PROD1. Il nuovo materiale da introdurre è: Lega Alluminio serie 6000.

Figura 56 - Creazione ordine di modifica tecnica in Odoo

Infine, nel modulo PLM, è possibile effettuare il calcolo del prezzo di una distinta base scomponendola nei suoi componenti e sommando i rispettivi costi.

PLM | Panoramica | Modifiche | Anagrafiche | Rendicontazione | Configurazione | Administrator

Distinta base / [ASS01] Prodotto assemblato

MODIFICA | CREA | Stampa | Azione | 2 / 8

Rendimento ciclo di produ... | **Struttura e costo** | 0 ECO

Prodotto: [ASS01] Prodotto assemblato  
 Riferimento: Tipologia DiBa  
 Quantità: 1,00  
 Produzione del prodotto

Componenti | Operazioni | Varie

Componente	Quantità
[PURC1] Mozzo	1,00
[PURC2] Copertone	1,00
[PROD1] Cerchio	1,00
[PROD2] Raggi (36 pz)	1,00

Figura 57 - Struttura e costo Diba in modulo PLM Odoo

STAMPA PRINT UNFOLDED

## BoM Structure

[ASS01] Prodotto assemblato

Prodotto	DiBa	Versione DiBa	ECO	Quantità
[ASS01] Prodotto assemblato	[ASS01] Prodotto assemblato	1		1,00
[PURC1] Mozzo				1,00
[PURC2] Copertone				1,00
▾ [PROD1] Cerchio	[PROD1] Cerchio	1		1,00
▾ [PROD3] Profilato curvato	[PROD3] Profilato curvato	1		1,00
▾ [PROD4] Profilato estruso	[PROD4] Profilato estruso	1		1,00
[PURC3] Barra acciaio				1,00
▾ [PROD2] Raggi (36 pz)	[PROD2] Raggi (36 pz)	1		1,00
▾ [PROD5] Filo acciaio tagliato (36 pz)	[PROD5] Filo acciaio tagliato (36 pz)	1		1,00
▾ [PROD6] Filo acciaio stirato	[PROD6] Filo acciaio stirato	1		1,00
[PURC4] Bobina acciaio				1,00

Figura 58 - Esplosione BOM in modulo PLM Odo

## 5. Conclusioni

L'introduzione dei sistemi informativi aziendali come mezzo per la gestione integrata dei dati in un processo produttivo ha cambiato radicalmente l'approccio alla produzione industriale in tutto il mondo. Infatti, le aziende, intuendo la possibilità di poter usufruire di una fonte di conoscenza produttiva autoalimentata e costantemente aggiornata in tempo reale, hanno compiuto importanti investimenti in questo ambito. Grazie a questo cambio di visione, l'impiego dei sistemi informativi aziendali ha avuto una costante espansione e si è passati dall'utilizzo isolato di singoli sistemi informativi a forme di sistemi integrati di conoscenza. Il presente elaborato di tesi si pone l'obiettivo di analizzare quali siano i sistemi i principali sistemi informativi aziendali e come debbano interagire tra di essi, e fornisce degli esempi di soluzioni integrate. Per fare ciò, in una fase iniziale è stata revisionata ed analizzata la letteratura disponibile allo stato attuale. Tale studio si è focalizzato sui sistemi maggiormente diffusi nelle aziende manifatturiere: ERP, PLM e MES. Questi sistemi, oltre ad avere un'ampia diffusione, sono particolarmente predisposti alle diverse forme di integrazione poiché gestiscono informazioni provenienti dalle diverse entità di un'azienda di produzione. Le differenti metodologie di integrazione sono state successivamente approfondite, focalizzando la ricerca su casi di studio presenti in letteratura ed applicazioni aziendali già testate. Da questa analisi sono emerse due evidenze: l'utilizzo consolidato di integrazioni ERP-PLM, ERP-MES e PLM-MES avvalorato da numerose applicazioni sia in casi di studio teorici che in reali contesti produttivi, ed il crescente impiego di integrazioni che coinvolgano i tre sistemi. La seconda parte dell'elaborato è invece incentrata su casi di studio che pongono al centro l'integrazione tra sistemi ERP, PLM e MES, evidenziando quanto analizzato in fase di studio, e propongono due diverse soluzioni. Il caso presente nel terzo capitolo analizza il lavoro svolto dal DIGEP nello sviluppo di una soluzione KBS per un'azienda del settore automotive con approccio OKP. La soluzione proposta integra le funzionalità di un software PLM open source e quelle di un sistema informativo MES sviluppato da un partner con un software ERP già in uso dall'azienda. Il DIGEP ha strutturato il modello informativo, inteso come aree di scambio di informazioni, ed i flussi di scambio delle informazioni, ipotizzando due flussi con frequenze di scambio dei dati differenti. Il caso, oltre ad aprire ad ulteriori studi sull'applicazione di sistemi informativi integrati ad una produzione di tipo OKP, ha consentito all'azienda di monitorare l'approccio del personale al nuovo sistema KBS introdotto in vista di una progressiva adozione in produzione. Infine, il caso di studio analizzato nel quarto capitolo riguarda una soluzione integrata di sistemi ERP, PLM e MES per il processo produttivo di una ruota per biciclette da strada. Lo studio propone una soluzione utilizzando il software ERP open source Odoo e sfruttando la sua modularità per integrare le funzioni di sistemi MES e PLM. La soluzione è stata implementata all'interno di "container" offerti dal software Docker. Questa scelta, oltre ad assecondare delle necessità tecniche di compatibilità tra dispositivo e software, consente di aumentare notevolmente il grado di portabilità della soluzione proposta. L'ausilio di Docker consente di implementare la soluzione su dispositivi hardware differenti quali PC, tablet o smartphone.

Tuttavia, la trattazione di cui sopra presenta dei limiti nella fase implementativa ed un loro approfondimento consentirebbe di ampliare le possibili applicazioni della ricerca. In

particolare, il caso di studio presentato nell'ultima sezione tratta un processo produttivo molto ristretto, basato su cicli di operazioni e sequenze di lavoro semplificati. Perciò, un processo produttivo ampliato, che possa simulare al meglio reali scenari produttivi su grande scala, consentirebbe di testare sia la struttura proposta in Odoo che la portabilità offerta dai container di Docker. Ciononostante, i possibili scenari di ricerca per ampliare la conoscenza sul tema sono molteplici e tutti di fondamentale importanza nel percorso verso sistemi integrati di conoscenza aziendale.

## Bibliografia

- [1] A. Ben Khedher, S. H. (2011). Integration between MES and Product Lifecycle Management. In *ETFA2011* (pp. 1-8).
- [2] *Ansi/Isa-95 - Part 1*. (n.d.). Retrieved from Isa-95: <http://www.isa.org/store/products/product-detail/?productId=116636>
- [3] B.N. Prashanth, R. V. (2017). Development of Modular Integration Framework between PLM and ERP Systems. In *Materials Today: Proceedings* (pp. 2269-2278).
- [4] *Best ERP software vendor companies comparison*. (2020). Retrieved from SelectHub: <https://www.selecthub.com/erp-software/>
- [5] Boiko O., S. V. (2019). MES/ERP Integration Aspects of the Manufacturing Automation. In T. V. (eds), *Advanced Manufacturing Processes*. .
- [6] CIMdata. (2005). PLM and ERP Integration : Business Efficiency and Value A CIMdata Report.
- [7] *Compare PLM softwares*. (n.d.). Retrieved from G2: <https://www.g2.com/categories/plm#grid>
- [8] D'Antonio Gianluca, M. L. (2017). PLM-MES integration to support industry 4.0. In IFIP, *Advances in Information and Communication Technology*.
- [9] D'Antonio G., B. J. (2015). D'Antonio, G., Bedolla, J.S., Chiabert, P., & Lombardi, F. (2015). PLM-MES INTEGRATION TO SUPPORT COLLABORATIVE DESIGN.
- [10] E. Traini, G. B. (2021). *Deliverable DF6.3: Prototipazione piattaforma sperimentale KBMS*.
- [11] Frederic Segonds, F. M. (2014). Proposition of a PLM tool to support textile design: A case study applied to the definition of the early stages of design requirements;. *Elvisier*.
- [12] G. Bruno, E. T. (2021). Building a Factory Knowledge Base: Digitalization and Integration of Manufacturing Information. *IGI - GLOBAL*.
- [13] Goldston. (2020). The Evolution of ERP Systems: A Literature Review. *International Journal of Research Publications*.
- [14] Grieves, M. (2007). Multiplying MES Value with PLM Integration. *Whitepaper*.
- [15] *IN PROGRESS*. (2021). Retrieved from Eurodies: <https://www.eurodies.com/>
- [16] Javvadi, L. (2011). Product life cycle management: An introduction. *Mphasis*.

- [17] Katuu, S. (2020). Enterprise Resource Planning: Past, Present, and Future. *New Review of Information Networking*, p. 25. 37-46.
- [18] Kletti. (2007). *Manufacturing Execution System - MES*. Springer.
- [19] *Manufacturing Execution Systems Reviews and Ratings*. (n.d.). Retrieved from Gartner reviews: <https://www.gartner.com/reviews/market/manufacturing-execution-systems>
- [20] Odd Jøran Sagegg, E. A. (2019). *ERP Systems for Manufacturing Supply Chains: Applications, Configuration and Performance*. Auerbach Publications.
- [21] Saaksvuori A., I. A. (2008). *Product Lifecycle Management. 3rd ed.* Springer.
- [22] Stark, J. (2018). *Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary*. Springer.
- [23] *Top 10 ERP vendors in 2020*. (2020). Retrieved from TechRepublic: <https://www.techrepublic.com/article/top-10-erp-vendors-in-2020/>
- [24] Zhong, R., Huang, G., Dai, Q., Zhou, K., Qu, T., & Hu, G. (2011). *RFID-enabled real-time manufacturing execution system for*.