POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA INTEGRATO ERP-PLM-MES PER LA GESTIONE DELLA PRODUZIONE UTILIZZANDO LA PIATTAFORMA ODOO

Candidato

Daniele Ciancimino

Candidate/i

Giulia Bruno

Franco Lombardi

Anno Accademico 2020/2021

RINGRAZIAMENTI

Con questa tesi si conclude ufficialmente la mia carriera universitaria. Probabilmente le prossime righe che scriverò non saranno mai sufficienti ad esprimere il forte senso di gratitudine che provo per quelle persone che mi hanno sostenuto in questo percorso e che mi hanno accompagnato nel raggiungimento di questo importante traguardo.

Innanzitutto, ringrazio la Professoressa Giulia Bruno, relatrice di questa tesi, la quale mi ha sostenuto durante l'intero periodo di stesura dell'elaborato, fornendomi sempre consigli stimolanti e prendendosi cura, con estremo interesse, di ogni singolo aspetto riguardante la tesi. Desidero inoltre ringraziare il dottorando che mi ha seguito in questo percorso, Emiliano Traini, per la sua disponibilità e cortesia nei miei confronti, per l'interesse che ha dimostrato nei confronti del mio lavoro, e per i preziosi consigli con cui sono stato guidato durante la stesura di questa tesi.

Infine, colgo l'occasione per ringraziare la mia famiglia che è stata sempre un punto di riferimento durante il mio intero percorso universitario e grazie alla quale sono stato in grado di superare i momenti più difficili trovando la giusta motivazione per applicarmi con impegno e dedizione ai miei studi e alle mie passioni. Ho deciso di dedicare a loro questo risultato per ringraziarli di tutti i sacrifici fatti fino ad oggi e sperando di poterli ripagare con gli altri traguardi della mia vita.

ABSTRACT

La digitalizzazione rappresenta una leva essenziale per accrescere la capacità delle imprese di giocare un ruolo crescente sui mercati internazionali ed è dunque la chiave per la competitività. Il digitale ha generato nuove possibilità di sviluppo per tutte quelle imprese in grado di stare al passo con i cambiamenti e che sanno trarre beneficio dalle nuove opportunità, con il risultato che oggi sempre più realtà aziendali decidono di evolversi per non restare escluse ed avere la possibilità di emergere nei mercati. Nello sviluppo della presente tesi è stato analizzato il processo produttivo per la realizzazione di un modello di motore pneumatico prodotto attraverso tecniche di fabbricazione additiva, con l'obiettivo di digitalizzare le principali informazioni relative alla progettazione e alla produzione, integrando le applicazioni PLM (Product Lifecycle Management), MES (Manufacturing Execution System) ed ERP (Enterprise Resource Planning) offerte dal software Odoo. La piattaforma software in questione è stata descritta in modo dettagliato, effettuando un focus sulle principali applicazioni utilizzate per simulare il processo di realizzazione del componente, dalla fase di progettazione in ambiente CAD 3D attraverso il software Solidworks, alla produzione tramite la tecnica di fabbricazione additiva di Selective Laser Sintering (SLS), fino alla vendita del modello in un mercato fittizio. Principale attenzione è stata dedicata all'analisi degli strumenti PLM e MES: il primo ha consentito di esaminare il funzionamento della piattaforma durante le diverse fasi del ciclo di vita del prodotto, ponendo particolare interesse alla generazione dei "File ECO", utili per tenere traccia di eventuali modifiche apportate a livello di processo di produzione o a livello di prodotto; l'applicazione del MES è stata invece utilizzata per testare la piattaforma Odoo nelle sue capacità di simulare e monitorare un processo di produzione, concentrandosi dunque su fattori quali tempi e costi legati all'esecuzione delle attività di realizzazione del componente. L'integrazione di MES e PLM migliora l'efficienza, favorisce la riduzione degli errori, rende più veloce la distribuzione dei prodotti sul mercato e aumenta la tracciabilità del prodotto. Infine, sono state implementate anche le principali applicazioni ERP del software in modo da poter rendere più completa l'analisi svolta. I risultati di questa tesi mostrano come l'utilizzo della piattaforma Odoo possa risultare di fondamentale importanza al fine di progettare e sviluppare un sistema di gestione della conoscenza dedicato al mondo della prototipazione e della produzione di tipo One-of-a-Kind Production (OKP).

INDICE

1. INTRODUZIONE *10*

1.1 Product Lifecycle Management - I precursori dei sistemi di gestione del ciclo di vita del prodotto 10

1.2 Significato di “ciclo di vita del prodotto” 12

1.3 Utilizzo dei sistemi PLM nella diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto 15

1.3.1 Utilizzo dei sistemi PLM nella fase BOL 15

1.3.2 Utilizzo dei sistemi PLM nella fase MOL ed EOL 15

1.4 Significato di PLM 16

2. ELEMENTI FONDAMENTALI DEI SISTEMI PLM *19*

2.1 Modelli di Business in cui integrare i sistemi PLM 19

2.2 Metodologie di applicazione del PLM 21

3. SUPPORTO DEI SISTEMI ICT PER IL PLM *24*

3.1 L’influenza delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) sui sistemi PLM 24

3.2 Similitudini e differenze tra sistemi PLM e sistemi ERP 27

4. PLM OGGI E NUOVE TENDENZE PER IL FUTURO *30*

4.1 Esempi di applicativi attuali dei sistemi di gestione PLM 30

4.2 Sistemi di gestione del ciclo di vita a ciclo chiuso (CL2M) 31

5. MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES) *33*

5.1 caratteristiche generali dei MES e integrazione con sistemi ERP 33

5.2 Difetti dei sistemi MES e relative soluzioni introdotte dai sistemi Smart MES 37

6. INTEGRAZIONE PLM-MES IN OTTICA INDUSTRIA 4.0 ..... *39*

6.1 Storia dell’Industria 4.0 39

6.2. Vantaggi dell’Industria 4.0 41

6.3 Smart Factory 42

6.4 Integrazione tra i sistemi PLM e MES 50

7. IL MERCATO DEI SISTEMI ERP *54*

7.1 Panoramica generale, attori e principali prodotti offerti 54

7.2 Schematizzazione della struttura di un sistema ERP 62

7.3 ODOO 63

7.4 Principali moduli della piattaforma Odoo 65
7.4.1 Modulo Finanza 65
7.4.2 Modulo Logistica 66
7.4.3 Modulo Risorse Umane 68
7.4.4 Moduli addizionali 70
8. GESTIONE DELLA CONOSCENZA NEL MONDO DELLA ONE-OF-A-KIND PRODUCTION (OKP) 71
8.1 Analisi del prodotto e del processo di lavorazione 71
8.2 Stadi di avanzamento dell'analisi 74
8.3 Community Version ed Enterprise Version 78
8.3.1 Differenze funzionali: Gestione delle vendite 79
8.3.2 Differenze funzionali: Contabilità 79
8.3.3 Differenze funzionali: Project Management 80
8.3.4 Differenze funzionali: Inventario 80
8.3.5 Differenze funzionali: Produzione 81
8.3.6 Pacchetto studio 82
8.4. Gestione del processo di produzione 83
8.5 Progettazione e sviluppo del sistema di gestione 84
8.5.1. Creazione profili dipendenti 84
8.5.2 Centri di lavoro e attrezzature 86
8.5.3 Progettazione prodotto tramite software di CAD 3D 90
8.5.4 Distinta base 93
8.5.5 Regole di riordino sui prodotti, ordini di acquisto e creazione di fatture 95
8.5.6 Registrazioni contabili 101
8.5.7 Pianificazione del processo di produzione 102
8.5.8 Creazione degli ordini di produzione e gestione dei processi di manutenzione 107
8.5.9 Gestione dei dati riguardanti il prodotto e generazione dei file ECO 110
8.5.10 Controllo Qualità e Internet of Things 112
8.5.11 Realizzazione del prodotto definitivo 115
8.5.12 Vendita del componente definitivo 126
8.5.13 Creazione di un sito Internet e processo di vendita e-commerce 133
9. VALUTAZIONE ECONOMICA 136
10. CONCLUSIONI 139
BIBLIOGRAFIA 141

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Fasi del Product Lifecycle ……..……...…….12
Figura 2: Mappatura degli strumenti ICT lungo il ciclo di vita del prodotto ……...……..13
Figura 3: Cambiamento di importanza dei cicli di produzione del prodotto nella creazione di valore dell'azienda…….14
Figura 4: Product Lifecycling Management……..……16
Figura 5: Product Lifecycle Elements……18
Figura 6: Area di sviluppo dei sistemi ERP e PLM……29
Figura 7: Funzionalità dei sistemi MES……34
Figura 8: Implementazione dei sistemi MES ed ERP……36
Figura 9: Industry 4.0 – La storia della rivoluzione industriale……..40
Figura 10: Industry 4.0 smart factory……44
Figura 11: Piramide dell'automazione nei sistemi di produzione moderni……45
Figura 12: Reference Architecture Model for Industry 4.0……47
Figura 13: Principali aree funzionali di un sistema ERP……56
Figura 14: Market share dei principali competitors di sistemi ERP……57
Figura 15: Principali Competitors sistemi ERP……58
Figura 16: Rappresentazione dei livelli software in un sistema ERP……62
Figura 17: Moduli della piattaforma Odoo……64
Figura 18: Moduli principali Odoo per categoria……...69
Figura 19: Rappresentazione tridimensionale prodotto……72
Figura 20: Schema del processo di Selective Laser Sintering per i polimeri……..73
Figura 21: Diagramma di flusso rappresentante gli stadi di avanzamento dell'analisi condotta per mezzo della piattaforma software Odoo……..74
Figura 22: Configurazione del modello di archiviazione e utilizzo della piattaforma Odoo……...77
Figura 23: Impostazione di abilitazione ordini di lavoro……77
Figura 24: Differenze in termini generali tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo…78
Figura 25: Differenze in termini di funzioni di contabilità tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo……..80
Figura 26: Differenze in termini di funzioni di Project Management tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo……80
Figura 27: Differenze in termini di funzioni di Inventario tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo……..81

Figura 28: Differenze in termini di funzioni di Manufacturing tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo……..82
Figura 29: Differenze in termini di funzioni di Studio tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo……...82
Figura 30: Flow Chart processo di progettazione e produzione…….83
Figura 31: Screenshot di una generica scheda profilo……85
Figura 32: Screenshot di una generica scheda profilo con informazioni sui diritti di accesso……..86
Figura 33: Macchina FORMIGA P110 Velocis utilizzata durante il processo di produzione……87
Figura 34: Centro di lavoro dedicato alla prototipazione del prodotto……..88
Figura 35: Documentazione scheda tecnica macchina da lavoro……...……89
Figura 36: Centri di lavoro dell'azienda fittizia…….89
Figura 37: Attrezzature centro prototipazione……...90
Figura 38: Processo di sviluppo prodotto assistito da calcolatore……..90
Figura 39: Analisi dei Magic – Error……92
Figura 40: Scheda prodotto "Prototipo Funzionale 1"……...93
Figura 41: Schede prodotto di assiemi e materiale……94
Figura 42: Distinta base Prototipo Funzionale……...94
Figura 43: Tipologia di prodotto stoccabile per generazione di regole di riordino……95
Figura 44: Inserimento fornitore materia prima……96
Figura 45: Regola di riordino……97
Figura 46: Fattura fornitore associata ad una richiesta di prelievo……98
Figura 47: Schermata della fattura pagata……..98
Figura 48: Generazione di rapporti personalizzati……...100
Figura 49: Visualizzazione dei dati di acquisto……100
Figura 50: Processi di realizzazione della SLS……102
Figura 51: Processo di verniciatura del componente……102
Figura 52: Immagine del semilavorato ottenuto dopo il processo di SLS…….……...103
Figura 53: Componenti e Operazioni per la realizzazione del Prototipo Verniciato…….……..103
Figura 54: Immagine Prototipo Funzionale Verniciato……..……..104
Figura 55: Utilizzo del Software Magics per l'orientamento degli assiemi nella camera di lavoro..104
Figura 56: Utilizzo del Software Magics per la fase di PSW Laser e valutazione del tempo di lavorazione per la realizzazione del componente……..105
Figura 57: Esempio di una scheda "Operazione" con relativa guida in formato PDF……..106
Figura 58: Schedulazione delle attività di progetto……107

Figura 59: Dettagli attività schedulate……107
Figura 60: Scheda dell'ordine di lavorazione con componenti non disponibili…….……...108
Figura 61: Scheda dell'ordine di lavorazione con componenti disponibili…….……108
Figura 62: Stato dell'ordine di lavoro completato…….……..109
Figura 63: Scheda di manutenzione legata ad un ordine di produzione…….……110
Figura 64: File ECO relativo alla modifica del materiale di produzione…….……111
Figura 65: Documenti sezione ECO……111
Figura 66: Elemento di modifica (ECO) apportata al prodotto……...111
Figura 67: Scheda di controllo qualità……114
Figura 68: IoT Box……..114
Figura 69: Scheda prodotto "Motore Pneumatico"……115
Figura 70: Pianificazione attività per ordine di produzione……117
Figura 71: Stato dell'operazione…….……117
Figura 72: Motivazioni di fermo macchina…….……118
Figura 73: Indicazione di corretto funzionamento del centro di lavoro e percentuale rendimneto..118
Figura 74: Riduzione del rendimento del centro di lavoro a causa di fermi macchina……119
Figura 75: Rappresentazione grafica dei parametri di rendimento del centro di lavoro…….….119
Figura 76: Documento relativo all'esecuzione di un processo di produzione…….……120
Figura 77: Ordine di produzione per la fase di verniciatura……121
Figura 78: Rendimento centro di verniciatura e cause di blocco macchina……121
Figura 79: Suddivisione degli ordini di produzione in base allo stato di avanzamento del processo……122
Figura 80: Suddivisione degli ordini di produzione in base alla data pianificata di esecuzione….123
Figura 81: Impiego dei singoli centri di lavoro in termini di durata……123
Figura 82: Nuova versione scheda prodotto definitivo……124
Figura 83: Schermata di simulazione processo di produzione…….,……124
Figura 84: Finestra di approvazione singole attività relative ad una macro operazione…….125
Figura 85: Stato delle fasi dell'operazione di SLS…….,……125
Figura 86: Stato delle fasi dell'operazione di verniciatura…….,……125
Figura 87: Pianificazione della produzione…….……126
Figura 88: Richiesta di preventivo per ordine di vendita…….……127
Figura 89: Stato dell'ordine di vendita in consegna…….……128
Figura 90: Data di consegna prevista ed effettiva……128
Figura 91: Fattura relativa all'ordine di vendita……...128

Figura 92: Metodo di consegna personalizzato: spedizione immediata……..……..129
Figura 93: Ordine di vendita comprensivo del costo di spedizione immediata…….……129
Figura 94: Ordini di vendita con sconti su quantità e promozioni sui costi di spedizione…..……..130
Figura 95: Preventivo contenente le voci di buono sconto e promozione…….……130
Figura 96: Parametri di analisi per le vendite…….….131
Figura 97: Ripartizione degli ordini di vendita tra i team aziendali……....131
Figura 98: Andamento numero totale di ordini all'interno di un bucket temporale di 2 giorni.….132
Figura 99: Ripartizione delle vendite tra team funzionali…….……..132
Figura 100: Elementi preimpostati per il riempimento della pagina web…….……..133
Figura 101: Schermata della pagina web di esempio per la vendita del prodotto…….……..134
Figura 102: Inserimento di un prodotto all'interno del carrello digitale…….……135
Figura 103: Scheda di riepilogo pagamento……135
Figura 104: Stima del coto annuale dell'utilizzo della piattaforma Odoo per singolo utente……..137

1. INTRODUZIONE

La tesi ha l'obiettivo di progettare e sviluppare un sistema di gestione della conoscenza dedicato al mondo della prototipazione e della produzione di tipo One-of-a-Kind Production (OKP). Basato sul paradigma della Fabbrica Intelligente, il sistema sarà in grado di acquisire e gestire in tempo reale le informazioni di processo che rivelano le difficoltà operative e identificano gli adattamenti e le eventuali modifiche al processo introdotte sul campo durante le fasi di trasformazione.

Il complesso di queste informazioni, opportunamente organizzate e strutturate, costituisce quella base di conoscenza - in continua evoluzione - che potrà guidare lo sviluppo di un nuovo prodotto, riducendo drasticamente le successive messe a punto del suo processo, oggi inevitabili perché affidate a regole empiriche, applicate sul campo con criteri soggettivi che dipendono dall'esperienza degli addetti. Verrà analizzato il processo produttivo di un'azienda fittizia con l'obiettivo di digitalizzare le informazioni relative alla progettazione e alla produzione di un prodotto personalizzato.

Tale modellazione costituirà la base dell'integrazione tra le piattaforme PLM (Product Lifecycle managment) e MES (Manufacturing Execution System).

1.1 Product Lifecycle Management - I precursori dei sistemi di gestione del ciclo di vita del prodotto

La progettazione, la fabbricazione, l'utilizzo, la manutenzione e il riciclaggio dei prodotti sono concetti che si sono evoluti fin dai primi giorni della storia dell'umanità. Oggi sono processi molto complicati e ad alta intensità di conoscenza. Sebbene lo sviluppo del prodotto e gli strumenti e le tecnologie di supporto abbiano compiuto grandi progressi, l'idea centrale rimane la stessa: sviluppare la serie di requisiti specifici dei clienti e generare prodotti che li soddisfino.

Durante le diverse fasi del ciclo di produzione di un prodotto, più aziende si ritrovano a collaborare tra loro, puntando su una suddivisione del lavoro che possa consentire un livello di efficienza affine agli standard di settore.

Nel mondo della moda e, nello specifico, nel settore di produzione di scarpe, il più delle volte gli imprenditori lavorano con una terza parte per prototipare il loro prodotto. È da qui che nasce il cosiddetto "cobbler model", antenato più antico dei moderni sistemi di gestione del ciclo di vita del prodotto, noti oggi con l'acronimo PLM [Ameri and Dutta, 2005)].

In questo modello, le persone, le informazioni, le risorse e i processi, che rappresentano i mattoni fondamentali di un'organizzazione, sono altamente integrati e l'ambiente che ne deriva supporta la crescita della conoscenza tacita, cioè la proprietà intellettuale dell'organizzazione [*Terzi et al., 2010]*.

Il principale difetto di questo modello è la sua mancanza di scalabilità. Con l'aumento della quantità, della complessità e della varietà dei prodotti, l'impresa individuale diventa inefficiente e insufficiente. A tal proposito, i processi che prima venivano eseguiti da una sola impresa sono adesso frammentati in più parti, ognuna delle quali richiede un processo più semplice, cioè strumenti più semplici, meno abilità e meno conoscenza. Questo avviene per tutti i processi del ciclo di vita del prodotto, cioè progettazione, produzione, distribuzione, uso, supporto, manutenzione, riparazione, riciclaggio e smaltimento.

Per le fasi di progettazione e produzione, la riduzione a semplici operazioni unitarie ha dato origine al paradigma della produzione di massa. Oggi questo paradigma è efficiente per la produzione di grandi quantità di prodotti in impianti automatizzati e semiautomatici. Tuttavia, questo paradigma porta anche alla frammentazione della conoscenza del prodotto e del processo e porta alla situazione delle isole della conoscenza, che è una situazione tipica nel mondo degli affari di oggi.

Al giorno d'oggi le informazioni sul prodotto sono disperse tra vari attori, che posseggono competenze specifiche e che spesso hanno la loro personale interpretazione del prodotto e delle sue prestazioni funzionali.

In questo ambiente eterogeneo e distribuito, far sì che le persone, le informazioni e i processi seguano la stessa direzione è una sfida. Tuttavia, per essere competitivi nell'economia globale di oggi, le aziende devono gestire efficacemente le loro catene del valore per ridurre i lunghi cicli di sviluppo dei prodotti e i costi di sviluppo, migliorando nel contempo la qualità. Questa sfida è già ben nota sul mercato e spesso viene superata implementando il modello di business dell'impresa estesa.

In un'impresa estesa, i team distribuiti, multidisciplinari e cooperativi sono la norma [Grieves et al., 2008].

Inoltre, per quanto riguarda la progettazione del prodotto, l'attuale ambiente di sviluppo ad alta intensità di conoscenza richiede un quadro computazionale che permetta la cattura, la rappresentazione e il riutilizzo della conoscenza del prodotto e del processo [Rose et al., 2007].

Nella fase di produzione, tutte queste informazioni devono essere condivise lungo la catena di produzione e distribuzione e sincronizzate costantemente.

Durante l'uso del prodotto, potrebbero essere raccolti dati di input sul comportamento per il miglioramento della progettazione. Le attività di riciclaggio e di dismissione potrebbero richiedere e fornire informazioni su componenti, materiali e altre risorse. Tale condivisione e gestione dei dati, delle informazioni e delle conoscenze sul prodotto costituisce l'essenza della gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM).

Il supporto del ciclo di vita del prodotto (PLCS) è uno standard ISO STEP (ISO 10303-239) che consente la creazione e la gestione nel tempo di un insieme sicuro di informazioni sul prodotto e sul

supporto (APSI), che può essere utilizzato per specificare e controllare le attività di supporto necessarie per tutta la vita di un prodotto complesso.

Le organizzazioni si stanno rendendo conto che mantenere l'attenzione sui prodotti e creare un linguaggio comune intorno ad essi è fondamentale per il successo. Per questo motivo il PLM è una strategia di business per creare e sostenere un tale ambiente di conoscenza incentrato sul prodotto.

1.2 Significato di "ciclo di vita del prodotto"

Il termine "ciclo di vita" indica generalmente l'intero insieme delle fasi, che potrebbero essere riconosciute come fasi indipendenti, che cominciano dall'ideazione del prodotto, passando per la progettazione, produzione, distribuzione, utilizzo e terminano con la dismissione e il riciclaggio.

Adottando un modello di facile utilizzo, il ciclo di vita del prodotto può essere definito da tre fasi principali [Kiritsis et al., 2003], come indicato nella *Figura 1*:

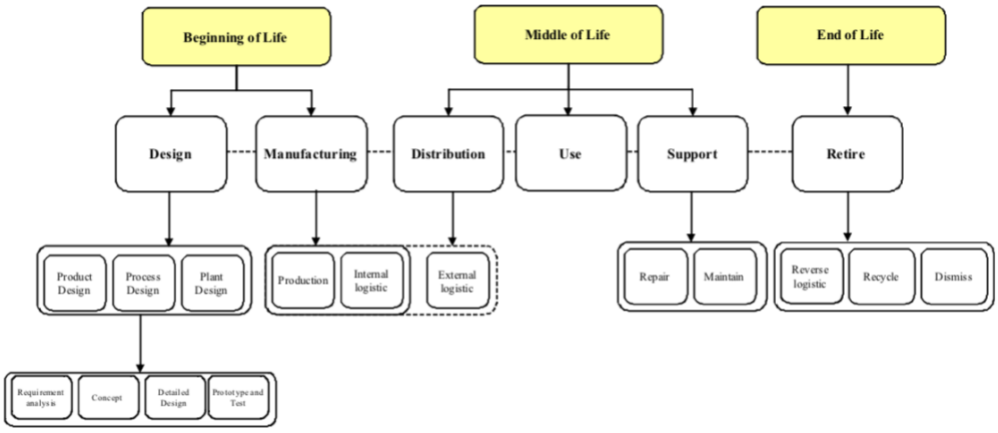


Figura 1 Fasi del Product Lifecycle; Source: International Journal of Product Lifecycle Management

- Beginning of Life (BOL), comprende la progettazione e la produzione. La progettazione è una fase a più livelli in quanto comprende la progettazione del prodotto, del processo e dell'impianto. In generale, le azioni di progettazione implicano l'applicazione ricorsiva di più sotto-azioni.

  Per produzione si intende la realizzazione dei prodotti e la relativa logistica interna dell'impianto. Durante questa fase, il prodotto è nelle mani dell'azienda entro i confini dell'impresa. Nella fase BOL, il concetto di prodotto viene generato e successivamente realizzato fisicamente. Utilizzando molti strumenti, tecniche e metodologie, i progettisti, i

pianificatori e gli ingegneri sviluppano la progettazione del prodotto e il processo di produzione, pianificano gli impianti di produzione e gestiscono la fabbricazione dei prodotti con diversi fornitori (generalmente, attraverso la condivisione di informazioni con un sistema di pianificazione delle risorse aziendali (ERP) [Kiritsis et al., 2008].

- Middle-of-life (MOL), comprende la distribuzione (logistica esterna), l'utilizzo e il supporto (in termini di riparazione e manutenzione). In questa fase, il prodotto è nelle mani del cliente finale, cioè l'utente/consumatore del prodotto e/o alcuni fornitori di servizi, ad esempio gli addetti alla manutenzione e i fornitori di logistica. La storia del prodotto relativa ai percorsi di distribuzione, alle condizioni d'uso, ai guasti e alla manutenzione può essere raccolta per creare un rapporto aggiornato sullo stato dei prodotti [Kiritsis et al., 2003].

- End - of - Life (EOL) dove i prodotti vengono ritirati dall'azienda (reverse logistic) per essere riciclati (smontati, rifabbricati,, riutilizzati, ecc.) o smaltiti. Si può dire che EOL parte dal momento in cui il prodotto non soddisfa più i suoi utenti (l'acquirente iniziale, un proprietario di seconda mano, ecc.).

La *Figura 2* classifica qualitativamente diversi strumenti adoperati lungo il ciclo di vita del prodotto. Gli strumenti e i sistemi sono mappati in termini di orientamento alla gestione del prodotto o alla gestione del processo.

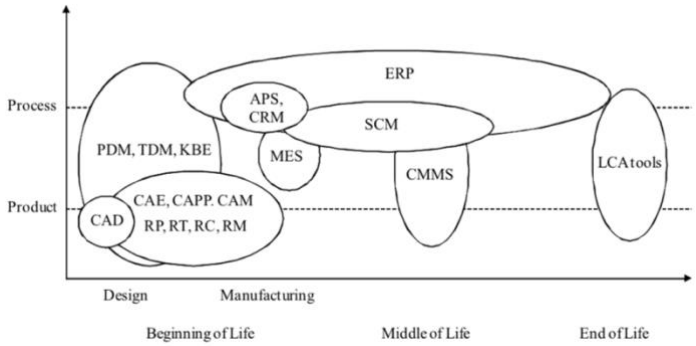


Figura 2 Mappatura degli strumenti ICT lungo il ciclo di vita del prodotto, Source: International Journal of Product Lifecycle Management

Nell'attuale contesto commerciale in evoluzione, le aziende sono alla ricerca di nuovi modi per fornire il massimo valore ai clienti e ottenere un vantaggio competitivo. Di conseguenza, una maggiore attenzione al design del prodotto e all'intero PLM è emersa come un'area critica per il successo dell'industria moderna. Questo cambiamento nelle caratteristiche del valore si riflette nella *Figura 3*,

che sottolinea lo spostamento dell'attenzione dell'azienda dalla fase di produzione alla fase di progettazione e alla fase di metà vita.

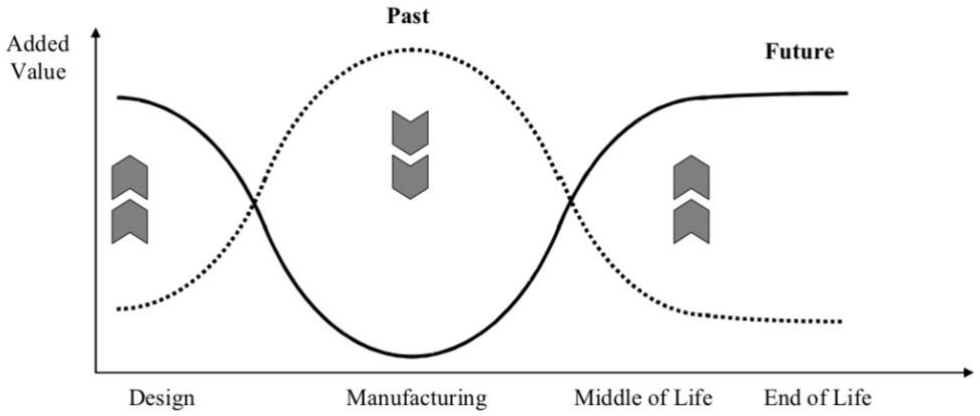


Figura 3, Cambiamento di importanza dei cicli di produzione del prodotto nella creazione di valore dell'azienda, Source Production Planning and Control Vol. 12, Ferguson e Brown (2001)

I massicci investimenti del passato in just in time, in total quality management e in total production maintenance si sono concentrati sul miglioramento del costo del prodotto, della qualità e del time to market.

Con l'avanzare del tempo tali requisiti non sono risultati più sufficienti per ottenere un vantaggio competitivo. L'attenzione odierna è sull'innovazione per garantire che i clienti ricevano una soddisfazione complessiva del prodotto che vada oltre la tradizionale definizione di qualità e costo del prodotto. Sono importanti anche questioni legate all'ambiente, al rischio, al costo del ciclo di vita e alla qualità del servizio. I prodotti hanno cambiato il loro significato e la loro composizione.

Un prodotto non è più un semplice bene da vendere per generare ricavi, ma un sistema complesso, composto da un nucleo tangibile (il prodotto fisico) e da una serie di beni immateriali come i servizi forniti ai clienti. Ciò corrisponde a un definitivo spostamento verso il paradigma prodotto-servizio. Tuttavia, la capacità dell'industria di produrre tali prodotti complessi e servizi di supporto è attualmente limitata dalla carenza di informazioni nel ciclo di vita dei prodotti [Vernon, 1966].

1.3 Utilizzo dei sistemi PLM nella diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto

1.3.1 Utilizzo dei sistemi PLM nella fase BOL

Essenzialmente, la fase BOL si occupa della progettazione e della produzione del prodotto. Queste due attività sono intrinsecamente diverse. La progettazione del prodotto è un'attività intellettuale ricorsiva e iterativa che coinvolge progettisti e ingegneri nella ricerca di soluzioni per determinati problemi. Al contrario, la produzione è un'attività ripetitiva basata sulle transazioni, che si concentra principalmente sulla concretizzazione di una decisione presa da altri. I progettisti e gli ingegneri sono generalmente misurati in termini di efficacia, mentre gli attori della produzione sono generalmente misurati in termini di efficienza.
Durante la fase di BOL, il PLM svolge il ruolo di sistema di supporto alla progettazione.
I dati di progettazione del prodotto vengono creati e gestiti in modo efficiente per essere distribuiti al momento giusto nel contesto giusto per garantire una produzione efficiente.

1.3.2 Utilizzo dei sistemi PLM nella fase MOL ed EOL

La fase MOL si occupa della "vita reale" del prodotto, quando è nelle mani del cliente, mentre la fase EOL riguarda la fase di declino del ciclo di vita di un prodotto.
Durante queste fasi, molti attori interagiscono con il prodotto: fornitori di servizi logistici, clienti, fornitori di servizi post-vendita, enti di riciclaggio, ecc.
Durante le fasi MOL ed EOL, il PLM è principalmente un sistema di supporto ai servizi.
I dati del prodotto vengono raccolti sul campo per monitorare e controllare lo stato di vita del prodotto.
Nell'era moderna il PDM, strumento informatico capace di raccogliere le informazioni relative ad un prodotto, durante queste fasi è diventato inevitabile, soprattutto a causa delle normative e delle legislazioni globali che si concentrano su questioni come la sicurezza e la sostenibilità del cliente.
Per la maggior parte dei prodotti odierni è giusto considerare che il flusso di informazioni si interrompa dopo la consegna del prodotto al cliente. Di conseguenza, gli attori coinvolti in ogni fase del ciclo di vita prendono decisioni basate su informazioni incomplete e imprecise sul ciclo di vita del prodotto provenienti da queste fasi, anche se queste possono portare a inefficienze operative. Tuttavia, diverse aziende cercano di utilizzare qualsiasi informazione possano raccogliere o, a volte, indovinare da queste fasi.

1.4 Significato di PLM

L'acronimo, PLM, è stato ampiamente adottato e definito da diverse comunità (fornitori, accademici, utenti finali, ecc.) con interpretazioni leggermente diverse. Stark (2005) ha evidenziato come il PLM sia un concetto molto complesso.

Grieves (2005) ha adottato la definizione "dalla culla alla tomba". Saaksvuori e Immonen (2005) hanno ampiamente indagato la prospettiva ICT del PLM.

Negli anni '90 l'acronimo PLM veniva concepito in un'ottica diversa, facendo riferimento alla gestione e alla rintracciabilità dell'intero ciclo di sviluppo prodotto e di tutte le attività ad esso collegate [Soga et al., 1999].

In realtà, analizzando l'origine del termine, l'acronimo PLM è stato introdotto nello studio di compatibilità ambientale dei prodotti industriali (anni '70 -'80) per indicare come andava progettato e costruito un dato bene tangibile in modo tale che potesse rispettare l'ambiente, prendendo in considerazione le diverse fasi del suo "ciclo di vita", compreso il riciclaggio e lo smaltimento (*Figura 4*) [Nielsen and Wenzel, 2002].

Figura 4 Product Lifecycling Management; Source: Big Market Research

Riassumendo, il PLM può essere definito a grandi linee come un modello di business incentrato sul prodotto - orientato al ciclo di vita, supportato dall'ICT, in cui i dati di prodotto sono condivisi tra attori, processi e organizzazioni nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto per il raggiungimento delle prestazioni desiderate e della sostenibilità del prodotto e dei servizi correlati.

In termini meramente teorici risulta possibile dunque associare l'idea di PLM ad una concreta strategia di business aziendale che consente di attuare un'innovazione di prodotto o servizio durante l'intero ciclo di vita, in modo tale che le operazioni effettuate dall'ecosistema collaborativo vengano registrate come se ad operare fosse un'unica entità imprenditoriale, creando un archivio contenente

l’intero capitale intellettuale utilizzato, che risulterà riutilizzabile in qualsiasi altro momento [Saaksvuori and Immonen, 2008].

Un modello di ciclo di vita dipende fortemente dal tipo di prodotto, il quale influenza i processi aziendali. Infatti, il prodotto potrebbe essere un oggetto complesso di produzione a lunga durata (ad esempio un’automobile o un aereo), un oggetto complesso di produzione a breve durata (ad esempio un PC o una macchina fotografica), una specialità farmaceutica (ad esempio un vaccino o un antibiotico), un edificio (una casa o un appartamento), un abito di moda, ecc.

L'obiettivo comune è che, attraverso l'approccio PLM, la gestione integrata dei dati di prodotto (PDM) deve essere realizzata per avere le informazioni giuste al momento giusto e nel posto giusto per fornire un servizio efficiente.

A seconda della tipologia di prodotto che si sta analizzando, è possibile associare una definizione di sistema PLM assolutamente specifica.

A tal proposito, i principali ambiti di definizione di tali sistemi sono quello della produzione manifatturiera e quella dei servizi.

Nel primo caso il concetto di PLM si riferisce al bene fisico tangibile che viene concepito, progettato e realizzato in sistemi produttivi predisposti ad hoc e successivamente distribuito lungo una rete appropriata.

Dall’altra parte, nel campo dei servizi, PLM si riferisce a servizi che vengono concepiti, implementati e forniti attraverso un'infrastruttura specifica.

CimData, azienda leader di consulenza strategica, fornisce una delle definizioni più complete, trattando il PLM come "un metodo di business strategico che applica un numero consistente di soluzioni IT per supportare la creazione / progettazione collaborativa, l'uso e la gestione delle informazioni di prodotto, dalla fase concettuale fino al termine del ciclo di vita, coinvolgendo l'intero processo di definizione del prodotto, compresa l'integrazione del personale, dei processi e dei sistemi informativi”.

Sempre per CimData il PLM è “non solo una tecnologia, ma prima di tutto un metodo, in cui il processo è più importante dei dati”; le soluzioni PLM devono “essere in grado di connettere informazioni provenienti da diversi media o sistemi attraverso la configurazione dinamica del prodotto" [Verschoor and Reijnders, 1999].

Considerando le sue dimensioni più complesse, l'acronimo PLM può essere utilizzato per indicare un nuovo fenomeno di integrazione che si sta verificando in un ambiente industriale e che cerca di coniugare la dimensione organizzative dei processi aziendali, con quella economica dei costi sostenuti dall’azienda e dai ricavi che ne conseguono, con la dimensione tecnica che fa riferimento alle risorse

umane presenti in azienda, e infine con la dimensione tecnologica che riguarda i sistemi IT implementati [Codrino, 2003].

Sicuramente, nel momento in cui si vuole implementare un sistema PLM all'interno di un ecosistema aziendale risulta fondamentale non solo definire le caratteristiche delle imprese in cui tale sistema debba essere implementato, ma anche le peculiarità del settore e del mercato in cui si opera.

Un altro fattore da considerare riguarda l'archiviazione dei dati di prodotto all'interno e all'esterno dell'azienda [Grieves (2005)]. Stabilire un PLM efficace significa ridurre questa grande quantità di dati ad un flusso di dati coerente, evitando ridondanze e lacune [Ibrahim and Paulson, 2008].

Quindi, dal punto di vista dell'ICT, il PLM è un'applicazione a livello aziendale che interessa tutte le parti dell'impresa. Tuttavia, come si può dedurre dalle sue implicazioni più ampie, il PLM non è un semplice problema ICT. Si tratta certamente di una questione di digitalizzazione dei dati [Grieves, 2005], dove l'ICT non solo gioca un ruolo fondamentale (in termini di strumenti, standard di interoperabilità, architetture, ecc.), ma comprende anche i processi di business (dove i dati fluiscono tra attori/risorse con relative competenze, all'interno e all'esterno di un'organizzazione) e le metodologie (pratiche e tecniche adottate lungo i processi di business, utilizzando e generando dati di prodotto).

Metodologie, processi e ICT sono i tre fondamenti del PLM che sono coinvolti lungo le fasi del ciclo di vita del prodotto (*Figura 5*).

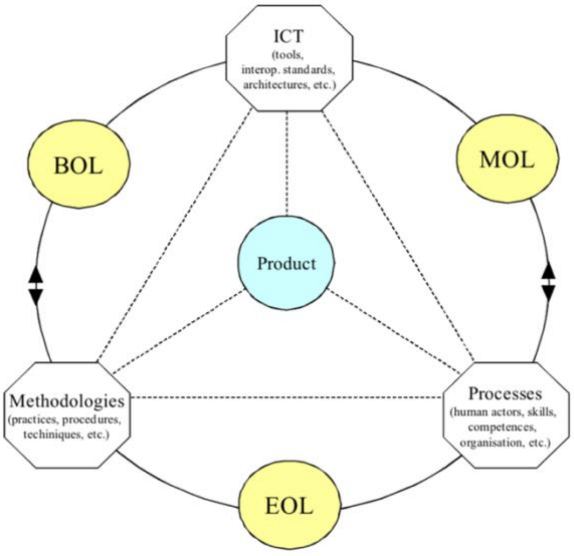


Figura 5 Product Lifecycle Elements, Source: International Journal of Product Lifecycle Management

2. ELEMENTI FONDAMENTALI DEI SISTEMI PLM

2.1 Modelli di Business in cui integrare i sistemi PLM

Un processo di business è un insieme di attività coordinate, distribuite tra diversi attori, funzioni e dipartimenti di un'organizzazione, orientate alla creazione di valore nell'impresa estesa. Fisicamente, il valore deriva dal prodotto/servizio che le imprese generano e vendono. È possibile considerare due principali tipologie di impresa basate sulla risposta dell'azienda al mercato:

- One-of-a-kind enterprises: si tratta di aziende uniche nel loro genere. In tali aziende, il processo principale responsabile della creazione di valore inizia con l'analisi delle esigenze di uno specifico cliente. Il prodotto viene poi progettato appositamente per il cliente, prodotto, venduto e supportato. Questa tipologia comprende:
    - Grandi imprese del settore dell'ingegneria e del contracting (ad es. edilizia, industria aerospaziale o navale), dove lo sviluppo e la realizzazione del prodotto viene diffuso con molti attori;
    - Piccole imprese che producono prodotti altamente personalizzati e su misura (ad es. macchine utensili).

In questo caso, i clienti sono strettamente coinvolti nel processo di creazione, progettazione e produzione. Il PLM può consentire a queste imprese di tener conto delle esigenze di flessibilità, reattività ed efficacia.

- Many-of-a-kind enterprises: Queste aziende forniscono i loro prodotti al mercato per risolvere esigenze pre-identificate su larga scala. All'interno di queste aziende, la creazione di valore è in realtà definito da due processi:
    - Sviluppo di nuovi prodotti (NPD) o introduzione di nuovi prodotti (NPI);
    - Operations management

Il primo processo coinvolge tutte le attività legate alla progettazione e costruzione della capacità produttiva, mentre il secondo processo coinvolge solitamente tutte le attività necessarie alla gestione della produzione, del trasporto e della distribuzione, compresi i servizi di supporto. Sia le aziende manifatturiere discrete (ad es. automobilistica, tessile, elettronica, ecc.) che le industrie di processo (ad es. chimica, farmaceutica, alimentare, ecc.) potrebbero funzionare in questo modo. In questo caso, i clienti non partecipano direttamente al processo di creazione. Le imprese hanno un modo più

strutturato di lavorare per migliorare l'efficienza dei processi e il PLM potrebbe fornire questo tipo di efficienza.

Il PLM sta fornendo soluzioni alle tipologie di imprese sopra menzionate. Infatti, il PLM è in grado di gestire grandi quantità di dati di prodotto generati nelle varie fasi del ciclo di vita in modo da supportare l'efficienza, la flessibilità e l'efficacia dei processi aziendali. Nel mercato globalizzato, questa situazione è sottolineata dalla presenza di molte aziende distribuite e dalle crescenti richieste di innovazione in tempi brevi. Evidentemente, il PLM comprende una serie di processi che dipendono dal livello di applicazione e di implementazione [Batenburget al., 2006].

Tuttavia, i processi sono gestiti, controllati, attuati e realizzati da attori umani. Pertanto, il PLM, come ogni modello/approccio di business, dovrebbe tenere conto di una corretta comprensione dell'impatto e del coinvolgimento umano. Gli operatori umani e i responsabili delle decisioni svolgono il loro ruolo lungo i processi e un progetto PLM potrebbe occuparsene, consentendo la collaborazione e la cooperazione senza creare nuove barriere. Tale approccio collaborativo è la stessa essenza del successo del PLM.

La mutevolezza dei mercati e la crescente ricerca di efficienza stanno guidando le imprese di grandi e piccole dimensioni verso trasformazioni radicali che mirano al continuo incremento e successivo mantenimento del valore generabile dal core business aziendale. Ciò comporta una graduale riorganizzazione in forme organizzative sempre più distribuite orizzontalmente, in cui le attività che costituiscono i principali processi di ingegnerizzazione di prodotto/processo e di management del sistema di produzione sono sviluppati congiuntamente da vari partner professionali [Garetti et al., 2003].

In questa prospettiva di generazione del valore proveniente da più imprese che cooperano in un ecosistema , la necessità di controllare i processi aziendali che risultano distribuiti lungo la supply chain ha messo in risalto la complessità di integrazione tra i diversi supporti informatici utilizzati nelle diversi fasi del ciclo di vita del prodotto.

Infatti, i numerosi ausili informatici che vengono adoperati all'interno delle aziende per monitorare le attività ingegneristiche durante il ciclo di vita di un prodotto e che si sono storicamente sviluppati in modo indipendente tra loro, richiedono ora un utilizzo condiviso in ambienti di progettazione e produzione collaborativi.

Come descritto da Michael Porter, economista statunitense e professore dell' Harvard Business School, l'azienda è un insieme di attività che si susseguono nella stessa direzione e con lo stesso obiettivo di fondo: la creazione di valore [Porter, 1985].

Per definizione, la creazione di valore deriva dalla configurazione a forbice che si genera fra la massimizzazione dei profitti e la minimizzazione dei costi e delle inefficienze di natura aziendale.

Se all'inizio degli anni '80 la generazione di valore attraverso l'automazione di fabbrica era associata a minori costi di produzione e aumento della produttività, invece a partire dalla prima metà degli anni '90 nuove esigenze hanno spinto le aziende a creare valore in modi alternativi.
Con il fine primario della generazione di valore le aziende sono fortemente incentivate ad esternalizzare i processi di business meno essenziali, con una conseguente riduzione dei costi.
In questo modo si genera una struttura deverticalizzata e costituita da una fitta rete di soggetti collaboranti tra loro.
Di conseguenza, le nuove organizzazioni che si sono venute a creare hanno dovuto potenziare il proprio livello di coordinamento e imparare a condividere le competenze.
In questo scenario la struttura aziendale a compartimenti stagni ha dimostrato elevate debolezze e inefficienze, motivo per cui è stata sostituita da una visione più coerente di valore, di cui la definizione di processo è l'elemento centrale.

2.2 Metodologie di applicazione del PLM

Una metodologia è un sistema di principi, pratiche e procedure applicate ad un ramo specifico della conoscenza. La metodologia è talvolta usata come sinonimo di metodo e/o tecnica, indicando un insieme di regole e postulati utilizzati da una disciplina. Nel quadro del PLM dovrebbero essere utilizzate molte metodologie diverse a seconda delle diverse esigenze delle varie fasi del ciclo di vita del prodotto (Terzi et al., 2005).
Le metodologie operano sui dati di prodotto per ottenere risultati specifici nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto. Le metodologie generalmente non solo richiedono una grande quantità di informazioni e dati di prodotto che possono essere forniti dal sistema PLM, ma richiedono anche che le conoscenze umane siano correttamente applicate e utilizzate.
Da questo punto di vista, poiché le competenze non risiedono in un unico attore, è necessario un buon livello di collaborazione e coordinamento tra i diversi attori.
In generale, le metodologie possono essere classificate in quattro tipologie:

1. Procedure e tecniche che supportano progettisti e ingegneri nello sviluppo di una soluzione di prodotto coerente con gli obiettivi e le finalità dell'azienda. Alcuni esempi sono: teoria per l'invenzione della soluzione dei problemi (TRIZ, ad esempio Altshuller, 1994), implementazione delle funzioni di qualità (QFD, ad esempio Akao, 1990; Hauser e Clausing, 1988), analisi del valore e ingegneria (VA&E, ad esempio Kaufman, 1990; Miles, 1961), design to cost e gestione dei costi target (DTC/TCM, ad esempio Michaels e Wood, 1989).

2. Regole e procedure, basate su esperienze passate, che indicano ai loro utenti (generalmente progettisti e ingegneri di produzione) come considerare le esigenze e i vincoli esistenti nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto. Alcuni esempi sono la progettazione per l'assemblaggio, progettazione per la manutenzione, progettazione per l'ambiente, per citare alcune delle declinazioni citate in Huang (1996) e Boothroyd e Dewhurst (1993)), progettazione robusta, progettazione modulare e progettazione di piattaforme (e. Tseng e Jiao, 2000), design per la varietà (ad es. Teck-Hua e Tang, 1998), programma di riduzione della varietà (VRP, Koudate, 2003) e design di clustering (ad es. Ham et al., 1986).

3. Tecniche per la valutazione della risposta del prodotto alle esigenze provenienti da diverse fasi. Alcuni esempi sono la lifecycle analysis engineering and assessment (LCA) (ISO 14040, 1997; Joshi e Dutta, 2004) l'analisi dei rischi e degli effetti delle modalità di guasto e l'analisi della criticità (FMEA/FMECA, ad esempio McDermott e Mikylak, 1996), l'analisi dell'albero dei guasti (FTA) e il diagramma fishbone/Ishikawa..

4. Approcci di gestione e regole a supporto del miglioramento continuo dell'impresa. Gli esempi principali sono all'interno della fase di produzione: just in time, lean manufacturing e pensiero, Six Sigma, total quality management and total productive maintenance (ad esempio Krajewski e Ritzman, 1999).

Tra le metodologie, un ruolo particolare è svolto dalla concurrent engineering (CE, Prasad, 1996), un approccio gestionale e operativo che mira a migliorare la progettazione, la produzione, l'esercizio e la manutenzione dei prodotti sviluppando ambienti in cui il personale di tutte le discipline (progettazione, marketing, ingegneria della produzione, pianificazione dei processi, supporto, ecc.) lavora insieme e condivide i dati in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto. Durante gli anni '80, il CE è stato proposto come mezzo per ridurre al minimo i tempi di sviluppo del prodotto (Barkan, 1988), e da allora sono emerse in letteratura molte interpretazioni del CE, assumendo un ruolo rilevante nelle diverse "curve di moda" delle applicazioni industriali.
Attualmente, il PLM ha ereditato i principali elementi di CE che includono l'uso dell'ITC per implementare la sua visione collaborativa. In altre parole, si può affermare che grazie allo sviluppo di nuove tecnologie ICT, il PLM ha implementato il concetto 'teorico' di CE. Allo stesso tempo, il PLM è più ampio di CE, poiché mira al coinvolgimento di tutti gli attori distribuiti lungo il ciclo di vita del prodotto, non solo per la mera fase di progettazione.

È importante comprendere che il concetto e l'implementazione pratica del PLM possono trarre grande beneficio dall'integrazione di strumenti informatici/software, facilitando l'utilizzo di queste metodologie come strumenti di supporto per una migliore gestione delle attività legate al prodotto (dalla progettazione alla produzione al servizio, ecc.).

3. SUPPORTO DEI SISTEMI ICT PER IL PLM

3.1 L'influenza delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) sui sistemi PLM

In un contesto economico sempre più caratterizzato della competitività nei mercati e dal cambiamento delle esigenze dei clienti, sempre più pretenziosi in termini di qualità, tempestività e servizio, le imprese spingono per aumentare l'innovazione e ridurre il tempo di commercializzazione dei propri prodotti, cercando al contempo di ridurre tutte le inefficienze "gestionali" e organizzative.

Tuttavia, non è possibile ignorare il fatto che il continuo sviluppo di tecnologie a basso costo per i sistemi informativi renda possibili e favorisca queste tendenze, permettendo a specifiche forme organizzative di essere realmente applicate in contesti aziendali piuttosto che rimanere soltanto un puro esercizio teorico. Questo processo viene inoltre promosso dal continuo sviluppo della tecnologia hardware e software informatica e l'introduzione dell'innovazione tecnologica in ambito IT.

In aggiunta all'implementazione dei sistemi informatici si è verificata l'evoluzione degli ambienti di condivisione delle informazioni di prodotto/processo. [Tecnomatix. EMPower solutions, 2003]

Questi specifici sistemi vengono frequentemente attribuiti alla classe dei sistemi di DM (Document Management) di tipo progettuale. Si tratta di strutture che prevedono dei database condivisi all'interno dei quali vengono immagazzinate informazioni di progetto, prodotto e sistema, corredate dai relativi servizi di gestione degli accessi e delle autorizzazioni, nonché delle modifiche e delle release. Gli archivi elettronici contenenti tutti i dati aziendali prendono il nome di "vault", ovvero cassaforte, facendo riferimento al patrimonio informativo contenuto al loro interno [Codrino, 2003].

In larga misura, con lo sviluppo di questi sistemi di condivisione e collaborazione, nonché con la definizione di standard di scambio dati, è possibile realizzare una profonda integrazione tra aziende appartenenti allo stesso ecosistema, migliorando così l'efficienza della gestione del processo di progettazione [CimData, 2002].

I dati di prodotto possono essere suddivisi in tre principali macro categorie:

- Dati di definizione del prodotto;
- Dati relativi al ciclo di vita del prodotto;
- Metadata, ovvero dati che forniscono informazioni più dettagliate sulle prime due categorie di dati precedentemente elencate.

I dati di definizione descrivono le proprietà fisiche e funzionali di un prodotto prendendo in considerazione il punto di vista del produttore o del consumatore. Tale categoria di dati comprende

sia le informazioni astratte e concettuali di prodotto sia le informazioni più tecniche correlate al funzionamento di questo.
Tali dati rappresentano le informazioni relative al prodotto che deve essere creato che sono il cuore dell'integrazione delle funzioni e dei processi di business di un'azienda manifatturiera.
La creazione, lo sviluppo, la gestione e la distribuzione delle informazioni generano un ponte di collegamento tra le competenze materiali e immateriali delle organizzazioni.
I dati relativi al ciclo di vita del prodotto forniscono invece le informazioni che si ottengono a partire dalla ricerca tecnologica, dalla progettazione e produzione del prodotto, all'utilizzo, alla manutenzione, concludendo con il declino e la fuoriuscita dal mercato.
Nei business odierni, la problematica principale nella gestione del ciclo di vita di un prodotto diventa tipicamente evidente in tre differenti aree:

- Le idee, i termini e gli acronimi all'interno dell'area di gestione del ciclo di vita del prodotto non sono chiare e definite all'interno delle aziende. Questo significa che i contenuti informativi collegati a certi termini non sono chiari e le idee su come utilizzare le informazioni di prodotto risultano sfocate.
- Il modo in cui le informazioni vengono utilizzate e i formati nei quali queste vengono registrate e salvate può risultare soggetto a variazione nel tempo. Spesso può capitare che determinate informazioni vengano utilizzate in contesti di natura differente rispetto a quelli che erano stati programmati inizialmente.
  Nel momento in cui vengono a mancare dei sistemi dedicati al processamento di informazioni possono sorgere problematiche di allocazione dell'informazione all'interno dell'azienda.

Le risorse internet – based che favoriscono un'integrazione computer – aided dell'intero processo progettuale di un prodotto hanno accelerato il fenomeno di integrazione aziendale, facilitando la comunicazione con i protocolli supportati da tutte le piattaforme hardware e software [Garetti and Macchi, 2000].
Una tendenza simile a quella descritta precedentemente si manifesta anche per gli strumenti IT a supporto delle attività dei processi logistico-produttivi.
In aggiunta, l'adozione dei "linguaggi" Internet (HTML – Hyper Text Markup Language e XML – eXtensible Markup Language) ha consentito un collegamento virtuale tra macchine e piattaforme completamente diverse grazie all'utilizzo di interfacce standardizzate che hanno consentito una gestione integrata delle informazioni relative a fornitori, clienti e in generale al mercato di destinazione dei prodotti e servizi.

Le modifiche apportate agli strumenti IT per supportare i suddetti processi aziendali derivano essenzialmente dallo sviluppo di più strumenti cross-domain.

Innanzitutto, con l'instaurarsi della visione per processi degli anni '90, si sono sempre più sviluppati strumenti di WFM (Workflow Management).

Un sistema WFM consente una condivisione semplice e veloce di informazioni e documenti (gestione documentale) basata su un archivio dati comune, dove vengono gestiti l'accesso e l'autorizzazione. In aggiunta a ciò, consente di automatizzare alcune attività aziendali, sgravando gli utenti da operazioni ripetitive e a basso contenuto di valore aggiunto. Tali sistemi velocizzano i processi di business aziendali grazie all'uso coordinato di tecnologie informatiche di comunicazione e condivisione [Codrino, 2003].

L'ICT svolge un ruolo unico nel PLM. Il PLM è composto da diversi strumenti, piattaforme e sistemi ICT. Un impatto particolare dell'ICT è sulla fase BOL con una grande varietà di strumenti e sistemi a supporto delle varie attività di progettazione e sviluppo. Seguono MOL ed EOL, tipicamente con un impatto ICT minore, anche se le nuove tecnologie e le esigenze dei clienti (ad es. prodotto intelligente e migliore tracciabilità del prodotto) rendono l'ICT sempre più rilevante in queste fasi [Ulrich and Eppinger, 2001].

All'interno di un sistema PLM i compiti si basano su modelli informatici elaborati con l'assistenza di un computer. La maggior parte di tali strumenti appartengono alla fase di progettazione, poiché la maggior parte dei dati di prodotto sono generati in questa fase.

La definizione digitale del prodotto costituisce l'origine e il nucleo del PLM. La definizione del prodotto stesso si è evoluta dai disegni di ingegneria agli strumenti di progettazione assistita da computer. L'avvento del controllo computerizzato delle macchine utensili è stato seguito dalla necessità di modelli di forma computerizzati in grado di guidare direttamente la produzione portando allo sviluppo di sistemi di modellazione di superfici e solidi (CAD 3D).

Gli odierni sistemi CAD consentono ai progettisti di definire la struttura del prodotto sotto forma di un assieme e varianti di parti e di supportare l'associazione tra il modello 3D e i disegni 2D [Rachuri et al., 2008].

Questo insieme di strumenti è generalmente identificato dal termine authoring tools.

La spinta alla definizione digitale del prodotto, originata dalla produzione digitale, è stata ampiamente rafforzata dagli sviluppi dell'analisi computerizzata.

Gli strumenti di pianificazione dei processi assistita da computer (CAPP) supportano gli ingegneri di produzione nel loro compito ripetitivo, generando file di produzione assistita da computer (CAM) per il pilotaggio di macchine NC [Tulkoff, 1988].

Questo ha anche permesso ai progettisti di rimandare la prototipazione fisica e i test fino alla fine e di affidarsi alla prototipazione digitale o virtuale (VP) e alla simulazione per gran parte dell'iterazione di "progettazione, realizzazione e test".
Come strumento ausiliario dei sistemi PLM esistono i cosiddetti PDM, ovvero Technical Data Management (TDM) o noti anche con il termine Engineering Data Management (EDM).
Si tratta fondamentalmente di un sistema per l'archiviazione e la gestione dei dati tecnici dei prodotti (ad es. disegni e oggetti di progettazione) e dei relativi flussi di lavoro. PDM è uno strumento utile per strutturare e mantenere la distinta base dell'ingegneria (BOM) e per gestire configurazioni e varianti di prodotto.
Generalmente, un sistema PDM è composto da:

1. Un magazzino informatico in cui i dati dei prodotti sono memorizzati in modo strutturato;

2. Un modulo di gestione delle informazioni, responsabile dell'amministrazione del sistema, dell'accessibilità dei dati, della sicurezza e dell'integrità, dell'uso simultaneo dei dati, dell'archiviazione e del recupero;

3. Un modulo di gestione del flusso di lavoro, da utilizzare per definire e registrare le cronologie dei flussi di lavoro;

4. Un'interfaccia utente, che ne supporti le attività (interrogazioni, reportistica, ecc.;

5. Una serie di interfacce di sistema per programmi come CAD, CAE e ERP.

I processi PDM possono essere automatizzati, non solo su attività banali, ma anche in fasi più intellettuali e a valore aggiunto, implementando tecniche di knowledge-based engineering (KBE) (Harper, 1999), derivate da pratiche di knowledge management (KM).
PDM rappresenta dunque la base operativa del PLM, e può essere considerata la sua genesi dal punto di vista del software.

3.2 Similitudini e differenze tra sistemi PLM e sistemi ERP

Come noto, le prime attività “gestionali” che hanno potuto disporre di supporto IT sono state le attività di gestione della produzione, attraverso i cosiddetti sistemi MRP (Material Requirements Planning),

trasformatisi gradualmente nei sistemi MRP II e CRP (Capacity Requirement Planning), fino a diventare moduli integrati dei più ampi sistemi ERP (Enterprise Resource Planning) aziendali, adoperati per il supporto integrato di tutte le principali funzioni aziendali.

Nel contempo, al crescere delle esigenze dei mercati, ulteriori strumenti IT si sono aggiunti a supporto delle attività logistiche e produttive. A tal proposito, sono stati implementati determinati sistemi a supporto della gestione di un'intera supply chain (SCM – Supply Chain Management), o ancora, per ottimizzare i rapporti con i clienti sono stati creati sistemi di customer care and management (CRM – Customer Relationship Management).

In risposta ai cambiamenti del mercato, è stato anche sviluppato un nuovo sistema (APS-Advanced Planning System) per la previsione della domanda e il miglioramento della pianificazione, , mentre, per gestire al meglio le risorse di produzione, i principi di automazione avanzata ereditati dal CIM negli anni '80 hanno trovato il loro posto negli strumenti MES (Manufacturing Execution System) [Garetti and Macchi, 2000].

La differenza principale con gli strumenti di ingegneria digitale o gli attuali strumenti ICT per il PLM sta nel modo in cui funzionano i sistemi ERP (Grieves, 2005). L'ERP è fondamentalmente un sistema transazionale, in cui le transazioni avvengono in modo continuo (arriva un ordine, viene eseguito un lavoro, viene sollecitato un fornitore, ecc.).

In altre parole, ERP supporta compiti ripetitivi, tipici delle fasi di produzione e delle operazioni, mentre gli strumenti di authoring e PDM supportano attività intellettuali ricorsive e iterative che sono solitamente non transazionali. I sistemi ERP possono quindi essere considerati come parte della visione globale del PLM, poiché lavorano con i dati di prodotto e generano dati di prodotto.

L'attuale relazione tra PLM ed ERP dipende dai processi aziendali e può essere catturata schematicamente come mostrato nella *Figura 6*.

All'interno delle aziende dominate dal processo di definizione del prodotto (ad es. nelle produzioni su misura), il PLM centrato sulla progettazione assume un ruolo dominante; quindi vengono installati strumenti e sistemi di authoring e CPD. D'altra parte, all'interno di contesti dominati dal processo di consegna del prodotto (ad esempio in settori turbolenti, come la moda e/o il tessile), l'ERP (e piattaforme simili all'ERP) sembra dominare le implementazioni del PLM incentrate sul design.

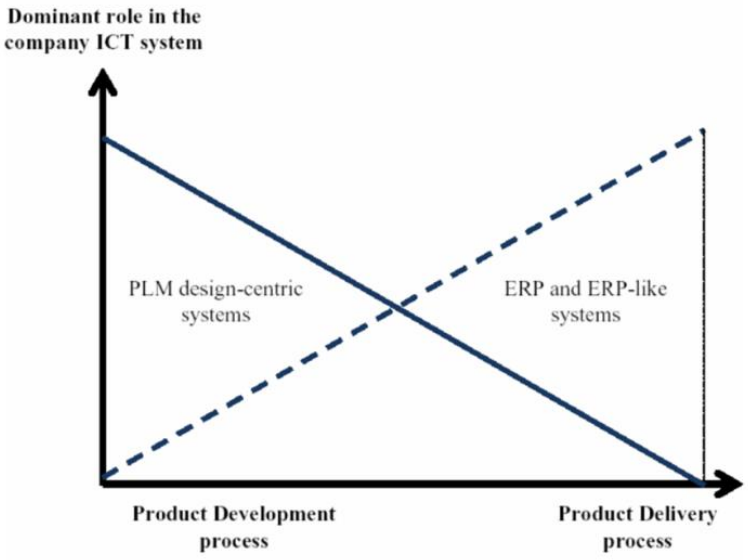


Figura 6 Area di sviluppo dei sistemi ERP e PLM , Source: International Journal of Product Lifecycle Management

4. PLM OGGI E NUOVE TENDENZE PER IL FUTURO

4.1 Esempi di applicativi attuali dei sistemi di gestione PLM

Gli scenari applicativi del metodo PLM sono ormai molto diversi tra loro e si stanno espandendo ad ambiti diversi dalla produzione tradizionale, da sempre motore trainante dell'organizzazione e dello sviluppo tecnologico.

Tra questi contesti nuovi, spicca tra tutti il settore delle costruzioni, d'architettura e d'ingegneria (definito come AEC, Architecture, Engineering and Construction), caratterizzato da numerosi fasi appartenenti al ciclo di vita di un prodotto/progetto. Inoltre, l'intero processo di lavoro prevede una stretta collaborazione tra persone diverse, per non parlare del programma del progetto, che potrebbe richiedere la partecipazione di centinaia di partecipanti, compresi venditori e subappaltatori.

Un altro esempio di applicabilità del metodo PLM si trova nel reparto servizi: nel reparto sanitario si migliora la qualità del "percorso clinico" dei pazienti ospedalieri utilizzando un sistema informativo integrato corrispondente a postazioni di lavoro accessibili da più database , nei quali si accumula la storia della salute del paziente, utile per futuri interventi. [Brown, 2003]

L'acronimo SLM (Service Life Cycle Management) è stato creato per il settore dei servizi e rappresenta una delle più recenti aree di implementazione e utilizzo del sistema PLM.

Secondo un'indagine di Accenture del 2001, le aspettative del mercato imprenditoriale sul PLM sono molto elevate: per il 71% degli intervistati (100 top manager nazionali ed internazionali) l'adozione di un approccio PLM appare necessario per conseguire un buon time-to-market, per il 69% serve a ridurre i costi e le inefficienze, eliminando ridondanze ed errori di comunicazione, per il 59% consente di raggiungere un miglioramento della qualità finale del prodotto o del servizio offerto, per il 47% infine fa si che si raggiunga un livello di comunicabilità tra le persone maggiormente adeguato. [Accenture, 2001]

In sintesi, ci si aspetta che il PLM sostenga la creazione di valore nella società attraverso strumenti di abilitazione nelle seguenti aree:

- Tecnico: realizzazione ottimale delle funzioni attese che coprono le esigenze espresse e non espresse dall'utente, sfruttando le conoscenze sul campo raccolte durante il ciclo di vita del prodotto.
- Economico: creazione di valore per il produttore, per il fornitore di servizi e per il proprietario del prodotto.
- Sociale: fornire comfort, sicurezza, protezione e soddisfazione all'utente del prodotto (ad esempio, il passeggero di un autobus, l'utente di un ascensore, ecc.)
- Ambientale: minimizzare l'inquinamento, le risorse e il consumo di energia applicando una pianificazione ottimale di BOL, MOL e EOL.

4.2 Sistemi di gestione del ciclo di vita a ciclo chiuso (CL2M)

Il PLM dovrebbe garantire una società a minore intensità di risorse e un'industria più competitiva grazie a strumenti come i seguenti:

- una migliore tracciabilità dei prodotti, che è importante per scoprire gli errori di produzione e altre questioni legate alla qualità e aiuta ad aumentare la competitività
- una migliore tracciabilità nella logistica, che consente di ottimizzare l'utilizzo delle scorte, riducendo così gli sprechi di materiale e i costi di trasporto
- integrare i servizi basati sulla conoscenza nei prodotti, offrendo un vantaggio competitivo all'industria moderna
- miglioramento del riciclaggio dei materiali grazie all'effettiva integrazione delle conoscenze delle sostanze, del produttore e di altre conoscenze che facilitano il riutilizzo dei materiali
- metodi basati sulla conoscenza che consentono un uso ottimale delle risorse (in particolare dell'energia) durante tutto il ciclo di vita del prodotto.

Nelle imprese moderne si sta sviluppando sempre di più un sistema innovativo di PLM, che prende il nome di sistema PLM a ciclo chiuso. Tali sistemi permettono a tutti gli attori che hanno un ruolo durante il ciclo di vita di un prodotto (manager, progettisti, operatori di assistenza e manutenzione, riciclatori, ecc.) di tracciare, gestire e controllare le informazioni sul prodotto in qualsiasi fase del suo ciclo di vita (progettazione, produzione, MOL ed EOL) in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo del mondo.

Il PLM a ciclo chiuso contribuirà alla modernizzazione dell'industria, al migliorando la qualità delle informazioni sui prodotti e alla facilità di accesso alle informazioni nelle fasi di progettazione, produzione, utilizzo e dismissione. Ciò consentirà a tutte le parti interessate lungo la catena del valore non solo di eliminare le fasi non ottimali, ma anche di ottimizzare su questioni quali i costi, i rischi, l'ambiente e l'efficienza, tra le altre, lungo l'intero ciclo di vita del prodotto. Le tendenze del mercato verso prodotti personalizzati richiederanno un ciclo di vita basato sulla conoscenza, con una grande enfasi sul follow-up delle informazioni per il consumatore incorporate in ogni prodotto personalizzato.

Di conseguenza, il PLM sta contribuendo in futuro attraverso un chiaro spostamento dell'enfasi dalle fasi BOL e MOL per incorporare le aree EOL. Si prevede che il PLM garantisca una società a minore intensità di risorse e un'industria più competitiva grazie a strumenti come i seguenti:

- una migliore tracciabilità dei prodotti, importante per scoprire gli errori di produzione e altri problemi legati alla qualità e che contribuisce ad aumentare la competitività

- una migliore tracciabilità nella logistica, che consente di ottimizzare l'utilizzo delle scorte, riducendo così gli sprechi di materiale e i costi di trasporto
- integrare i servizi basati sulla conoscenza nei prodotti, offrendo un vantaggio competitivo all'industria moderna
- miglioramento del riciclaggio dei materiali grazie all'effettiva integrazione delle conoscenze delle sostanze, del produttore e di altre conoscenze che facilitano il riutilizzo dei materiali
- metodi basati sulla conoscenza che consentono un uso ottimale delle risorse (in particolare dell'energia) durante tutto il ciclo di vita del prodotto.

Il PLM a ciclo chiuso o CL2M in generale sta diventando un dato di fatto in vari settori industriali e di business in generale. La tendenza è quella di sistemi più integrati, compresi software e sistemi dotati di dispositivi informativi integrati nel prodotto (PEID) che forniscono informazioni in tempo reale ai sistemi di gestione delle informazioni di livello superiore.
L'insieme complessivo di metodologie, strumenti e tecnologie, compreso il CL2M che il PLM offre agli stakeholder del ciclo di vita del prodotto promette la proposta di business di creare valore trasformando le informazioni in conoscenza in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto (Garetti et al., 2005), migliorando così la qualità, l'efficienza e la sostenibilità di prodotti e servizi.
L'avvento di queste tecnologie supporterà la sostenibilità, uno dei temi su cui il PLM sarà in grado di diffondere sempre più la sua efficienza nei prossimi anni. La sostenibilità può essere definita come la capacità di soddisfare le esigenze del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni [Brundtland Commission (1987)].

5. MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES)

5.1 caratteristiche generali dei MES e integrazione con sistemi ERP

Il settore manifatturiero è considerato la spina dorsale per facilitare la crescita economica di un paese [Westkamper, 2014].

Oggi è difficile immaginare di gestire le operazioni di produzione in un'industria senza l'uso di automazione, sistemi informatici e software. Tuttavia, la complessità sempre maggiore dei sistemi informatici utilizzati nell'industria manifatturiera automobilistica ha creato la necessità di fornire processi dotati di strumenti semplici e comprensibili per l'uomo insieme alla creazione di sistemi modulari e adattabili.

Le varie discipline della gestione aziendale, come la pianificazione della produzione, il personale e la garanzia della qualità, sono state integrate da sistemi di raccolta dati dedicati.

Con l'emergere del concetto CIM (Computer Integrated Manufacturing), l'interdipendenza di questi campi di attività ha cominciato a riapparire nei sistemi informatici, comportando non una visione delle diverse sfere di interesse come completamente indipendenti, ma consentono il passaggio dei dati da un'attività all'altra.

Dagli anni ’90 i sistemi ERP hanno guadagnato una popolarità dirompente tra le imprese manifatturiere di tutto il mondo [Hicks and Steche 1995, Welti 1999].

Un sistema ERP per sua natura non è adatto a controllare le operazioni quotidiane in officina e, a questo scopo, negli anni '90 è emerso un nuovo tipo di software industriale chiamato MES (manufacturing execution system).

Un MES mira a fornire un'interfaccia tra un sistema ERP e i controllori di officina, supportando varie attività di "esecuzione" come la programmazione, il rilascio degli ordini, il controllo qualità e l'acquisizione dati [MESA 1997].

Lo scopo di un MES è duplice: in primo luogo, il sistema deve valutare la pianificazione ottimale delle sequenze tenendo conto delle caratteristiche di base del processo, come i tempi di elaborazione e di setup, e la capacità delle postazioni di lavoro, considerando i requisiti e le necessità date dal livello organizzativo dell'azienda. Il sistema deve anche gestire e allocare risorse come il personale e il materiale necessario per il processo di produzione.

Il secondo obiettivo di un MES è la gestione del flusso di dati bottom-up: le informazioni raccolte dai sistemi di monitoraggio a livello di officina possono essere utilizzate per valutare la qualità del prodotto e le prestazioni del processo.

Il MES analizza tali dati; i risultati sono forniti al livello organizzativo e utilizzati per i compiti di controllo del processo. Le funzionalità di un MES sono state raggruppate in 11 categorie da MESA International, come mostrato in *Figura 7*.

Figura 7 Funzionalità dei sistemi MES , Source: MPG Global

Le aziende manifatturiere contemporanee devono far fronte a varie esigenze, come la risposta rapida ai guasti dell'officina, il bilanciamento delle scorte, gli obiettivi di produzione personalizzati e modifiche flessibili ai piani operativi basati sulle condizioni del prodotto e dell'officina, che sono difficili da soddisfare allo stesso tempo [Yan, et al., 2008].

Sebbene il sistema ERP supporti il flusso di informazioni tra l'azienda e gli stakeholder esterni, non è sufficiente utilizzarlo da solo, perché questo si concentra principalmente sui livelli di gestione e non prende in considerazione la situazione dell'officina [Yoon et al., 2011].

Per affrontare le sfide di cui si è discusso sopra, non solo le informazioni provenienti dai sistemi aziendali, ma anche i dati di officina dovrebbero essere utilizzati in modo che il giudizio appropriato possa essere portato in armonia con le varie esigenze dell'impresa.

Il MES è il sistema che consente l'esecuzione della produzione dall'ordine di lavoro al prodotto finito con l'ottimizzazione della gestione di tutte le operazioni di produzione [Rolon and Martinez, 2012].

Per un'azienda manifatturiera che impiega impianti di produzione tradizionali e sistemi MIS (sistemi informativi gestionali) convenzionali, un sistema FMS (Flexible Manufacturing System) e un sistema ERP possono essere le due principali aree di investimento se l'azienda vuole essere più competitiva.
Un sistema FMS è un sistema di produzione dotato della capacità di realizzare per via automatica prodotti differenti.
Dal momento che l'importo dell'investimento per un tipico FMS o per un ERP è di circa 5 milioni di dollari [Kim 1996; Welti 1999], per una società che ha investito su questi due sistemi è essenziale avere un adeguato MES che possa fornire un'adeguata interfaccia tra i due.
Con l'uso di MES in combinazione con l'implementazione di ERP e di altri sistemi di automazione, ci si aspetta che un'azienda di produzione sia altamente competitiva.
Nell'implementazione del MES, l'integrazione funzionale che consenta a tutti i componenti del sistema di produzione di lavorare insieme è la sfida più grande. Per questo, ci deve essere uno standard industriale che specifichi i sottosistemi di un sistema di esecuzione della produzione e definisca i confini tra ERP, MES e altri sistemi di automazione. Lo standard è noto come UN-95 [Govindaraj and Putra, 2016].
Gli obiettivi che devono essere raggiunti con l'implementazione del MES sono i seguenti:

1. Ottimizzazione dell'intera catena di fornitura attraverso un migliore controllo del flusso di lavoro, una documentazione migliore e in tempo reale delle fasi del processo;
2. Miglioramento della qualità dei dati per la valutazione dei processi e dei prodotti;
3. Visibilità e trasparenza nell'intero processo produttivo: si devono analizzare solo gli scostamenti, non è più necessario un esame dettagliato del normale flusso di lavoro;
4. Riduzione dei costi di stoccaggio del materiale (WIP) grazie ai tempi di consegna più brevi;
5. Riduzione dei lavori amministrativi per la manutenzione dei documenti di fabbrica;
6. Riduzione del numero di lotti persi;
7. Processo decisionale migliore grazie ad un facile accesso ai dati e alle informazioni correnti per casi aziendali critici.

Al fine di minimizzare i rischi nel processo di implementazione, sono necessarie linee guida per la progettazione e l'implementazione del MES, con l'obiettivo di aiutare le aziende manifatturiere a raggiungere i benefici sopra menzionati.
Nel corso del tempo sono state formate tre serie di sistemi di raccolta / valutazione dei dati.

Il sistema composito proviene da sistemi di raccolta dati indipendenti, alcuni dei quali svolgono compiti diversi. In generale, le funzioni di questi sistemi combinati descrivono l'ambito delle funzioni dell'attuale MES:

- Problematiche di produzione;
- Questioni relative al personale: registrazione dei tempi di lavoro, controllo degli accessi, breve pianificazione della forza lavoro;
- Questioni di garanzia della qualità.

In termini pratici, come mostrato nella *Figura 8*, i sistemi MES si occupano principalmente di gestione ordini e gestione controllo qualità, mentre i sistemi ERP si occupano di contabilità, pianificazione del fabbisogno di materiale, gestione della progettazione/produzione, analisi di magazzino, gestione acquisti e del personale.

Figura 8 Implementazione dei sistemi MES ed ERP– Source: Techsol

Poiché le aziende contemporanee si trovano ad affrontare la sfida rappresentata da un ambiente di mercato incentrato sul cliente e da un'intensa concorrenza, diventa sempre più importante rispondere rapidamente alla domanda dinamica del mercato.

Anche se gli attuali MES consentono di ottenere qualche miglioramento nella raccolta dei dati grezzi, non sono all'altezza delle aspettative sull'analisi dei dati.

È importante affrontare in tempo reale gli eventi in officina, come i problemi di qualità e i guasti agli impianti. Tuttavia, molte delle attuali aziende manifatturiere hanno una diversa cultura nella gestione delle attività di gestione della produzione e dunque si ritrovano ad utilizzare i sistemi gestionali MES senza sfruttare al massimo le loro potenzialità [Johnson, 2002].

5.2 Difetti dei sistemi MES e relative soluzioni introdotte dai sistemi Smart MES

Oggi si sente parlare sempre di più dei cosiddetti sistemi di gestione Smart MES.
Si tratta per l'appunto di versioni aggiornate dei tradizionali sistemi di gestione e controllo delle funzioni produttive di un'azienda, ideati al fine di poter ridurre o eliminare alcune cause di inefficienza legate agli attuali sistemi.
Le problematiche principali correlate ai sistemi MES sono riassumibili nei seguenti punti:

- I lavoratori si ritrovano spesso a dover registrare a mano i dati che provengono dalla macchina e digitarli nel MES o nel DB (Database). Ciò significa che l'utilizzazione dei dati sarà meno utile a causa del ritardo;

- La tecnologia dei sensori viene spesso utilizzata come mezzo per ottenere dati dall'officina. Tuttavia, poiché esistono molti standard di comunicazione esistenti sui sensori e il PLC (Programmable Logic Controller) supporta diversi tipi di sensori a seconda dei fornitori, l'integrazione di questi dati è difficile [Philip, 2008];

- È difficile modificare il programma operativo sulla base dei requisiti delle parti interessate o della situazione in officina una volta determinato inizialmente il programma di produzione. Quindi, se si verifica una situazione di questo tipo, si creano molte comunicazioni tra l'operatore MES e i lavoratori in officina, che causano un notevole consumo di tempo per la riprogrammazione;

- In generale, è difficile riconoscere che tipo di guasto è avvenuto nella macchina, in quanto dipende soprattutto dalle conoscenze tacite dei lavoratori. Se l'utente non ha esperienza e conoscenza, allora ci vorrà molto tempo per capire il problema. Questo si traduce nel concetto di deviazione tra i lavoratori;

- La stima del consumo di materiale per la produzione è scarsamente legata all'SCM (supply chain management), il che significa che la previsione della domanda si basa sull'esperienza del manager e il lavoro di feedback è fatto principalmente di conversazione telefonica, il che causa un carico di comunicazione e una riduzione dell'efficienza del lavoro;

- L'integrazione /sincronizzazione dei dati tra il MES e il sistema informativo aziendale non è completamente stabilita. Può comportare molti carichi di comunicazione e lavoro manuale,

poiché un sistema non può utilizzare i dati di altri sistemi, il che causa una riduzione dell'efficienza del lavoro;

Proprio per risolvere queste problematiche di carattere gestionale si è pensato allo sviluppo di un sistema MES più integrato all'interno della realtà aziendale.
La comunicazione tra il sistema informativo aziendale e il MES dovrebbe essere stabilita in modo che le informazioni possano essere scambiate in modo efficiente.
Ogni impianto, anche se supporta la stessa funzione, ha diversi attributi impostati. Ciò significa che richiede un modello di dati unificato per integrare i dati provenienti dall'officina.
Inoltre, poiché il MES svolge un ruolo di intermediario deve esistere un modello di dati unificato che integri i dati.

I principali obiettivi che vengono raggiunti dai sistemi Smart MES riguardano :

- L'adozione di un ambiente di comunicazione in tempo reale: è un'infrastruttura che collega Smart MES, officina, sistema informativo aziendale, ERP e utente. E' necessario disporre di questa infrastruttura in modo che i dati di officina e le informazioni del sistema aziendale possano fluire in modo rapido;

- Integrazione e trasformazione dei dati: queste due funzioni dovrebbero essere realizzate per raccogliere informazioni in modo efficiente da diversi tipi di sistemi e per un'analisi efficiente;

- Le funzioni Smart MES vengono adottate come applicazioni perché possono essere modificate in modo flessibile.

Secondo MESA International, gli utenti del MES nelle aziende hanno riferito di aver tratto beneficio dal MES in termini di riduzione dei tempi di produzione, miglioramento della qualità dei prodotti, manutenzione predittiva, ecc. Tuttavia, non sono stati trovati studi accademici significativi su casi aziendali che abbiano segnalato il cambiamento delle metriche di performance di un'organizzazione dovuto all'implementazione del MES.

6. INTEGRAZIONE PLM-MES IN OTTICA INDUSTRIA 4.0

6.1 Storia dell'Industria 4.0

L'Industria 4.0 è un piano strategico che è stato proposto dal governo tedesco. Il fatto che il concetto di industria 4.0 provenga dalla Germania non sorprende poiché ha una delle industrie manifatturiere più competitive al mondo ed è addirittura leader mondiale nel settore delle attrezzature di produzione. In particolare, gli autori del termine tedesco "Industrie 4.0" sono Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster, che per primi hanno utilizzato il termine alla fiera di Hannover del 2011. Il progetto Industria 4.0 orientato al futuro, realizzato alla fine del 2013, prevedeva investimenti in infrastrutture, scuole, istituti di ricerca e aziende per modernizzare il sistema produttivo e riportare la manifattura tedesca ai vertici del mondo, consentendole di avere competitività globale [Rojko, 2017]. L'obiettivo del piano era, ed è tuttora, quello di trasformare la produzione industriale attraverso la digitalizzazione e lo sviluppo del potenziale delle nuove tecnologie.

In un'ottica di One-of-a-kind enterprises, il sistema di produzione dell'Industria 4.0 è flessibile e può dunque adattarsi perfettamente alla realizzazione di prodotti personalizzati.

La produzione industriale è oggi guidata dalla concorrenza globale e dalla necessità di un rapido adattamento della produzione alle crescenti e mutevoli richieste del mercato. Queste esigenze possono essere soddisfatte solo con radicali progressi nell'attuale tecnologia di produzione.

L'industria 4.0 è un approccio promettente basato sull'integrazione del business e dei processi di produzione, nonché sull'integrazione di tutti gli attori della catena del valore dell'azienda (fornitori e clienti).

Gli aspetti tecnici di questi requisiti vengono affrontati applicando ai sistemi di produzione industriale i concetti generici di Sistemi Cyber-Fisici (CPS) e di Internet of Thingd (IoT).

Il "sistema di esecuzione" dell'industria 4.0 si basa quindi sulle connessioni dei blocchi di costruzione CPS. Questi moduli sono sistemi embedded con controllo decentralizzato e connettività avanzata in grado di raccogliere e scambiare informazioni in tempo reale per identificare, localizzare, tracciare, monitorare e ottimizzare i processi di produzione. Inoltre, è necessario un ampio supporto software basato su versioni decentralizzate e adattate di Manufacturing Execution System (MES) e Enterprise Resource Planning (ERP) per ottenere una perfetta integrazione dei processi di produzione e aziendali.

Il terzo aspetto importante è la grande quantità di dati raccolti da processi gestionali, macchine e prodotti. I dati vengono solitamente archiviati nel cloud storage [Presentation at the French Embassy in the Germany, "Industry of the future", 2015].

Questi dati richiedono un'analisi approfondita che porti dai dati "grezzi" alle informazioni utili e, infine, alle azioni concrete che supportano un processo di produzione industriale adattivo e continuamente auto-ottimizzante.

Il concetto di Industrial Internet è stato introdotto in Nord America dalla società General Electric alla fine del 2012. È visto come una stretta integrazione tra il mondo fisico e quello digitale che combina l'analisi dei grandi dati con l'Internet of Things.

Il concetto presuppone un'area di applicazione molto più ampia come l'Industria 4.0 e copre la generazione e la distribuzione di energia, la sanità, la produzione, il settore manifatturiero, il settore pubblico, i trasporti e l'industria mineraria [Industrial Internet Consortium, 2015].

Nell'Industrial Internet Consortium istituito da General Electric e altre società, si stima che il 46% dell'economia globale possa trarre vantaggio dall'Industrial Internet [Nayak et al., 2015].

L'idea principale dell'Industria 4.0 è quella di sfruttare le potenzialità delle nuove tecnologie e di concetti quali:

- Integrazione dei processi tecnici e dei processi aziendali;
- Mappatura digitale e virtualizzazione del mondo reale;
- Fabbrica "intelligente", compresi i mezzi "intelligenti" di produzione industriale e i prodotti "intelligenti".

Le tappe dello sviluppo dei sistemi di produzione industriale dal lavoro manuale al concetto di Industria 4.0 possono essere presentate come un percorso attraverso le quattro rivoluzioni industriali. Lo sviluppo è rappresentato nella *Figura 9*.

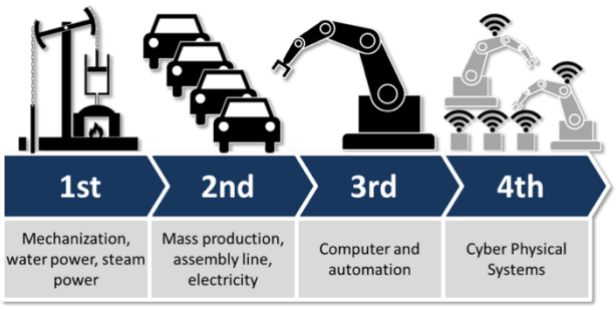


Figura 9 Industry 4.0 – La storia della rivoluzione industriale; Source: Team3D.it

La prima rivoluzione industriale è iniziata con la meccanizzazione e la generazione di energia meccanica nel 1800. Ha permesso il passaggio dal lavoro manuale ai primi processi di produzione, soprattutto nell'industria tessile. Una migliore qualità della vita è stato uno dei principali motori del cambiamento.

La seconda rivoluzione industriale è stata innescata dall'elettrificazione che ha permesso l'industrializzazione e la produzione di massa. Spesso analizzata in questo contesto è una citazione di Henry Ford, che diceva a proposito della Ford T-Model "Si può avere qualsiasi colore purché sia nero". La citazione cattura bene l'introduzione della produzione di massa, ma senza la possibilità di personalizzazione dei prodotti.
La terza rivoluzione industriale è caratterizzata dalla digitalizzazione con l'introduzione della microelettronica e dell'automazione. Nel processo di produzione, ciò contribuisce alla produzione flessibile, in cui le macchine programmabili possono essere utilizzate per produrre vari prodotti su linee di produzione. Tali sistemi, tuttavia, non hanno ancora una flessibilità per quanto riguarda la quantità di produzione.
Oggi stiamo affrontando la quarta rivoluzione industriale che è stata innescata dallo sviluppo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT). La sua base tecnologica è l'automazione intelligente di sistemi cyber-fisici con controllo decentralizzato e connettività avanzata (funzionalità IoT).
La conseguenza di questa nuova tecnologia per i sistemi di produzione industriale è la riorganizzazione dei classici sistemi di automazione gerarchica in un sistema di produzione cyber-fisico auto-organizzato che permette una produzione di massa flessibile su misura e in termini di quantità di produzione [Morello et al., 2013.].
In altre parole, Industry 4.0 è la prossima rivoluzione industriale che sta per avvenire.
Da non dimenticare, ci sono diverse iniziative parallele che si stanno svolgendo a livello globale come le Fabbriche del Futuro (FoF) insieme a istituzioni come il National Institute of Standards and Technology (NIST) attivamente coinvolto nella proposta di standard per l'imminente quarta rivoluzione industriale [Hermann et al., 2016].

6.2. Vantaggi dell'Industria 4.0

Oltre ad essere la naturale conseguenza della digitalizzazione e delle nuove tecnologie, l'introduzione dell'Industria 4.0 è anche legata al fatto che molte possibilità finora sfruttate per aumentare il profitto nella produzione industriale sono quasi esaurite e devono essere trovate nuove possibilità.
Vale a dire che i costi di produzione sono stati abbassati con l'introduzione della produzione just-in-time, adottando i concetti di lean production (produzione snella) e outsourcing.
Quando si tratta di ridurre i costi della produzione industriale, l'Industria 4.0 è una soluzione promettente. Secondo alcune fonti, l'industria 4.0 potrebbe portare ad una diminuzione di diversi fattori [Dhar, 1989]:

- Riduzione dei costi di produzione del 10-30%;
- Riduzione dei costi di logistica del 10-30%;
- Riduzione dei costi di gestione della qualità del 10-20%.

Ci sono anche una serie di altri vantaggi e motivi che incentivano verso l'adozione di questo concetto, tra cui: un time-to-market più breve per i nuovi prodotti, una migliore reattività del cliente, consentire una produzione di massa personalizzata senza aumentare significativamente i costi di produzione complessivi un ambiente di lavoro più flessibile e più confortevole e un uso più efficiente delle risorse naturali e dell'energia.

6.3 Smart Factory

Le fabbriche intelligenti sono componenti chiave dell'Industria 4.0 e sono consapevoli del contesto per assistere le persone e le macchine nell'esecuzione dei loro compiti utilizzando strumenti di produzione digitale come il MES [Deutsche and Henning, 2013].
La gestione delle operazioni di produzione (MOM), come definita dalla "Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC)", è l'attività dell'impianto di produzione che coordina, dirige, gestisce e tiene traccia delle risorse (attrezzature, materiali e personale) dell'impianto.
Secondo lo standard IEC 62264-3, gli elementi del MOM sono la gestione delle operazioni di produzione, manutenzione, qualità, inventario e altre attività di produzione.
Le fabbriche del futuro devono utilizzare efficacemente i dati di produzione in tempo reale per soddisfare le esigenze dei clienti.
Per realizzare la visione delle "imprese in tempo reale", le aziende manifatturiere stanno adattando le infrastrutture orientate ai servizi [Sauer, 2010].
Tale approccio richiede che l'Industrial Internet sia dotato di interfacce standard, anche se le funzionalità sono diverse. Poiché lo strumento MES serve allo scopo di questo requisito agendo come un hub di informazioni di fabbrica, questo studio si concentra sul MES avanzato per le fabbriche del futuro (fabbriche intelligenti).
Sauer elenca le tendenze del MES per le fabbriche del futuro, attraverso vari esempi come - integrazione completa con la fabbrica digitale, simulazione come front-end nel senso di simulazione simultanea in tempo reale, integrazione verticale con il livello dell'officina, integrazione orizzontale per mezzo di una struttura orientata ai servizi e una gestione coerente dei dati, scalabilità che va

dall'auto-organizzazione decentralizzata della produzione, fornitura di informazioni specifiche per compiti e ruoli agli utenti.

A questo proposito, molte aziende puntano a soddisfare le esigenze delle fabbriche del futuro investendo nel software aziendale avanzato per gestire efficacemente la loro produzione mediante l'utilizzo dei dati disponibili.

La letteratura suggerisce che le aziende che investono di più in iniziative tecnologiche raggiungono una maggiore competitività nei futuri mercati volatili e guidano positivamente la loro strategia di trasformazione digitale sfruttando le tecnologie digitali [Hess et al., 2016].

La competenza IT è già elencata come una competenza chiave per i leader digitali e i tempi sono maturi per le aziende per fondere la strategia IT con la strategia di business.

In questa situazione, il ruolo dell'IT di produzione (specialmente i sistemi MES) nelle aziende manifatturiere ha bisogno di una migliore comprensione teorica [Singh and Hess, 2017].

Il processo principale che si verifica nella Smart Factory è la conversione da digitale a fisico in un sistema di produzione riconfigurabile. I sistemi di produzione riconfigurabili sono l'ultimo progresso nello sviluppo di un sistema di produzione. Il primo passo sono state le linee di produzione fisse con le macchine dedicate all'esecuzione di compiti specifici, in modo da poter produrre un solo prodotto. Il passo successivo è un sistema di produzione flessibile che utilizza macchine programmabili, che consente la produzione di una varietà di prodotti diversi, ma senza flessibilità nella capacità di produzione [Bharadwaj et al., 2013].

I risultati dell'ultimo sviluppo sono sistemi di produzione riconfigurabili in grado di adattare i loro componenti hardware e software per seguire le richieste di mercato in continua evoluzione relativamente al tipo e alla quantità dei prodotti [Korena and Shpitalnib, 2010].

Le macchine nell'industria 4.0 sono sistemi autonomi in grado di prendere le proprie decisioni sulla base di algoritmi di machine learning e di acquisizione dati in tempo reale, e di registrare i comportamenti passati di successo.

Tipicamente, si utilizzano macchine programmabili (CNC), con una grande percentuale di agenti mobili e robot in grado di auto-organizzarsi e auto-ottimizzarsi.

Una rappresentazione grafica del concetto di Smart Factory viene fornita dalla sottostante *Figura 10*.

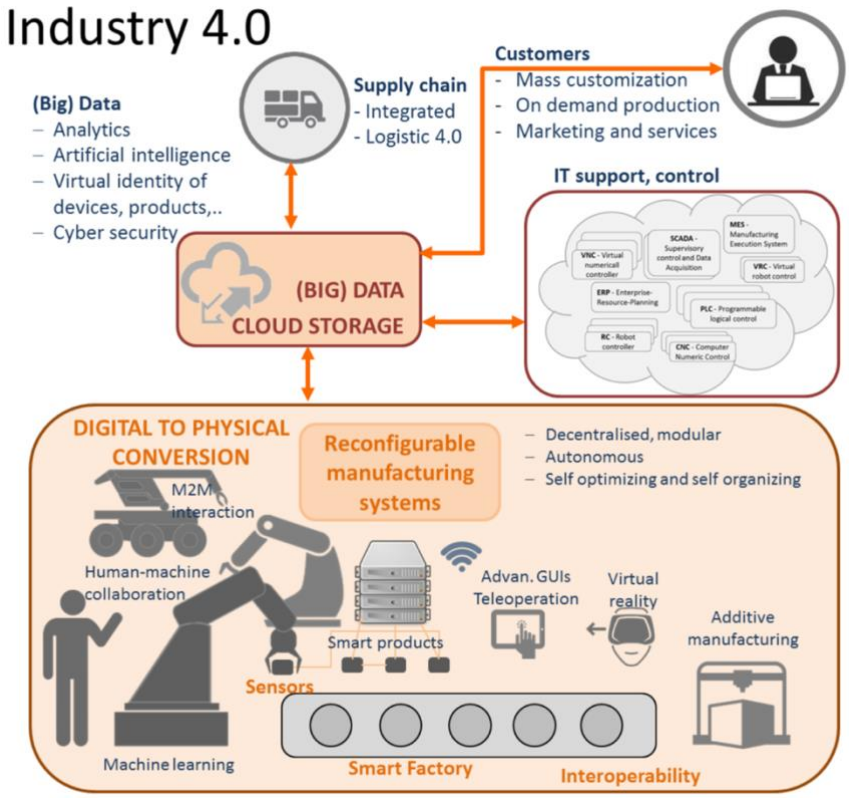


Figura 10 Industry 4.0 smart factory; Source Special Focus Paper—Industry 4.0 Concept: Background and Overview

I prodotti in tale fabbrica sono dotati di specifici sensori incorporati che vengono utilizzati tramite rete wireless per la raccolta di dati in tempo reale per la localizzazione, per misurare lo stato del prodotto e le condizioni ambientali.

I prodotti intelligenti hanno anche capacità di controllo e di elaborazione. In questo modo possono controllare il loro percorso logistico attraverso la produzione e persino controllare/ottimizzare il flusso di lavoro di produzione che li riguarda.

Inoltre, i prodotti smart sono in grado di monitorare il proprio stato durante l'intero ciclo di vita.

Ciò consente una manutenzione proattiva basata sulle condizioni, che è particolarmente preziosa per i prodotti incorporati in sistemi più grandi [Morello et al., 2013].

Nell'Industria 4.0, gli elementi di produzione hanno oltre alla loro rappresentazione fisica anche un'identità virtuale che viene memorizzata nel data cloud.

Tale identità virtuale può includere una varietà di dati e informazioni sul prodotto, dai documenti, ai modelli 3D, ai dati sullo stato attuale, alle informazioni sulla storia e ai dati di misura/test.

Elementi importanti del concetto di industria 4.0 sono anche l'interoperabilità e la connettività.

Si dovrebbe stabilire un flusso continuo di informazioni tra i dispositivi e i componenti, l'interazione macchina-macchina (M2M), i sistemi di produzione e gli attori.

In questo modo le macchine, i prodotti e le fabbriche possono connettersi e comunicare attraverso l' Internet of Things.

Un altro argomento importante riguarda la collaborazione uomo-macchina (H2M), necessaria perché alcuni compiti di produzione sono troppo poco strutturati per essere completamente automatizzati. Attualmente si investe molto anche nella cosiddetta robotica collaborativa. Qui gli operai umani e i robot appositamente progettati lavorano insieme nell'esecuzione di compiti complessi e non strutturati.

Interfacce utente avanzate sono sviluppate per nuove forme di comunicazione M2H. Esse includono spesso la teleoperazione e sono basate su ambienti di realtà aumentata [SEW EURODRIVE: 'Industrie 4.0 , 2016].

Tra le tecnologie di produzione dell'industria 4.0, la produzione additiva, come la stampa 3D, è spesso citata come una delle tecnologie chiave. In combinazione con i metodi di prototipazione rapida, compresa la modellazione 3D, è possibile stabilire un filo diretto digitale dalla progettazione alla produzione, facilitando un tempo più breve dall'idea al prodotto.

Gli strumenti software sono fondamentali per il funzionamento dell'industria 4.0.

La *Figura 11* illustra la ben nota struttura piramidale dei software di supporto dei moderni sistemi di produzione.

Figura 11 Piramide dell'automazione nei sistemi di produzione moderni; Source: Syspro

A livello aziendale, lo strumento che viene implementato è l'Enterprise Resource Planning (ERP). Questo sistema, come già detto in precedenza, supporta la pianificazione, la gestione della catena di fornitura, le vendite e la distribuzione, la contabilità, la gestione delle risorse umane e simili.

Di solito vengono implementate soluzioni disponibili in commercio. Attualmente la soluzione leader è SAP, della società tedesca SAP SE.

Negli strumenti ERP tradizionali, il processo decisionale è centralizzato al più alto livello della piramide dell'automazione. La maggior parte delle soluzioni ERP disponibili non supportano un rapido adattamento nella pianificazione della produzione a causa di eventi non pianificati.

Il secondo livello della piramide dell'automazione tradizionale è il Manufacturing Execution System (MES). Esso supporta la reportistica di produzione, la programmazione, la spedizione, il monitoraggio del prodotto, le operazioni di manutenzione, l'analisi delle prestazioni, il monitoraggio della forza lavoro, l'allocazione delle risorse e simili.

Esso copre aspetti quali la gestione dell'officina e la comunicazione con i sistemi aziendali (business).

La maggior parte delle soluzioni software disponibili sul mercato sono centralizzate e non distribuite agli elementi dell'officina. Questo è un importante fattore limitante quando la flessibilità è necessaria a causa delle dinamiche del flusso degli ordini dei clienti e/o del cambiamento dell'ambiente di produzione.

Il livello operativo successivo è il controllo a livello di processo basato sull'architettura del sistema di controllo Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), seguito dai controllori a livello di macchina/dispositivo come i Controllori Logici Programmabili (PLC), i controllori di robot e altri controllori.

L'ultimo livello della piramide dell'automazione è un livello di macchina/dispositivo.

Gli strumenti ERP e MES rappresentano il software di base dell'azienda e hanno tipicamente una struttura modulare, ma sono centralizzati nel loro funzionamento e quindi hanno una limitata capacità di adattamento dinamico al piano di produzione.

Tuttavia, tali sistemi già implementati non dovrebbero essere visti come ostacoli principali all'introduzione del concetto di Industria 4.0, ma più come un passo verso di esso.

Vale a dire che già l'introduzione di uno strumento MES comune richiede un'infrastruttura IT avanzata a livello di officina e questo è anche un prerequisito per un ulteriore sviluppo verso la fabbrica intelligente [Bratukhin and Sauter, 2011].

Si può concludere che per l'Industria 4.0 la classica struttura di automazione non presenta la soluzione migliore in quanto non è sufficientemente flessibile per adattarsi ai cambiamenti dinamici nel flusso degli ordini e in officina.

La soluzione MES distribuita, dove la maggior parte delle funzioni sono decentralizzate, dovrebbe essere più adatta per i sistemi di riconfigurazione della produzione.

Per il pieno supporto dei sistemi riconfigurabili, dovrebbe essere realizzato un flusso continuo di informazioni (integrazione verticale ed orizzontale) tra tutti gli elementi.

È chiaro che il concetto dell'Industria 4.0 sarà realizzato nella maggior parte delle aziende utilizzando attrezzature e tecnologie già disponibili.

Solo quando è previsto un nuovo sistema di produzione, c'è la possibilità di progettare il sistema di produzione già dall'inizio come sistema Industry 4.0. Pertanto, una delle sfide è come gli standard già disponibili saranno integrati nel nuovo concetto.

Per affrontare il problema della standardizzazione, in Germania è stato sviluppato un modello di architettura di riferimento per l'industria 4.0, noto come RAMI4.0, rappresentato in *Figura 12* [Verband and Anlagenbau, 2015]:

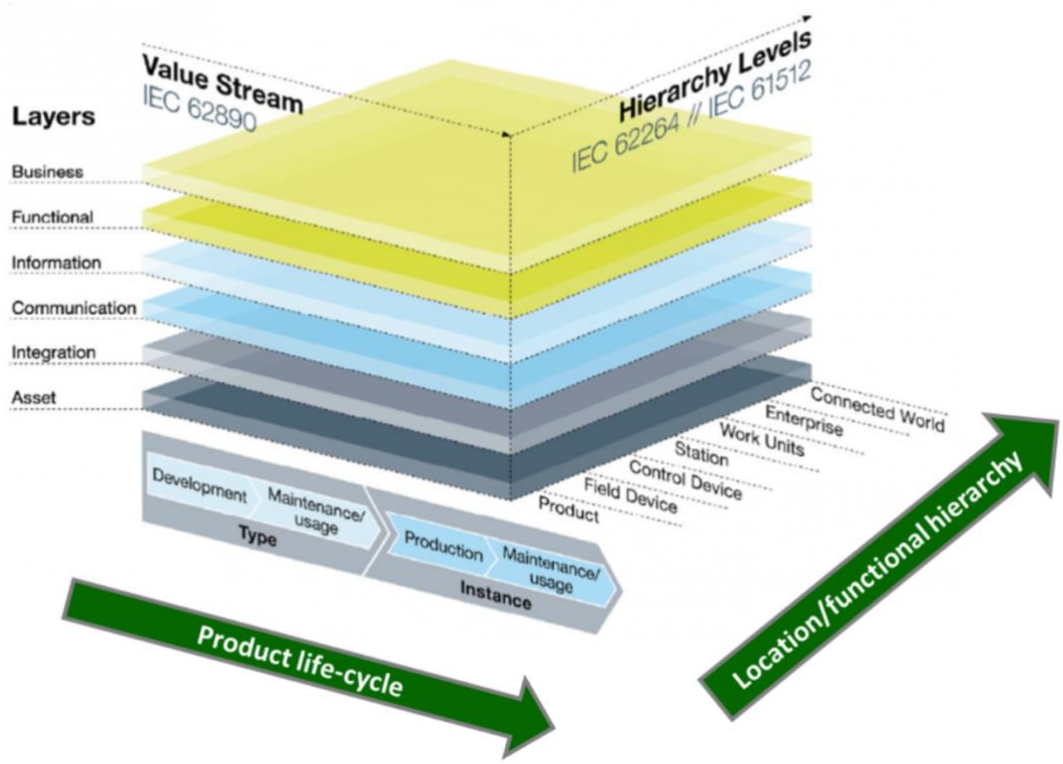


Figura 12 Reference Architecture Model for Industry 4.0, Source VDI

Questo è un meta-modello, quindi descrive gli aspetti che giocano un ruolo importante nel sistema di produzione dell'Industria 4.0. Si basa sul modello di architettura Smart Grids, accettato a livello internazionale, introdotto nel 2014, ma con due livelli inferiori aggiuntivi per affrontare aspetti specifici di Industry 4.0. Il RAMI4.0 tridimensionale dovrebbe consentire:

- L'identificazione degli standard esistenti;

- L'identificazione e la chiusura di lacune e scappatoie negli standard esistenti;
- L'identificazione di sovrapposizioni negli standard esistenti.

La prima dimensione del RAMI4.0 si rivolge a due elementi, tipo ed istanza.
Finché un'idea, un concetto, o un prodotto è ancora un piano e non è ancora disponibile/realizzato, si chiama type.
La seconda dimensione del modello si occupa della localizzazione, della gerarchia funzionale dal prodotto al mondo connesso (come ultima fase dello sviluppo di Industry 4.0 con tutte le imprese, clienti e fornitori connessi).
La terza dimensione del modello RAMI4.0 è organizzata in livelli funzionali come segue:

- Uno strato di asset include componenti fisici come robot, nastri trasportatori, PLC, documenti, archivi, ma anche oggetti non fisici come software e idee;
- Un livello di integrazione fornisce informazioni per gli asset in una forma che può essere elaborata digitalmente. Comprende elementi collegati all'IT come i sensori e il controllo computerizzato dei processi tecnici;
- Una funzione del livello di comunicazione è la standardizzazione della comunicazione utilizzando un formato dati uniforme e protocolli predefiniti;
- Uno strato di informazione è l'elaborazione e l'integrazione dei dati disponibili in informazioni utili;
- Un livello funzionale include descrizioni formali delle funzioni;
- Un livello di business include la mappatura del modello di business e i collegamenti tra i diversi processi di business.

Quando si considera lo stato attuale dell'industria 4.0, è importante comprendere i prerequisiti che devono essere soddisfatti affinché un nuovo concetto possa essere introdotto nel sistema di produzione industriale.
Devono essere soddisfatti almeno i seguenti requisiti:

1. La stabilità della produzione deve essere garantita anche durante la fase di transizione;
2. Dovrebbe essere possibile un investimento graduale, poiché la maggior parte dei processi industriali non può sopportare grandi investimenti una tantum;
3. È necessaria una buona protezione del know-how. Strettamente connessa è la sicurezza informatica.

Inoltre, il concetto di industria non si limita al solo sistema di produzione, ma comprende l'intera catena del valore (dai fornitori ai clienti di un'impresa) e tutte le funzioni e i servizi dell'impresa.
È chiaro che non è facile soddisfare questi criteri, quindi attualmente esistono solo alcuni esempi del concetto di industria 4.0.
Per valutare lo stato attuale, l'organizzazione tedesca Verband Deutscher ha condotto uno studio sulla disponibilità della Germania a confrontarsi con l'industria 4.0. Sono state valutate le seguenti sei dimensioni [Sew Eurodrive, Industry 4.0, 2016]:

- Strategia e organizzazione (investimenti, gestione delle innovazioni);
- Fabbrica intelligente (attrezzature e sistemi IT, acquisizione e utilizzo dei dati, modellazione digitale);
- Funzionamento intelligente (integrazione della catena del valore, cloud storage);
- Prodotti intelligenti (componenti fisici, identità virtuale);
- Servizi basati sui dati (funzionalità ICT, previsione e ottimizzazione dei risultati di business);
- Risorse umane (competenze dei dipendenti, formazione continua).

È stato condotto un sondaggio su 268 aziende tedesche con più di 20 dipendenti [12]. I risultati hanno mostrato che il 56,5% di tutte le aziende partecipanti non soddisfa i requisiti relativi alla disponibilità del settore 4.0. Inoltre, il 20,1% delle aziende è valutato al Livello 1 (principiante), il che significa che la comparazione è coinvolta nell'Industria 4.0 attraverso iniziative pilota in vari dipartimenti e investimenti. Questo è tuttavia limitato ad un'unica area e solo pochi processi sono pronti ad essere supportati da sistemi informatici. Solo lo 0,3% delle aziende (8 aziende su 268 partecipanti) si colloca al livello 5 (top performer). Ciò significa che hanno già implementato la strategia dell'industria 4.0 e hanno affrontato in modo sufficiente tutte e sei le dimensioni valutate.
Una delle poche aziende che ha già implementato il concetto di Industry 4.0 è la società tedesca SEW Eurodrive del Baden-Württemberg [Zhou et al, 2015].
La base del loro approccio è la logistica di produzione basata sui cosiddetti “mobile assistants".
Gli assistenti mobili sono piattaforme mobili autonome che si muovono attraverso il pavimento dell'officina trasportando materiale, mezzi prodotti e utensili.
Nei chip RDIF (Radio-Frequency Identification) allegati, gli assistenti mobili portano anche tutte le informazioni relative ai processi di produzione richiesti.

Quando arriva un nuovo ordine del cliente, l'assistente mobile raccoglie il materiale necessario e lo porta autonomamente dalla postazione di lavoro, secondo l'ordine dei processi di produzione necessari.
Nelle postazioni di lavoro che sono sistemi cyber-fisici, l'assistente mobile si collega alla macchina e fornisce le informazioni necessarie.
Nelle postazioni di lavoro basate sul lavoro umano manuale, la comunicazione con il lavoratore viene stabilita tramite un'interfaccia utente che gira su un tablet.
Di conseguenza, la produttività della società SEW è stata aumentata e i lavoratori sono stati sollevati dalla maggior parte del lavoro manuale pesante connesso con il trasferimento e lo spostamento di materiali e mezzi prodotti.
L'unica limitazione verso la completa automazione in questa azienda è il fattore umano [Zhou, 2015]. Ad esempio, quando si costituiscono team di lavoro per un prodotto specifico, occorre considerare chi può lavorare insieme in modo più efficiente. Tali decisioni non possono ovviamente essere automatizzate.

6.4 Integrazione tra i sistemi PLM e MES

In un contesto aziendale esteso, l'ERP è emerso come sistema di gestione aziendale e come il cuore del sistema informativo aziendale [Cimalore, 2007].
Questo sistema si concentra sulla gestione dei processi degli ordini dei clienti orchestrando tutte le attività dell'azienda (commerciali, finanziarie, di acquisto, logistiche, di produzione, ecc.).
Tuttavia, nell'ultimo decennio, l'emergere del concetto di PLM associato allo sviluppo di applicazioni di supporto al PLM ha generato molteplici evoluzioni nei sistemi informativi aziendali.
Per soddisfare le esigenze specifiche delle attività di ciascuna impresa, l'integrazione dei sistemi informativi necessari per queste attività è stata gradualmente realizzata.
Le piattaforme MES hanno fornito, e continuano a fornire, significative opportunità di integrare le funzioni di produzione, riducendo al tempo stesso lo spreco di tempo, energia e materiale in fabbrica.
Il valore del MES, tuttavia, può essere notevolmente amplificato se integrato nel quadro del Product Lifecycle Management.
Il PLM, con la sua prospettiva incentrata sul prodotto, fornisce un framework integrato per le diverse funzioni di creazione, costruzione, supporto e smaltimento che storicamente sono rimaste isolate e disaccoppiate.
Ciò significa che il MES può beneficiare delle informazioni create nel processo di produzione digitale (DM) del PLM [Grevies, , 2007].

Nella costruzione del primo prodotto, DM crea un Bill of Processes (BofP) che specifica la manodopera, il materiale, le attrezzature, l'instradamento e il sequenziamento necessari per fabbricare un prodotto specifico. Questi BofP possono essere completamente simulati in repliche digitali della fabbrica. Possono inoltre essere creati, sintonizzati, potenzialmente ottimizzati, validati e poi inviati al MES, che controllerà e monitorerà la loro esecuzione.
Il MES è fondamentale per colmare il divario tra le inevitabili lacune tra la simulazione e la realtà in fabbrica.
Con l'aumento della produzione, le informazioni MES sono fondamentali per la regolazione del BofP. Queste informazioni dovrebbero poi essere restituite all'ingegneria per migliorare la loro conoscenza dei BofP effettivi necessari per produrre i risultati desiderati [Gecevska et al., 2011].
Il MES è anche fondamentale per il PLM nel monitoraggio e nel reporting di ciò che è effettivamente accaduto sul piano fisico della fabbrica.
Affinché il PLM sia realizzato in modo efficace, la creazione di informazioni di prodotto "as-built" è un requisito fondamentale. Le informazioni di prodotto "as-built" sono la creazione di una controparte virtuale del prodotto fisico. Gli "as-builts" non solo hanno informazioni su quali parti specifiche ha il prodotto, ma dovranno anche avere informazioni sul BofP che lo ha creato, così come le informazioni di monitoraggio e controllo qualità mentre il prodotto passa attraverso il processo di produzione.
Le prestazioni di produzione possono essere facilmente correlate con i dati del prodotto "As-built" per poi valutare quale componente o processo del prodotto potrebbe essere modificato per migliorare la produzione, aumentare la qualità del prodotto o migliorare le prestazioni del prodotto.
Infine, il MES fornisce un collegamento tra il PLM e il sistema di pianificazione delle risorse aziendali (ERP).
Idealmente, il MES fornisce l'interfaccia tra ERP e PLM, specificando cosa deve essere costruito a livello di prodotto, componenti, processi e risorse necessarie [Saaksvuori and Immonen, 2008].
L'integrazione tra PLM e MES garantisce la qualità del prodotto per lunghi periodi di tempo. L'integrazione tra questi due sistemi permette di creare un meccanismo di informazione di feedback che può migliorare le prestazioni del processo di produzione e la qualità dei pezzi prodotti.
Nel caso in cui si verifichi un problema in officina, la cooperazione tra i due sistemi permette di prendere decisioni più rapide, portando alla risoluzione più adeguata di determinati problemi.
Inoltre, l'integrazione tra i diversi sistemi informativi può essere estesa a più aziende, ad esempio tra un'azienda e i suoi fornitori: questa cooperazione permette uno scambio di dati più efficace, portando ad una maggiore agilità aziendale e ad una migliore qualità delle informazioni trasmesse.

L'integrazione PLM-MES è vantaggiosa anche quando viene rilasciato un nuovo prodotto o processo: lo scambio di informazioni tra i due sistemi permette di adattare e mettere a punto il processo di produzione in un tempo più breve e con migliori prestazioni.
Il sistema di monitoraggio permette di rilevare le differenze tra i prodotti reali e l'output atteso, nonché di valutare le prestazioni del processo. I costi di produzione e il tempo di ciclo sono ridotti, mentre la produttività e la capacità di realizzare prodotti innovativi di alta qualità sono aumentate.
Questa migliorata reattività permette di affrontare meglio i cambiamenti del mercato.
Anche l'integrazione dei sistemi informativi è utile per migliorare la sostenibilità dei processi.
Il sistema di monitoraggio permette di prevedere la qualità dei pezzi prodotti: si possono così evitare operazioni inutili (ad esempio, ulteriori operazioni eseguite su un prodotto che già presenta delle criticità) e le azioni di rilavorazione possono essere molto mirate.
Questo permette di ridurre il consumo di energia e l'impatto ambientale del processo [Snatkin et al., 2013].
Infine, l'integrazione PLM-MES permette di creare un sistema di deposito in cui sono immagazzinate tutte le conoscenze acquisite durante le operazioni passate. Queste conoscenze possono essere utilizzate ogni qualvolta sia utile: possono essere integrate in un sistema decisionale automatico in grado di intraprendere la migliore azione possibile, nonché utilizzate per suggerire diversi scenari possibili ad un operatore e supportarlo nel prendere decisioni consapevoli.
Come rivela lo studio "Integrating the PLM Ecosystem" condotto da Aberdeen Group nell'aprile 2008 basato su un'indagine di 260 aziende, i "processi di fabbricazione" di un prodotto sono memorizzati per il 15% nel PLM, per il 36% nell'ERP, per il 23% nel MES e, infine, ancora più sorprendente, per il 26% in un altro sistema o meno [Houlihan, 2008].
Queste diverse soluzioni per l'archiviazione dei dati relativi al prodotto rivelano l'assenza di una seria gestione dei dati e del monitoraggio dei processi che generano tali dati. Pertanto, c'è la sfida dell'assenza di un flusso continuo di dati relativi al prodotto dalla progettazione alla produzione.
La frequenza di interazione tra PLM, ERP e MES varia a seconda del grado di personalizzazione del prodotto.
Infatti, i prodotti fabbricati possono essere classificati in cinque categorie principali [Grieves, 2007]:

1. Contract product: la produzione di questo prodotto porta a sviluppare un sistema informativo specifico che ne gestisce le fasi di sviluppo. Tuttavia, nel caso di utilizzo di PLM, ERP e MES, le interazioni tra questi sistemi richiedono scambi di dati multipli tra PLM ed ERP per tenere conto di ogni esigenza del cliente all'interno dei lavori di progettazione;

2. Engineer-to-order: si tratta di un prodotto altamente personalizzato. La produzione di questo prodotto è caratterizzata da un'alta frequenza di modifica dei dati di prodotto, da un basso volume di produzione e da un'elevata varianza di prodotto. L'uso del sistema PLM è molto importante nelle fasi di progettazione e di industrializzazione; di conseguenza, l'interazione PLM-MES è essenziale per garantire il passaggio delle informazioni di produzione al MES;

3. Configure-to-order: l'interazione tra PLM, ERP e MES nel caso di produzione di questo prodotto ha portato ad utilizzare il sistema ERP per eseguire diversi calcoli basati su regole di configurazione definite all'interno della fase di progettazione del prodotto. Pertanto, la personalizzazione del prodotto viene realizzata solo dopo la produzione del prodotto;

4. Assemble-to-order: l'impresa produce lo stesso prodotto per lunghi periodi di tempo. In questo caso, la frequenza di modifica dei dati del prodotto è bassa. L'interazione tra PLM, ERP e MES è caratterizzata da un importante scambio di dati tra ERP e MES che consente la produzione del prodotto a seconda dell'ordine da assemblare;

5. Assemble-to-stock: come per i prodotti assemblati su ordinazione, la frequenza di modifica dei dati del prodotto è bassa. L'interazione PLM-MES è rara.

La necessità di una soluzione più efficace a supporto delle interazioni tra i team di progettazione, industrializzazione e produzione comporta lo scambio di dati tra diversi sistemi informativi utilizzati principalmente da un gran numero di imprese in tutto il mondo.
Questa integrazione è importante per gestire la coerenza dei dati ed evitare di passare dati in formato cartaceo che generano molti errori di battitura [Khedher, et al., 2010].

7. IL MERCATO DEI SISTEMI ERP

7.1 Panoramica generale, attori e principali prodotti offerti

All'inizio degli anni '90 è stato coniato il termine “sistema ERP” per indicare un sistema di gestione integrato. Per tali sistemi software è consuetudine fare riferimento al sistema integrato di gestione, pianificazione e organizzazione che gestisce tutte le informazioni aziendali rilevanti in un unico database centralizzato, che può guidare la maggior parte delle attività aziendali in modo coordinato ed efficace [Elisabeth e Umble, 2003].

Il sistema ERP è un software che automatizza e controlla il flusso di informazioni interne ed esterne dell'azienda e ha il compito di migliorare e integrare il flusso di informazioni esistente tra tutte le attività principali e secondarie.

Enterprise Resource Planning [ERP] è un termine ampiamente utilizzato nelle grandi aziende, ma la sua ampia accettazione porta all'utilizzo di tali sistemi in aziende sia di media che di piccola scala.

I sistemi ERP sono fondamentalmente sistemi ad alta complessità che integrano i vari processi aziendali e le informazioni associate all'interno di un'organizzazione.

Il principale obiettivo dell'implementazione di un sistema ERP è quello di analizzare e di aiutare i suoi utenti a prendere decisioni in tempo reale su determinati processi o attività [Umble et al., 2003].

Attraverso il sistema ERP, ogni sottoinsieme che compone l'azienda è connesso ad altri sottoinsiemi attraverso lo scambio di informazioni [Shaul et al., 2013]. L'efficienza di questo scambio consente al management di gestire correttamente le normali attività dell'azienda in un'ottica globale.

Sebbene i sistemi ERP si siano rivelati una grande innovazione nel campo della gestione aziendale, l’efficacia del loro utilizzo è stata testata solo verso la fine del 20° secolo, grazie allo sviluppo di computer e software con potenza di calcolo, memoria e sistemi di comunicazione sufficienti per supportare questa complessità.

Inoltre, non bisogna trascurare il fatto che l’evoluzione del pensiero aziendale, passato da un focus sulla singola area funzionale ad una apertura mentale verso l’intera azienda è giunto dopo la nascita dei sistemi integrati.

La causa primaria che ha portato allo sviluppo dei sistemi ERP è stata la frammentazione delle informazioni. Questa frammentazione comportava fenomeni quali la ridondanza dei dati e la difficoltà di connessione e di interfaccia tra le varie unità aziendali.

La struttura di un ERP è costruita in modo da assicurare l’uniformità e l’univocità dei dati che vengono scambiati tra le aree, riducendo la necessità di riconciliare le informazioni sparse tra i vari moduli [Agliati, 1999].

Le principali caratteristiche comuni a tutti i sistemi ERP sono:

1. Integrazione informativa
2. Modularità dell'applicazione
3. Configurabilità del sistema

L'integrazione delle informazioni si riferisce alla standardizzazione dei metodi di definizione dei dati e al coordinamento della struttura e del contenuto, grazie a uno schema concettuale universale e orizzontale accettato da tutte le fonti di dati. Attraverso la formalizzazione dei dati e l'uso del linguaggio comune, il sistema ERP fornisce una soluzione cognitiva unificata per l'interpretazione degli eventi, migliorando così le capacità di risposta del management.
Il termine "modulare" si riferisce invece alla scelta progettuale di costruire un sistema complesso combinando sottosistemi progettati e costruiti in modo indipendente ma che operano in modo unificato e coordinato.
Se da un lato ogni modulo è autonomo in termini di funzioni di gestione, dall'altro è da sottolineare che per alcuni di questi moduli l'alimentazione e la possibilità di utilizzare il potenziale previsto dipendono dall'attivazione di altri moduli collegati. Il risultato è che la mancanza di alcuni moduli limiterà l'espansione e la copertura del sistema.
Così l'utente può partire dall'implementazione di base, estendendo gradualmente le applicazioni man mano che le esigenze crescono.
Configurabilità, infine, significa lasciare all'utente finale la possibilità di definire le caratteristiche funzionali dei moduli attivati secondo la struttura del processo operativo aziendale. L'attività di configurazione inizia con la descrizione del sistema organizzativo aziendale e dei reparti funzionali coinvolti, quindi è necessario considerare le specifiche funzioni del sistema.
In altre parole, per definire in dettaglio la modalità operativa del sistema bisogna gestire il flusso di lavoro nel modulo in esame. Secondo un rapporto di Alba Consulting Group, le principali funzionalità del sistema ERP (evidenziate in Figura 13) sono:

Figura 13 Principali aree funzionali di un sistema ERP, Source: Alba Consulting Group

Una volta che l'azienda decide di implementare un nuovo sistema ERP, dovrà scegliere se acquistare o produrre un software specializzato o acquistare software standard.

La scelta va fatta ponderando le diverse esigenze aziendali. Se l'azienda ha la necessità di soddisfare esigenze comuni che non richiedono elevata professionalità e personalizzazione, può facilmente acquistare software standard. D'altra parte, se l'azienda ritiene che sia necessario un software specifico, è ovvio che dovrà acquistare il software speciale [Parthasarathy and Srinarayan, 2016].

In fase di implementazione, l'azienda dovrebbe aver già compreso la differenza tra la cosiddetta soluzione standard e la soluzione più specifica (chiamata personalizzazione).

In questo caso, esistono due principali scuole di pensiero: la prima ritiene che le soluzioni standard promuovano la riorganizzazione e costringano le aziende ad adattarsi a procedure già stabilite dai produttori di software, mentre l'uso di soluzioni proprietarie può esacerbare alcune questioni chiave dell'azienda.

A differenza della prima, la seconda ha sottolineato che l'implementazione di un software specifico dell'azienda può enfatizzare i vantaggi e le caratteristiche di questa. Tuttavia, le soluzioni personalizzate richiedono molto lavoro di progettazione e un lavoro di manutenzione continua.

La prima opzione, invece, cioè la standardizzazione del prodotto, è in generale meno onerosa, sia in termini di tempo sia in termini di risorse da mettere a disposizione, ma d'altro canto il rischio è

l'insorgenza di problematiche relative alla discrepanza tra la soluzione acquistata, l'organizzazione aziendale e il livello informatico attualmente installato in azienda.

Fino agli anni '90, la principale soluzione utilizzata era sviluppare tale software internamente, o almeno utilizzare i servizi di supporto di alcuni fornitori per sviluppare un software temporaneo. Tuttavia, al giorno d'oggi, è raro sviluppare da zero un sistema informativo completo adatto a vari settori di attività. Infatti, i principali produttori di software distribuiscono un gran numero di moduli software preimpostati, aperti e integrabili, che vengono acquistati da aziende o consulenti aziendali e poi applicati a specifiche aree di riferimento [F. Pennaiola, 2006].

Le aziende IT che vendono questi software di solito eseguono le istruzioni imposte dall'azienda e implementano vari moduli con le modifiche necessarie per renderli pienamente compatibili con le esigenze dell'azienda, ottenendo una soluzione ibrida. Negli ultimi due decenni, il mercato dei sistemi integrati ha creato un'industria redditizia con molti concorrenti, ma classificando il mercato in base alle dimensioni dell'azienda si può dire che la sua struttura caratteristica è l'oligopolio.

Il mercato delle grandi aziende, principalmente multinazionali, infatti, non ha quasi concorrenti. Secondo un report del 2015 di Panorama Consulting Group, tra i principali attori di mercato mostrati nella *Figura 15*, in quell'anno quelli che prevalevano erano: SAP, Oracle, Microsoft, Epicor e Infor. Alla fine del 2015, queste società di software da sole rappresentavano il 67% dell'intero mercato (*Figura 14*).

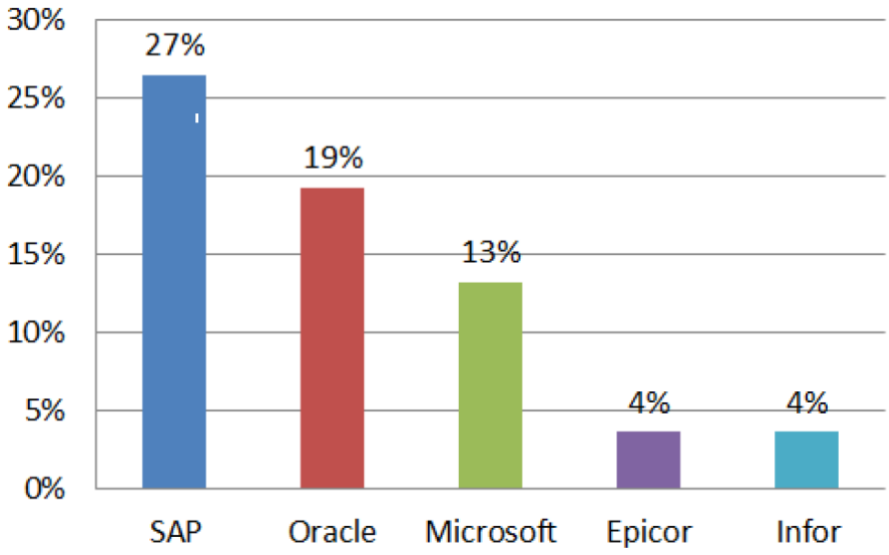


Figura 14 Market share dei principali competitors di sistemi ERP, Source: Panorama's 2015 ERP Report

Figura 15 Principali Competitors sistemi ERP; Source: Talent2Connect

Questi fornitori forniscono un'ampia soluzione ERP per la cerchia dei propri clienti ad un costo molto elevato, ovvero hanno un software ERP proprietario che personalizzano in base alle esigenze del cliente. Questo approccio ha reso difficile per società di piccole e medie dimensioni investire sull'implementazione di un sistema ERP.

Oggi, con l'avvento dei sistemi ERP open source, che sono meno costosi rispetto ai sistemi ERP proprietari, diventa più semplice per le società di piccole dimensioni sviluppare un software di gestione integrato.

Gli ERP open source sono attualmente in tendenza indipendentemente dal dimensioni dell'organizzazione. Ciò è dovuto principalmente al tasso di successo dell'implementazione ottenuto negli ultimi anni.

Tra i principali motivi per cui le aziende propendono spesso verso un sistema ERP open source, è possibile elencare i seguenti:

- Costo inferiore: un sistema ERP open source riduce al minimo costi aziendali dell'organizzazione a lungo termine. Il sistema ERP non richiede alcuna licenza per l'esecuzione del sistema e non sono previsti costi di manutenzione associati all'open source;

- Flessibilità: i sistemi ERP open source offrono una maggiore flessibilità rispetto ai sistemi ERP proprietari. In molti casi, durante l'implementazione sistema ERP open source in una

grande azienda, una nuova interfaccia è creata per soddisfare le esigenze di business dell'organizzazione rendendolo meno complesso;

- Proprietà assoluta: un altro vantaggio del sistema ERP open source riguarda il fatto che le organizzazioni hanno il pieno controllo sul sistema su cui hanno investito. Questo crea minore dipendenza dal fornitore e dà al cliente più libertà su come procedere con l'implementazione del proprio business;

- Garanzia di buona qualità: i sistemi ERP open source si concentrano molto sulla qualità del sistema rispetto ai sistemi ERP proprietari. Questo perché l'esistenza di sistemi ERP open source si basa sui contributi e sui miglioramenti forniti dagli appassionati e dagli sviluppatori indipendenti che sono tenuti a dare un supporto alle tecnologie open source. Si creerà quindi una competizione tra questi sviluppatori che li renderà attivi nella comunità, criticando il codice sviluppato e fornendo un prezioso contributo alla comunità. Inoltre, a differenza dei sistemi ERP commerciali, i sistemi ERP open source sono costruiti sulla base di altre tecnologie open source, modelli di database ecc. Questo dà una forte base e flessibilità al sistema. Questo non è il caso dei sistemi commerciali, se una delle tecnologie associate al sistema ERP commerciale diventa obsoleta, allora gli utenti collegati a quel sistema vengono isolati [Tsai et al.,2007];

- Facilità di upgrade: come detto in precedenza, i sistemi ERP open source sono più facili da aggiornare rispetto ai sistemi commerciali. Nei sistemi ERP open source, la personalizzazione avviene per lo più a livello di interfaccia senza modificare il framework del sistema. Poiché il framework non viene modificato, gli aggiornamenti possono essere effettuati facilmente senza interrompere il server di produzione

Di solito, l'acquisto da parte di un'azienda di un sistema ERP porta ad elevate aspettative di ritorno sull'investimento. Infatti, i sistemi ERP di solito costituiscono la spina dorsale del business di un'azienda, in modo che quest'ultima possa regolamentare il sistema informativo attraverso un'organizzazione in grado di gestire il flusso di dati tra le diverse parti del business.

I vantaggi più importanti che l'implementazione di un sistema ERP può portare includono:

1. Facilità di accesso alle informazioni riservate: il sistema ERP generale utilizza un modello di gestione del database per funzionare. Questo tipo di sistema offre la possibilità di migliorare il "report dei dati" per garantire l'accuratezza, la coerenza e la comparabilità dei dati.

2. Eliminazione di dati e operazioni ridondanti: uno dei problemi con i sistemi non integrati è la possibilità che i dati risultino frammentati, quindi il ripristino degli stessi è molto problematico e fa perdere molto tempo e denaro. D'altra parte, l'implementazione del sistema ERP riduce la ridondanza nell'organizzazione, perché ci sono unità aziendali funzionali che utilizzano sistemi integrati e condividono database comuni, evitando dunque che vengano ripetute determinate attività;

3. Riduzione dei cicli di vita: il sistema ERP considera il fattore "tempo" come una variabile chiave. Riducendo la latenza o riducendo la frammentazione delle informazioni, è possibile ridurre il tempo. Ciò richiede una riprogettazione del processo per riflettere il modello reale dell'azienda;

4. Crescita dell'efficienza con contemporanea riduzione dei costi: un sistema ERP permette alle grandi imprese di prendere delle decisioni con relativa facilità. Ciò comporta dei vantaggi in termini di risparmio di tempo, migliorato controllo e eliminazione delle operazioni superflue;

5. Maggiore adattabilità ai cambiamenti: diverse società hanno la necessità di ridurre il loro "time-to-market" per le proprie merci ed i propri servizi. I sistemi ERP sono designati per rispondere velocemente alle nuove domande di mercato, e lo stesso può essere facilmente cambiato o espanso senza modificare il normale corso del commercio.

Passando invece ai principali svantaggi e punti di debolezza delle piattaforme ERP è possibile considerare i seguenti punti:

1. Implementazione di un sistema ERP: si tratta di un'attività molto complessa che necessità di molto tempo e che è altamente costosa. Visto che sono elevati i problemi legati al processo di implementazione ed installazione di un sistema ERP molti vendors (venditori) sono disposti

a farsene carico introducendo sicuramente delle attenzioni nei confronti dei clienti, ad esempio mediante dei training che hanno lo scopo di formare gli utenti che utilizzeranno il sistema;

2. Reingegnerizzazione dei processi: le organizzazioni che acquistano il sistema normalmente devono svolgere questa attività per meglio adattare i propri processi a quelli implementati in ERP. Pertanto, non è il sistema informativo coerente con l'azienda, ma l'azienda è coerente con il sistema informativo. Tuttavia, anche se i fornitori continuano a sostenere che il loro sistema consente di parametrizzare e adattarsi a qualsiasi organizzazione nella realtà, questo non è sempre corretto e possono sorgere seri problemi di gestione nel sistema stesso;

3. Manutenzione del componente sotto il controllo del venditore: la richiesta di un aggiornamento da parte di un acquirente non sempre è soddisfatta immediatamente da parte del venditore che deve tener conto delle esigenze della globalità dei suoi clienti.
   Possono sorgere dei problemi nel caso in cui il venditore del sistema ERP non dovesse essere tempestivo nella soluzione ad un problema.
   Oggi esistono degli approcci empirici che, se non permettono di aggiungere le nuove funzionalità richieste al componente, sicuramente permettono di controllarlo filtrandone input e output, e, quindi, modificandone il comportamento.
   Prima dell'adozione di un qualsiasi componente un'organizzazione dovrebbe studiare l'organizzazione venditrice e considerare come i processi di quest'ultima si potrebbero integrare nei suoi;

4. Problema del disorientamento: un altro tipo di problematica che si può presentare riguarda il disorientamento da parte degli utenti ed è dovuto ai componenti installati che a volte forniscono troppe o troppe poche funzionalità. Infatti, a volte il rilascio di nuove versioni di un componente elimina delle funzionalità che erano necessarie, magari introducendone altre che risultano essere del tutto inutili per l'impresa stessa.

7.2 Schematizzazione della struttura di un sistema ERP

Come ogni sistema ERP, anche la piattaforma Odoo presenta la classica suddivisone in layer interfunzionali, rappresentata nella sottostante *Figura 16*.

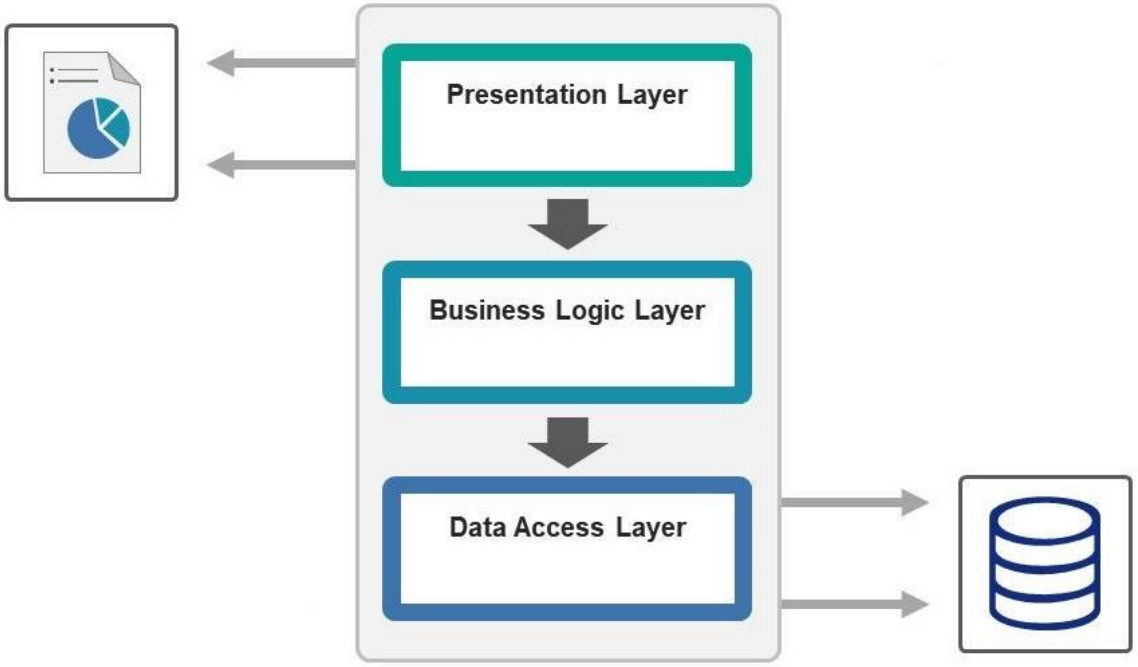


Figura 16 Rappresentazione dei livelli software in un sistema ERP

L'architettura a tre livelli è sempre basata sul paradigma client/server, quindi oltre ad acquisire tutti i vantaggi che ne derivano, offre anche la possibilità di separare le logiche di funzionamento in modo da consentire ulteriori miglioramenti in termini di prestazioni.

Il Layer di Presentazione viene solitamente utilizzato per rappresentare i dati richiesti dall'utente (Client) del programma gestionale. È caratterizzato da un'interfaccia grafica (GUI) con la quale è possibile visualizzare tutti i dati relativi ai moduli software che sono stati installati nel server ERP situato nel Business Logic Layer (noto anche come Application Layer). E' quindi possibile, a seconda del tipo di utente che accede al sistema, avere un controllo effettivo su tutti i dati scritti in un unico database situato al livello inferiore del Layer Data Access (o anche noto come Data Base).

Il Business Logic Layer contiene la logica che interpreta ed elabora i dati passati dal cliente. Questo livello contiene il cuore del sistema ERP, cioè il server dove è posizionato il kernel (cioè il nucleo del sistema operativo) del sistema gestionale e anche tutti i moduli aggiuntivi (finanza, risorse umane, ecc.) che si desidera installare per personalizzare il sistema stesso sulla base delle esigenze di modellazione dell'azienda.

Il Data Access Layer si differenzia dai precedenti per il fatto che tutta la gestione dei dati utilizzati dal sistema viene qui effettuata tramite un database centralizzato. Sostanzialmente, all'interno di questo livello si trova un RDBMS, al quale è affidata la gestione dei dati e il suo corretto funzionamento è di fondamentale importanza ai fini della coerenza dei dati che vengono trattati a livello di Applicazione e successivamente visualizzati a livello di Presentazione. In questo livello è importante installare un RDBMS (database management system basato sul modello relazionale) sicuro ed affidabile per rispondere correttamente alle richieste delle applicazioni ma anche per evidenziare quello che è sempre stato un punto di forza dei sistemi ERP, ovvero l'unicità delle informazioni.

7.3 ODOO

Odoo è una società fondata in Belgio nel 2005, ma ha diverse sedi dislocate in varie parti del mondo, come negli Stati Uniti d'America (New York e San Francisco), in Europa (Bruxelles e Lussemburgo), in India (Gujarat), Hong Kong e Dubai.

Odoo è un ERP open source, rilasciato sotto la GNU Lesser General Public License, rivolto alle piccole e medie imprese.

È stato sviluppato nel 2005 con il nome di Tiny ERP, successivamente cambiato in Open ERP e modificato nel 2014 nell'attuale Odoo. Il software è stato creato da Fabien Pinckaers con l'intenzione di cambiare completamente il mercato ERP.

Odoo è un software di gestione open source all-in-one che include ERP, CRM, e-commerce e CMS. Offre 30 moduli di base con oltre 3000 applicazioni della comunità che forniscono varie funzioni per personalizzare le esigenze di business e automatizzare i processi aziendali, quindi non sono più necessarie interfacce tra i diversi software. Il modello open source di Odoo ha attirato migliaia di sviluppatori ed esperti di business per costruire tutte queste applicazioni, fornisce una grande usabilità che si estende a tutte le applicazioni.

L'azienda vanta una vasta gamma di partner provenienti da tutto il mondo, per un totale di circa 1.600. L'azienda ha un fatturato di circa 40 milioni di euro e più di 4 milioni di utenti attivi. Oggi, Odoo è diventata la seconda piattaforma ERP più utilizzata al mondo.

La logica del software è che esiste un'applicazione per ogni esigenza. Infatti, il software Odoo permette l'installazione di diversi moduli all'interno della piattaforma. Tutti questi moduli, rappresentati nella *Figura 17*, possono quindi interagire tra loro e comunicare tra loro permettendo un fitto scambio di informazioni e aiutando il cliente nella gestione della sua attività.

Figura 17 Moduli della piattaforma Odoo; Source: Odoo.com

La sua modularità rende facile effettuare qualsiasi tipo di modifica, rendendo basso il coefficiente di impatto sull'intero sistema delle modifiche apportate, permettendo di segmentare le modifiche in piccoli aggiornamenti e favorendo così i rilasci rapidi per aggiungere gradualmente tutte le funzionalità necessarie.

Il mondo Odoo costituisce un ecosistema unico che unisce le risorse della comunità, della rete di partner e della società di sviluppo software. La comunità contribuisce ogni giorno all'arricchimento di Odoo, attraverso lo sviluppo e la discussione. Con più di 5.400 Sviluppatori della Comunità (Odoo SA e comunità) e quasi 7.000 moduli, Odoo è una soluzione in rapidissima evoluzione nel panorama del software open source. Odoo è una soluzione completamente web-based, che garantisce un'elevata accessibilità e bassi costi di manutenzione. L'interfaccia utente offre possibilità di collaborazione all'interno e all'esterno dell'azienda. I consulenti aiutano i clienti di Odoo a capire come il software può essere utilizzato al meglio per soddisfare le esigenze dell'azienda in gestione. Tutto ciò al fine di valutare i flussi di un'azienda all'interno del proprio business con l'obiettivo di renderli più efficienti, rendendo l'azienda più competitiva nel mercato in cui opera. Come ogni modulo appartenente ad un sistema ERP tradizionale, i moduli di Odoo hanno lo scopo di supportare i processi di business di un'azienda.

Odoo offre una versione per la comunità e una versione commerciale. La versione community è la versione open source gratuita, mentre la versione enterprise è a pagamento a un certo costo e fornisce più funzionalità e servizi.
La versione enterprise è disponibile come Software-as-a-Service e l'accesso al codice sorgente è limitato ai clienti e ai partner aziendali. La versione community è liberamente disponibile per chiunque.
Odoo Website Builder può essere un punto di partenza adatto per il business online. Con Odoo Website builder, il cliente deve solo trascinare e rilasciare i componenti, aggiungere testo e immagini, un sito web dall'aspetto molto professionale può essere realizzato con limitate conoscenze informatiche. Inoltre, i clienti possono sempre aggiungere altre funzionalità man mano che cresce. Ci sono diversi modi per estendere il sito web, per integrarsi con altre applicazioni Odoo come e-commerce, eBay ed Event, potrebbe essere un negozio online; aggiungere Blog, Forum, Q&A, può essere un sistema completo di gestione dei contenuti. Odoo è così diversificato da soddisfare le diverse esigenze di business.

7.4 Principali moduli della piattaforma Odoo

Un sistema ERP è costituito da una serie di moduli progettati per supportare i processi aziendali. Sono possibili diverse classificazioni ma i moduli principali possono sempre essere suddivisi in tre gruppi principali:

- Finanza
- Logistica
- Risorse Umane

Ognuno di questi è costituito, al suo interno, da altri sottogruppi più piccoli, con funzioni che coprono tutte le possibili operazioni utilizzabili dall'azienda.

7.4.1 Modulo Finanza

Il modulo finanziario si occupa di tutte le operazioni relative alla contabilità. Esso comprende i processi di registrazione, la classificazione e l'analisi delle informazioni finanziarie che riguardano l'intero business dell'azienda.

Odoo implementa da anni le stesse informazioni, anche se recentemente sono emerse nuove tendenze, trainate dai cambiamenti apportati dall'informatica, dall'e-commerce e dalle ristrutturazioni aziendali, che assomigliano sempre più alle multinazionali. Per tutti questi motivi si sono rese necessarie nuove regole di pagamento e di conseguenza nuove regole di bilancio. Inoltre, la presenza e i rapporti con produttori, partner e fornitori terzi, anche stranieri, ha aumentato e diversificato le richieste e quindi anche le modalità di adempimento di questi impegni.
Il modulo di gestione contabile e finanziaria è pienamente integrato con le altre attività aziendali, come le vendite, la produzione (MRP), gli acquisti, la gestione dei progetti e le risorse umane. Le funzioni principali di questo modulo comprendono la gestione della contabilità generale, la gestione dei crediti e la gestione dei pagamenti online.

Di particolare interesse è la possibilità offerta da Odoo di inserire diverse valute per effettuare automaticamente le conversioni nella valuta preferita. Con questo modulo è possibile inviare le fatture direttamente ai fornitori o ai clienti inserendo una firma elettronica nel documento; questo permette all'utente di risparmiare il tempo necessario per stampare il documento, firmarlo e rispedirlo. Inoltre, la funzione "report" permette all'utente di essere sempre aggiornato sullo stato dell'azienda.

7.4.2 Modulo 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. Tutte le attività come l'acquisto delle merci, il loro trasporto, l'organizzazione delle scorte di magazzino, la pianificazione delle forniture e le vendite fanno parte della funzione logistica.
Forse questa è la funzione che, più di ogni altra, è un'eredità dei sistemi pre-ERP. L'obiettivo primario della logistica è quello di minimizzare i costi in tutte le aree che non contribuiscono a fornire valore aggiunto al processo produttivo. Un esempio di questo è la riduzione delle scorte di magazzino e dei tempi di stoccaggio delle merci.
I vantaggi che un'azienda può ottenere implementando moduli logistici sono significativi. Innanzitutto, aumenta il coordinamento tra il produttore e il consumatore dei beni prodotti, collegandoli direttamente al processo di produzione come punto di partenza e obiettivo da perseguire. Inoltre, il miglioramento della comunicazione e della cooperazione tra fornitori, produttori e clienti consente l'ottimizzazione del processo produttivo, che si traduce in minori costi per l'azienda e quindi in maggiori profitti. Il settore della logistica può essere classificato in tre gruppi: vendite e distribuzione, pianificazione della produzione e approvvigionamento dei materiali.

- **Vendite e Distribuzione:** negli ultimi anni, poiché è cambiato il modo in cui le aziende rispondono al mercato, è cresciuta anche la domanda per l'implementazione di moduli di vendita e distribuzione. Per essere più competitiva sul mercato, l'azienda deve cambiare la sua politica sulla domanda dei consumatori e guidarli a sviluppare un sistema che sia facile per raggiungere questo obiettivo. Le funzioni supportate da questo modulo possono essere riassunte nelle seguenti intestazioni: vendite operative, supporto alle vendite, listini prezzi, ordini, spedizioni, fatture e regolamenti dei contratti di vendita. In tutto il processo di vendita il sistema gioca un ruolo fondamentale, senza di esso il tempo totale sarà notevolmente allungato.

- **Pianificazione della produzione:** anche la tendenza nella pianificazione della produzione si è spostata verso un approccio orientato al consumatore. Ciò ha portato alla necessità di una maggiore flessibilità nella produzione per soddisfare le esigenze dei clienti. In pratica, questa tendenza comporta una drastica riduzione dei tempi di sviluppo dei prodotti. Il requisito alla base della pianificazione della produzione è anche una funzione del ciclo di vita del prodotto. Oggi il ciclo di vita del prodotto è molto più breve rispetto al passato a causa delle esigenze dei clienti in costante evoluzione. Per questo motivo, è essenziale implementare un rapido processo di sviluppo del prodotto in linea con le esigenze del mercato.
  Questi obiettivi non possono essere raggiunti senza un'attenta pianificazione, un alto grado di flessibilità produttiva e di adattabilità alle esigenze. Uno strumento come un sistema ERP diventa indispensabile in queste condizioni. Molti moduli di pianificazione sono attualmente basati su sistemi MRP II. Ciò che principalmente distingue questi sistemi dai loro predecessori è il livello di integrazione che offrono tra le apparecchiature di produzione e gli altri componenti.

- **Approvvigionamento:** l'approvvigionamento è il processo di acquisizione di beni o servizi a supporto delle attività produttive. Nel contesto dei sistemi ERP, l'approvvigionamento è un concetto molto ampio che comprende operazioni molto eterogenee, come l'acquisto di beni, il controllo delle scorte, la gestione del magazzino, la selezione dei fornitori e la valutazione delle loro capacità. Il sistema di approvvigionamento di un'azienda mira ad ottimizzare il flusso delle merci e a coordinare l'approvvigionamento con altre unità, come l'unità finanziaria o di vendita. Esso offre diverse funzionalità: ad esempio la valutazione dei fornitori che viene effettuata sulla base della qualità del prodotto offerto e, naturalmente, sul prezzo. I vantaggi

offerti da questo sistema di approvvigionamento sono molto simili ai vantaggi ottenuti dal sistema di vendita con il quale condivide molte delle caratteristiche principali.

7.4.3 Modulo Risorse Umane

Comunemente si potrebbe pensare che questo apparato sia in qualche modo isolato dagli altri e dal nucleo dell'azienda; in realtà, la crescente importanza per un'azienda di cercare personale qualificato e di investire su di esso per il proprio sviluppo è diventato uno dei punti su cui basare la propria strategia aziendale in termini di impiego.
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; per avere una completa informazione sulle funzioni delle risorse umane è necessario installare, all'interno del sistema Odoo, i seguenti moduli: Valutazione del Personale, Reclutamento, Dipendenti, Timesheet ed infine Costi Dipendenti.
Ogni applicazione risponde a diverse esigenze, in particolare:

- permette di creare questionari di valutazione, utili per la registrazione dei dati dei dipendenti. Si può impostare il questionario nel modo più adatto all'azienda in questione. Un esempio di questionario potrebbe essere correlato al livello di formazione del dipendente;

- Il reclutamento permette di essere aggiornati sulle posizioni aperte e sull'eventuale necessità di reclutare nuovi dipendenti;

- Spese dei dipendenti, permette di tenere sotto controllo le spese effettuate dai dipendenti (pasti, trasporti o qualunque tipo di spesa che debba essere rimborsata al dipendente);

- Timesheet, un'applicazione per gestire gli orari e i turni dei dipendenti e, in generale, gli eventuali progetti che devono essere programmati.. È possibile inserire i giorni di malattia, i permessi e le ferie per ogni dipendente, in modo che le informazioni vengano inviate direttamente al modulo relativo alle buste paga;

Con l'evoluzione di questi sistemi, i moderni ERP hanno ampliato le loro funzioni per includerne altre utili per il dipendente stesso, come la richiesta di ferie o permessi, l'organizzazione dei turni e molto altro ancora.

Una funzione utile offerta è quella dei portali informativi: attraverso questi portali il dipendente può conoscere informazioni su se stesso, visualizzare i pagamenti ricevuti, le prestazioni a cui ha diritto, lo stato delle sue ferie e, se necessario, aggiornare i suoi dati.

Inoltre, attraverso questo modulo è possibile visualizzare l'organigramma aziendale, ad esempio per vedere chi è responsabile di un determinato reparto e con quale organizzazione l'azienda opera sul mercato.

Con l'accesso alle funzioni di gestione, è possibile modificare l'organigramma secondo necessità, cambiando ruoli, responsabilità e persino i permessi di accesso al sistema stesso.

In questo modo i sistemi HR diventano più un partner strategico che un centro di costo, aiutando l'azienda a scegliere e modificare continuamente la propria organizzazione e il peso dei propri reparti, cambiando così la propria strategia.

Odoo copre tutti i tipi di operazioni commerciali, dalla gestione dei progetti, CRM e HR al controllo delle scorte e alle vendite omnicanale.

Come soluzione di gestione aziendale "all in one", la *Figura 18* elenca le tre principali aree della gestione aziendale, del Customer Relationship Management e dell'Enterprise Resource Planning:

Business Management Features:		
Billing & Invoicing	CRM	Employee Management
Financial Management	Inventory Management	Marketing Management
Point of Sale (POS)	Purchasing	Time&Expense Tracking
Training Management	Vendor Management	
Customer Relationship Management Features		
Call Logging	Product Catalog	Contact Management
Project Management	Customer Support	Quotes/Proposals
Lead Scoring	Referral Tracking	List Management
Marketing Automation	Territory Management	
Enterprise Resource Planning Features		
Accounting Management	Inventory Management	CRM
Project Management	Dashboard	Purchasing
Distribution Management	Sales Management	Enterprise Asset Management
Supply Chain Management	Financial Management	Warehouse Management
HR Management		

Figura 18 Moduli principali Odoo per categoria

7.4.4 Moduli addizionali

I sistemi descritti finora non sono gli unici ad essere implementati su sistemi ERP. Ci sono anche altri sistemi di accompagnamento, che vengono utilizzati insieme alle funzioni principali per fornire una copertura più stretta: Supply Chain Management (SCM), Customer Relationship Management (CRM), Supplier Relationship Management (SRM) e Product Lifecycle Management (PLM).

Il modulo SCM ha lo scopo di ottimizzare il flusso dei prodotti nella catena di fornitura. Il suo compito è quello di supportare e gestire l'intera catena di fornitura, dalla concezione all'implementazione. Da un lato gestisce le relazioni con i clienti, mentre dall'altro gestisce i rapporti con i fornitori.

Dall'altro lato, il focus dei sistemi CRM è l'addensamento dell'interazione con il cliente. Le imprese di solito usano questi sistemi per attrarre e mantenere i clienti. Per implementare tali strategie, molte aziende costruiscono speciali database esclusivamente per mantenere informazioni dettagliate sui loro clienti: per esempio, informazioni su manager, venditori, rappresentanti.

La particolarità principale però è che queste informazioni solitamente sono direttamente consultabili e modificabili dai clienti stessi.

La caratteristica principale, tuttavia, è che queste informazioni sono di solito direttamente ricercabili e modificabili dai clienti stessi. Il sistema SRM rappresenta un approccio globale per la gestione delle interazioni tra un'azienda e i suoi fornitori di beni e servizi. L'obiettivo del sistema SRM è quello di linearizzare e rendere più efficiente il processo delle relazioni tra l'azienda e i suoi fornitori; un po' come fanno i sistemi CRM per i clienti.

Questo modulo è di fondamentale importanza per ottenere una maggiore efficienza nell'approvvigionamento delle materie prime, del prodotto lavorato e di conseguenza di tutte le parti che compongono la catena del valore e che dipendono strettamente dai tempi e dal rapporto con i fornitori.

Infine, le caratteristiche principali del modulo PLM sono già state adeguatamente trattate nei capitoli precedenti, per questo motivo non verranno ulteriormente analizzate in questo capitolo.

8. GESTIONE DELLA CONOSCENZA NEL MONDO DELLA ONE-OF-A-KIND PRODUCTION (OKP)

In questa tesi il focus viene concentrato sull'industria della One-of-a-Kind Production (OKP), in cui ogni prodotto viene progettato e realizzato in larga misura in base alle specifiche esigenze del cliente, secondo un approccio Engineer To Order (ETO).

Nei capitoli successivi a questo verrà condotta l'analisi di un caso reale di prodotto, progettato nel corrente semestre accademico durante lo svolgimento di un progetto e successivamente realizzato nel laboratorio del Politecnico di Torino.

I principali obiettivi che si vogliono perseguire con la realizzazione di questa tesi sono i seguenti:

- Realizzare un elenco di funzionalità di sviluppo del software utilizzato (Odoo) al fine di sviluppare una soluzione integrata di business IT a supporto delle aziende OKP per ottenere una sorta di linea guida utile per la reingegnerizzazione dei processi e gettare le basi per una nuova ICT integrata modello di business per le aziende OKP;

- Analisi del supporto ICT nei processi aziendali e livello di integrazione tra le diverse soluzioni ICT;

- Digitalizzazione delle informazioni relative alla progettazione e alla produzione del prodotto. Tale modellazione costituirà la base dell'integrazione tra le piattaforme PLM (Product Lifecycle managment) e MES (Manufacturing Execution System);

Infine, si cercherà di rispondere alla domanda più rilevante, ovvero come una media impresa può migliorare i propri processi attraverso un uso integrato di un sistema PLM+MES implementato con il software Odoo.

8.1 Analisi del prodotto e del processo di lavorazione

Il prodotto che sarà sottoposto ad analisi [*Figura 19*] è un modello in scala ridotta di un motore pneumatico, opportunamente riprogettato in modo da poter soddisfare i requisiti volumetrici previsti dai macchinari utilizzati per la successiva fase di realizzazione, effettuata per mezzo di tecniche di fabbricazione additiva.

La scelta del prodotto e del relativo processo di lavorazione consente di effettuare ulteriormente un focus sul mondo dell'Industry 4.0 dal momento che i processi di fabbricazione additiva (o additive manufacturing) rappresentano una delle tecnologie abilitanti dell'industria moderna.
Con il termine fabbricazione additiva si intende la possibilità di realizzare, mediante tecnologia di costruzione per strati, componenti definitivi nel materiale finale partendo direttamente dal modello matematico realizzato al CAD tridimensionale.

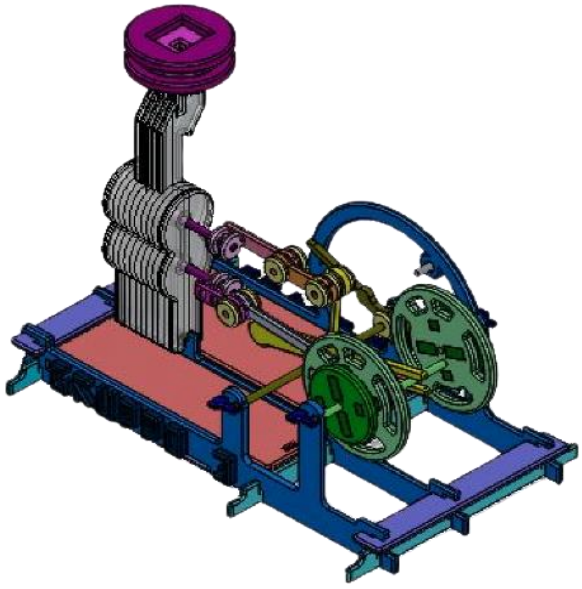


Figura 19: Rappresentazione tridimensionale prodotto; Source: Solidworks

Il motore pneumatico, detto anche motore ad aria compressa, è un particolare tipo di motore che genera movimento meccanico sfruttando l'espansione dell'aria che viene compressa all'interno di una camera.
Nel modello realizzato, il motore compie un movimento principale che può essere azionato in due diversi modi:

- Con l'ausilio di aria compressa che viene introdotta all'interno di un caminetto
- Tramite una coppia impressa manualmente

Dopo una prima fase di progettazione del componente tramite il software SolidWorks, la produzione vera e propria è stata realizzata attraverso il processo di Selective Laser Sintering (SLS) che prevede l'utilizzo di polvere in materiale polimerico, metallico o ceramico per la realizzazione dei componenti; si tratta di una tecnica sviluppata intorno agli anni '80 dall'Università di Austin grazie alla partnership con la società italiana DTM e con la società tedesca EOS.

La sinterizzazione è un processo che incorpora due sotto – processi: una forte compressione e un'elevata temperatura.

Il termine "Sintering", in realtà, è improprio in quanto non è previsto un massiccio contributo in termini di pressione durante il processo.

Il termine che maggiormente si addice al processo sarebbe dunque quello di "fusione".

In questo processo non bisogna raggiungere la temperatura di degrado del materiale, pertanto uno dei parametri di processo più importanti è basato sul capillare controllo della potenza del laser.

Lo schema di funzionamento del Selective Laser Sintering è mostrato in *Figura 20*. Nel caso dei polimeri termoplastici la sorgente porta a fusione la polvere e realizza l'intera sezione, facendola aderire allo strato precedente. La camera di lavoro è mantenuta ad una temperatura prossima a quella di fusione della polvere per minimizzare i ritiri di solidificazione: maggiore è il ΔT tra il letto di polvere e le polveri solidificate, maggiori saranno i ritiri. Tale ΔT, inoltre, è fondamentale per fondere gli strati tra di loro e garantire una perfetta adesione di un layer con il precedente.

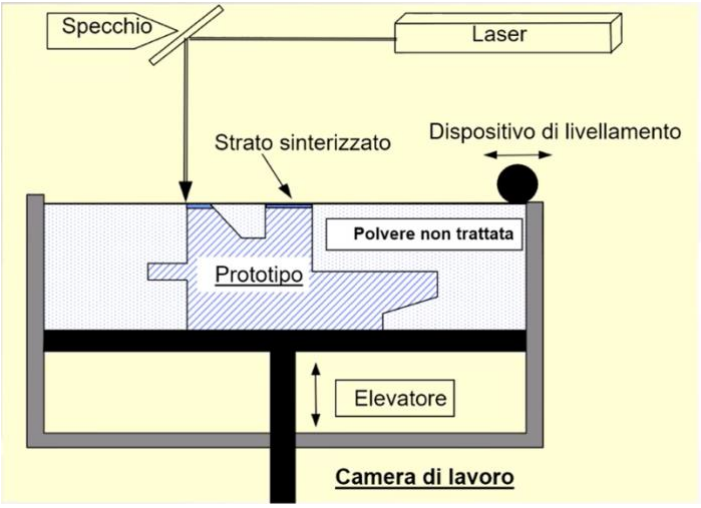


Figura 20 Schema del processo di Selective Laser Sintering per i polimeri

Il sistema opera in copertura di azoto per evitare l'ossidazione delle polveri (vi è un sistema interno alla macchina che raccoglie l'azoto dall'aria). È necessario, quindi, prevedere dei sistemi di areazione nel posto in cui si trova la macchina.

Al termine del processo, il componente risulta immerso nel letto di polvere. Il blocco di polvere contenente il particolare realizzato deve essere fatto raffreddare in aria prima di estrarre il prodotto per evitare deformazioni dello stesso. La polvere non trattata può essere riutilizzata in combinazione con quella vergine. Non è necessario eseguire post trattamenti a parte la pulizia del componente per eliminare la polvere. Questa tecnologia additiva è molto utilizzata nell'ambito del termoplastico,

poiché assicura prestazioni molto elevate, sia in termini di caratteristiche meccaniche che in termini di design.

8.2 Stadi di avanzamento dell'analisi

Per un'azienda, lo sviluppo di nuovi prodotti è una missione fondamentale. La capacità di sviluppare l'innovazione e di gestire i prodotti sono condizioni necessarie per garantire la sopravvivenza e il successo sul mercato di fronte al cambiamento dei gusti e delle preferenze dei clienti, della tecnologia, della concorrenza e di altre variabili ambientali.

Ogni prodotto attraversa un ciclo di vita: nasce, passa attraverso diverse fasi di sviluppo e infine declina e si estingue. Poiché tutti i prodotti prima o poi affrontano una fase di declino, un'azienda deve sapere come progettare nuovi prodotti per sostituire quelli destinati all'uscita dal mercato.

Le aziende devono capire in quale fase della vita si trovano i loro prodotti e, quando passano da una fase all'altra, modificare le loro strategie di marketing. Dal momento che lo scopo principale della tesi riguarda la possibilità di utilizzare determinati applicativi della piattaforma Odoo nel mercato OKP, verrà generato un dominio proprietario della piattaforma in modo da poter simulare le fasi principali che caratterizzano un generico processo di produzione. Il diagramma di flusso indicante a grandi linee le principali attività da svolgere è rappresentato nella sottostante *Figura 21.*

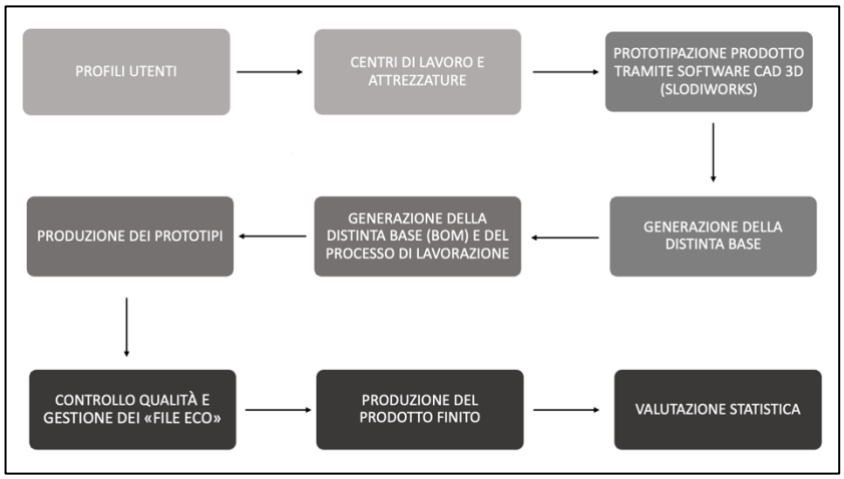


Figura 21 Diagramma di flusso rappresentante gli stadi di avanzamento dell'analisi condotta per mezzo della piattaforma software Odoo

Generalmente, per questi tipi di prodizione, nel momento in cui un cliente richiede la realizzazione di un componente personalizzato, l'ordine viene preso in carico dall'azienda e trasmesso al reparto progettazione.

Gli ingegneri di progetto, attraverso l'utilizzo di un software di disegno CAD, hanno il compito di generare un modello tridimensionale virtuale del componente che deve essere realizzato.
Nel caso in esame, per la realizzazione del modello CAD tridimensionale del motore pneumatico è stato utilizzato il software SolidWorks.
Dal momento che uno dei principali vantaggi delle tecniche di fabbricazione additiva risieda nel fatto che il costo del componente finito non dipenda dalla complessità del prodotto quanto dal volume di questo, si è deciso di riprogettarlo in modo che fosse formato unicamente da tre sotto - assiemi, consentendo dunque di minimizzare i tempi di assemblaggio.
Una volta realizzato il modello virtuale del componente da produrre, è possibile generare la distinta base di riferimento, ovvero uno schema degli assiemi che costituiscono il prodotto finito.
L'attenzione si sposta dunque sulla fase di progettazione del prodotto e del processo produttivo.
Queste attività vengono svolte ancora una volta dagli ingegneri progettisti i quali, possedendo tutte le informazioni di input relative al progetto (know – how aziendale) avranno il compito di generare un'informazione di output che possa essere mandata a bordo macchina.
Nello specifico, dato che si tratta della lavorazione di un prodotto per mezzo di tecniche di fabbricazione additiva, i macchinari che sono stati utilizzati sono CNC, ovvero macchine a controllo numerico. Per questa ragione, il codice di output che viene generato prende il nome di "Part Program", ovvero un insieme di istruzioni fornite ad una macchina computerizzata per controllarne il funzionamento.
Una volta che viene stabilito il processo di lavorazione che dovrà subire il componente, si passa alla fase di gestione dei materiali. Durante questa fase, i responsabili dell'ufficio acquisti hanno il compito di effettuare determinate scelte di "make or buy". Al termine di questa fase verranno dunque generati ordini di acquisto per quei materiali che non vengono prodotti internamente all'azienda.
Non appena verranno raccolte tutte le informazioni elencate finora, il caporeparto dell'area produzione potrà creare un ordine di produzione (manufacturing order) con il quale è possibile effettuare una schedulazione delle risorse fisiche (macchine e risorse umane) attraverso la generazione degli ordini di lavoro (work order).
Lo stadio successivo del processo prevede la realizzazione di prototipi funzionali e il collaudo di questi. Si parla di prototipi e non di componenti definitivi in quanto, prima di immettere nel mercato il prodotto, bisogna verificare se le caratteristiche di questo rispecchiano i requisiti progettuali e quindi le richieste del cliente.
Il controllo della qualità viene svolto dai CAQC (computer aided quality control). Si tratta di un'applicazione ingegneristica di macchine controllate da computer per la definizione e il controllo della qualità dei prodotti. Questo include:

- Gestione degli strumenti di misura
- Ispezione delle merci in entrata
- Valutazione del fornitore
- Tabella degli attributi
- Controllo statistico del processo (SPC)

Se i risultati derivanti dalla fase di collaudo risultano positivi sarà possibile produrre il componente definitivo; altrimenti bisognerà creare dei cicli ricorsivi che consentano di apportare delle modifiche strutturali o processuali al componente in modo che possa rispettare i requisiti originali.
In questa fase del processo la piattaforma Odoo risulta essere di fondamentale importanza in quanto, per mezzo dell'applicazione PLM (Product Lifecycle Management), permette di generare i "File ECO" (ordine di cambiamento ingegneristico).
Tale attività è di competenza degli ingegneri della produzione o degli addetti alle attività di manutenzione e prevede un aggiornamento o una correzione dei file precedentemente inseriti e riguardanti il componente CAD 3D, la distinta base o specifiche informazioni inerenti al processo di lavorazione.
I file ECO rappresentano dunque un sistema di monitoraggio e aggiornamento che consente di tenere traccia di eventuali cambiamenti apportati al processo. L'idea è quella di segnalare la necessità di cambiare un elemento del prodotto o un elemento della distinta base, tenere i file che sono rilevanti per il cambiamento e applicare il cambiamento o almeno segnalare che il cambiamento è stato implementato, il tutto mantenendo la storia di tutti i cambiamenti precedenti.
Questi file vengono elaborati al fine di snellire lo sviluppo del prodotto e aiutare a migliorare i prodotti o, più in generale, i processi di produzione delle aziende.
L'analisi è stata effettuata nella versione di prova di Odoo Enterprise V14 (versione 14) che permette all'utente di utilizzare il sistema senza limitazioni di archiviazione o di applicazione per un periodo di 15 giorni tutto ospitato nei server cloud di Odoo [*Figura 22*].
Nella versione premium gli utenti interagiscono con il sistema attraverso l'interfaccia grafica utente (GUI) e lo usano per accedere ai diversi moduli disponibili in base alle proprie necessità.

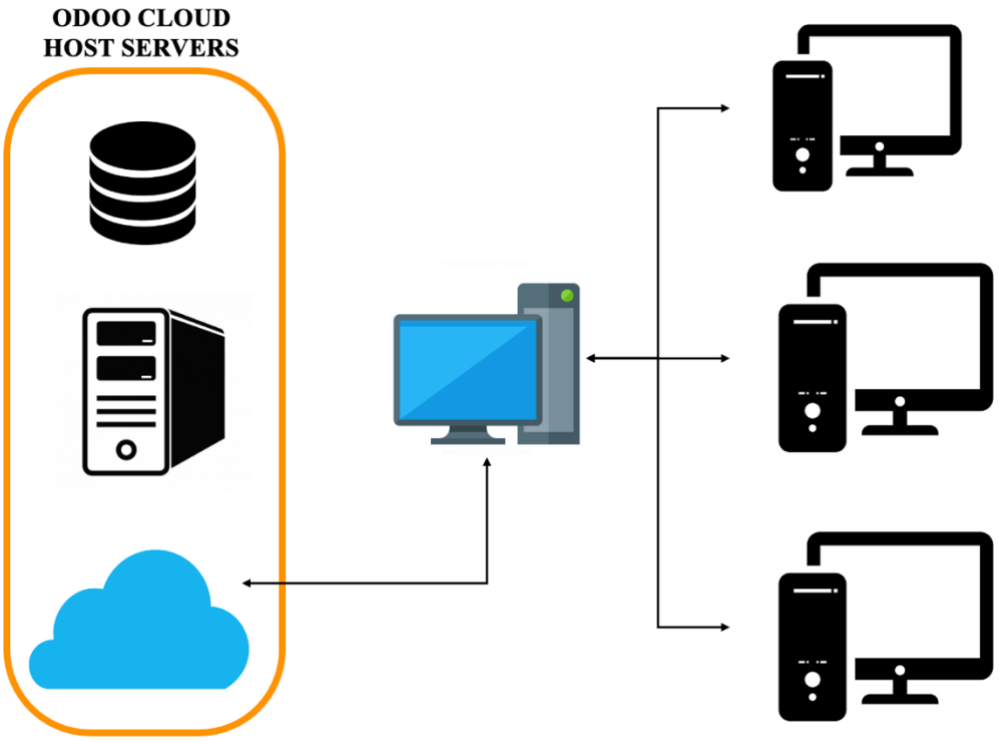


Figura 22 Configurazione del modello di archiviazione e utilizzo della piattaforma Odoo

Alcuni dettagli sulle impostazioni di Odoo sono relativi al normale funzionamento delle sue funzioni di produzione. In particolare, l'abilitazione degli ordini di lavoro nelle impostazioni di produzione è un passaggio necessario per il corretto utilizzo di ordini di lavoro, centri di lavoro ed elementi di processo. Questa opzione può essere attivata spuntando la casella denominata "centri di lavoro" nella sezione "Produzione" del menù di impostazioni [*Figura 23*].

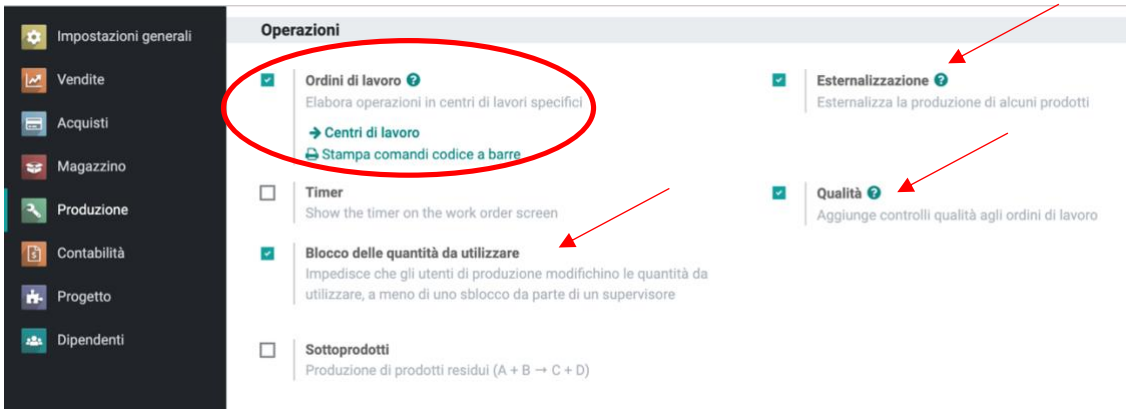


Figura 23 Impostazione di abilitazione ordini di lavoro

Sempre all'interno della medesima finestra di impostazioni sono state spuntate le caselle "Blocco delle quantità da utilizzare", "Esternalizzazione" e "Qualità".

La prima impostazione consente di delineare le responsabilità degli operatori, consentendo soltanto al supervisore d'area di poter sbloccare determinati utenti che saranno abilitati ad effettuare modifiche legate alle quantità da utilizzare nella produzione del componente.
È possibile assegnare diversi livelli di permessi relativi ai diversi aspetti del funzionamento del business.
La seconda impostazione prevede determinate scelte di business legate alla logica di buy: questa funzione prevede dunque che la realizzazione del prodotto finito possa richiedere l'acquisto di materie prime o semilavorati da aziende esterne.
Infine, la funzione "Qualità" consente di effettuare controlli periodici della produzione e del processo di lavorazione al fine di rintracciare possibili criticità legate al processo di sviluppo prodotto.
I capitoli successivi consentiranno di analizzare direttamente le logiche di funzionamento della piattaforma in quanto verrà condotta una simulazione del ciclo di generazione del prodotto selezionato (il modello del motore pneumatico).

8.3 Community Version ed Enterprise Version

Il software Odoo consente di utilizzare la versione Community o la versione Premium.
Scaricando la versione premium, nota anche come "Enterprise Version", risulterà possibile avere accesso al software proprietario, avere un supporto funzionale a tutte le attività previste dalla piattaforma e soprattutto garanzia di assistenza e correzione di eventuali bug [*Figura 24*].

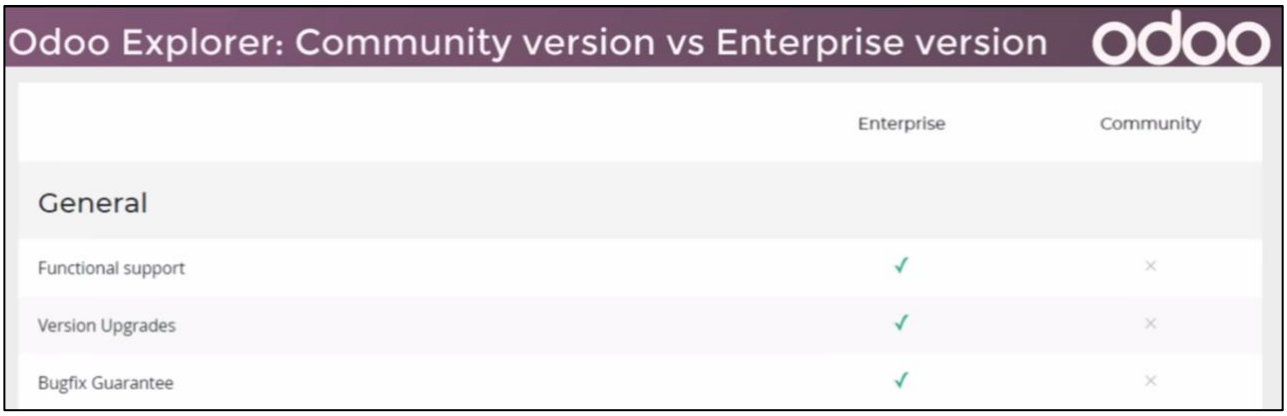


Figura 24 Differenze in termini generali tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo; Source: Odoo website

Un'altra differenza tra la versione Community e quella Enterprise riguarda l'Interfaccia Utente (UI). Nel primo caso la piattaforma prevede una versione molto basica da un punto di vista grafico; nel

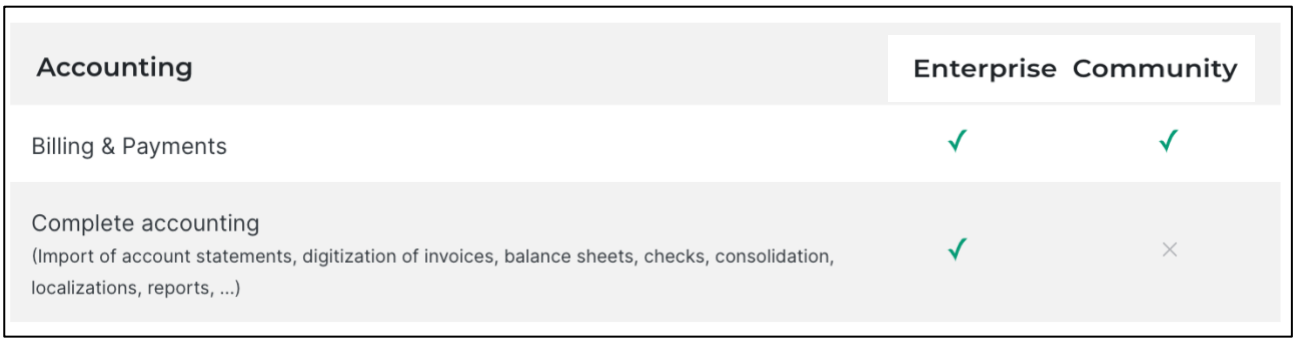
caso Premium il software fornisce un'interfaccia maggiormente accattivante ma sempre accessibile anche per gli utenti meno pratici.
Un'ulteriore discrepanza tra le due versioni riguarda la possibilità, nel caso Premium, di utilizzare il software su altre piattaforme, come tablet e smartphone.

8.3.1 Differenze funzionali: Gestione delle vendite

Entrambe le versioni consentono di avere accesso alla funzione di CRM (customer relationship management) legato al concetto di gestione e fidelizzazione della base clienti.
Le differenze riguardano il fatto che la versione Premium prevede l'utilizzo della funzione VoIP (Voce tramite protocollo Internet), tecnologia che rende possibile effettuare una conversazione, analoga a quella che si potrebbe ottenere con una rete telefonica, sfruttando una connessione Internet o una qualsiasi altra rete di telecomunicazioni dedicata che utilizzi il protocollo IP senza connessione per il trasporto dati.
Inoltre, con la versione avanzata è possibile effettuare firme digitali, gestire prodotti digitali e disporre del servizio di help desk, un servizio professionale aziendale, in buona parte orientato al problem solving, volto a fornire assistenza/supporto tecnico e/o informativo, all'utente/cliente, relativamente all'acquisto e/o utilizzo di prodotti elettronici o servizi informatici, con lo scopo dunque di fornire indicazioni o risolvere problemi su prodotti hardware come computer, apparecchiature elettroniche o software.

8.3.2 Differenze funzionali: Contabilità

Nella versione Community sono presenti tutte le funzionalità base associate al concetto di contabilità come fatture e pagamenti; nella versione Enterprise, oltre alle operazioni cardine, è possibile generare un rapporto di contabilità proprio, comprensivo di documenti di bilancio e report periodici di profitti e perdite. Tali differenze sono riportate nella sottostante [*Figura 25*].

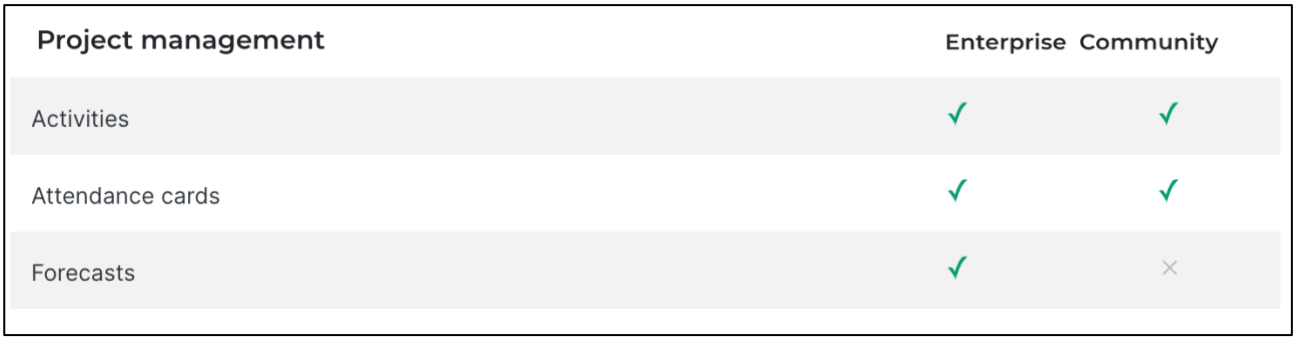


Accounting	Enterprise	Community
Billing & Payments	✓	✓
Complete accounting (Import of account statements, digitization of invoices, balance sheets, checks, consolidation, localizations, reports, ...)	✓	×

Figura 25 Differenze in termini di funzioni di contabilità tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo; Source: Odoo website

8.3.3 Differenze funzionali: Project Management

Entrambe le versioni consentono di visionare l'insieme di task che devono essere portati a termine per poter concludere il progetto ma, come è possibile notare dalla *Figura 26* la versione premium fornisce informazioni ulteriori come fogli di lavoro e previsioni sul progetto. Questo consente di avere una migliore informazione e rendicontazione sull'intero progetto.



Project management	Enterprise	Community
Activities	✓	✓
Attendance cards	✓	✓
Forecasts	✓	×

Figura 26 Differenze in termini di funzioni di Project Management tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo; Source: Odoo website

8.3.4 Differenze funzionali: Inventario

Entrambe le versioni prevedono un software di gestione dell'inventario che consente di tenere un registro di tutte le scorte presenti in magazzino e di effettuare una gestione degli acquisti di base.

La versione Premium consente inoltre di gestire il flusso di materiale per mezzo di un'attività di codifica e classificazione dei prodotti.
La codifica viene effettuata grazie alla generazione di codici a barre identificativi di ogni prodotto.
È inoltre previsto un sistema integrato di comunicazione con le società di spedizione, quali UPS, FedEx, DHL, USPS.
Infine, la versione avanzata consente di effettuare una gestione contemporanea dei percorsi logistici di diverse società. Tali differenze sono riportate nella sottostante [*Figura 27*].

Inventory	Enterprise	Community
Inventory management	✓	✓
Purchase management	✓	✓
Barcode support	✓	×
Shipping Connectors DHL Express, UPS, USPS, Fedex, BPost, Easypost	✓	×
Intercompany flows	✓	×

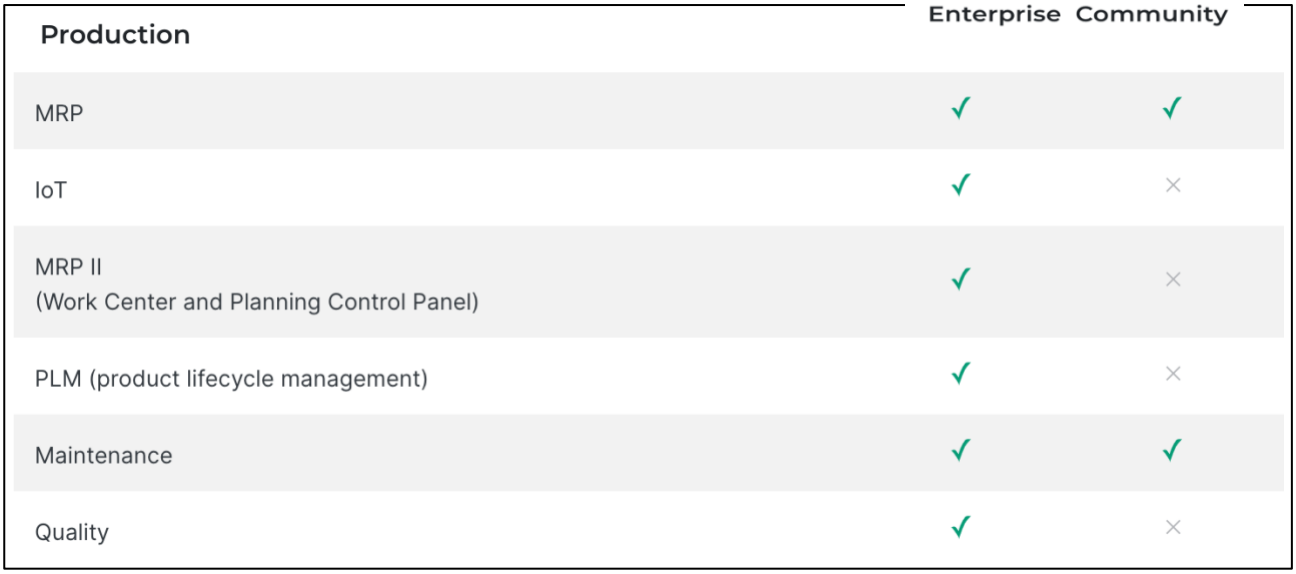
Figura 27 Differenze in termini di funzioni di Inventario tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo; Source: Odoo website

8.3.5 Differenze funzionali: Produzione

Il pacchetto di Manufacturing [*Figura 28*] rappresenta principalmente un MRP (Material Resource Planning), così entrambe le versioni dispongono della possibilità di gestire i diversi ordini di produzione.
La versione Premium presenta alcune funzionalità di particolare importanza, quali ad esempio:

- MRP II: è un pannello di controllo e di programmazione del centro di lavoro;
- PLM: è un sistema di gestione del ciclo di vita del prodotto che consente di tenere traccia dei cambiamenti ingegneristici relativi alla distinta base o al processo di lavorazione;
- Modulo di manutenzione: consente di mantenere sotto controllo i macchinari e le attrezzature presenti all'interno del capannone da lavoro e, laddove fosse necessario, schedulare attività di manutenzione per riparare elementi danneggiati o fuori uso;

- Qualità: si tratta di un sistema di gestione della qualità che consente di effettuare un check sulla produzione.

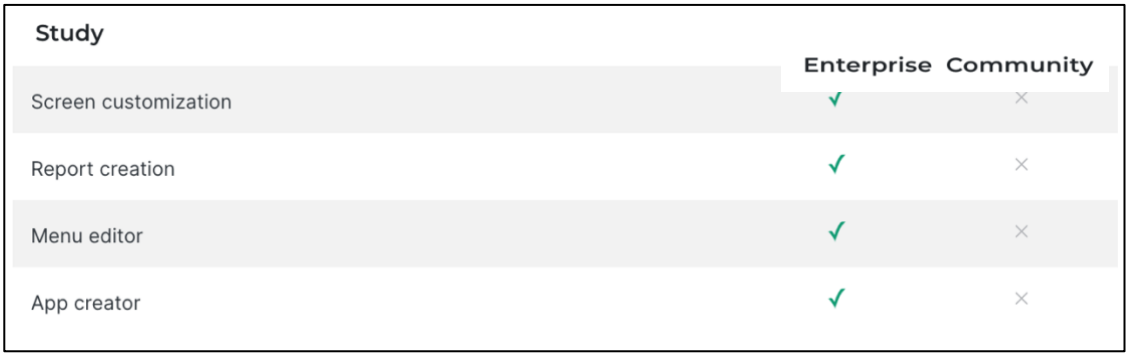


Production	Enterprise	Community
MRP	✓	✓
IoT	✓	×
MRP II (Work Center and Planning Control Panel)	✓	×
PLM (product lifecycle management)	✓	×
Maintenance	✓	✓
Quality	✓	×

Figura 28 Differenze in termini di funzioni di Manufacturing tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo; Source: Odoo website

8.3.6 Pacchetto studio

Si tratta di una funzione disponibile unicamente nella versione Enterprise della piattaforma.
È uno strumento, e non un'applicazione vera e propria, che viene utilizzato per personalizzare il proprio database senza possedere una particolare conoscenza teorica del software.
Nella *Figura 29* vengono elencate le funzionalità di tale strumento.



Study	Enterprise	Community
Screen customization	✓	×
Report creation	✓	×
Menu editor	✓	×
App creator	✓	×

Figura 29 Differenze in termini di funzioni di Studio tra la versione Community e quella Enterprise di Odoo; Source: Odoo website

Per la realizzazione dell'analisi è stato deciso di utilizzare la versione Premium del software in modo da poter condurre un focus maggiormente dettagliato di quelli che sono gli stadi di avanzamento del processo di sviluppo prodotto.

8.4. Gestione del processo di produzione

Una volta determinata la versione da utilizzare per lo svolgimento dell'analisi, è stato delineato un flusso ordinato di operazioni da eseguire al fine di realizzare il prodotto in esame. Queste informazioni sono state inserite all'interno del flow chart rappresentato in *Figura 30,* il quale consente di avere una visione più chiara e approfondita degli step riguardanti la fase di progettazione e produzione del prodotto da realizzare all'interno dell'azienda.

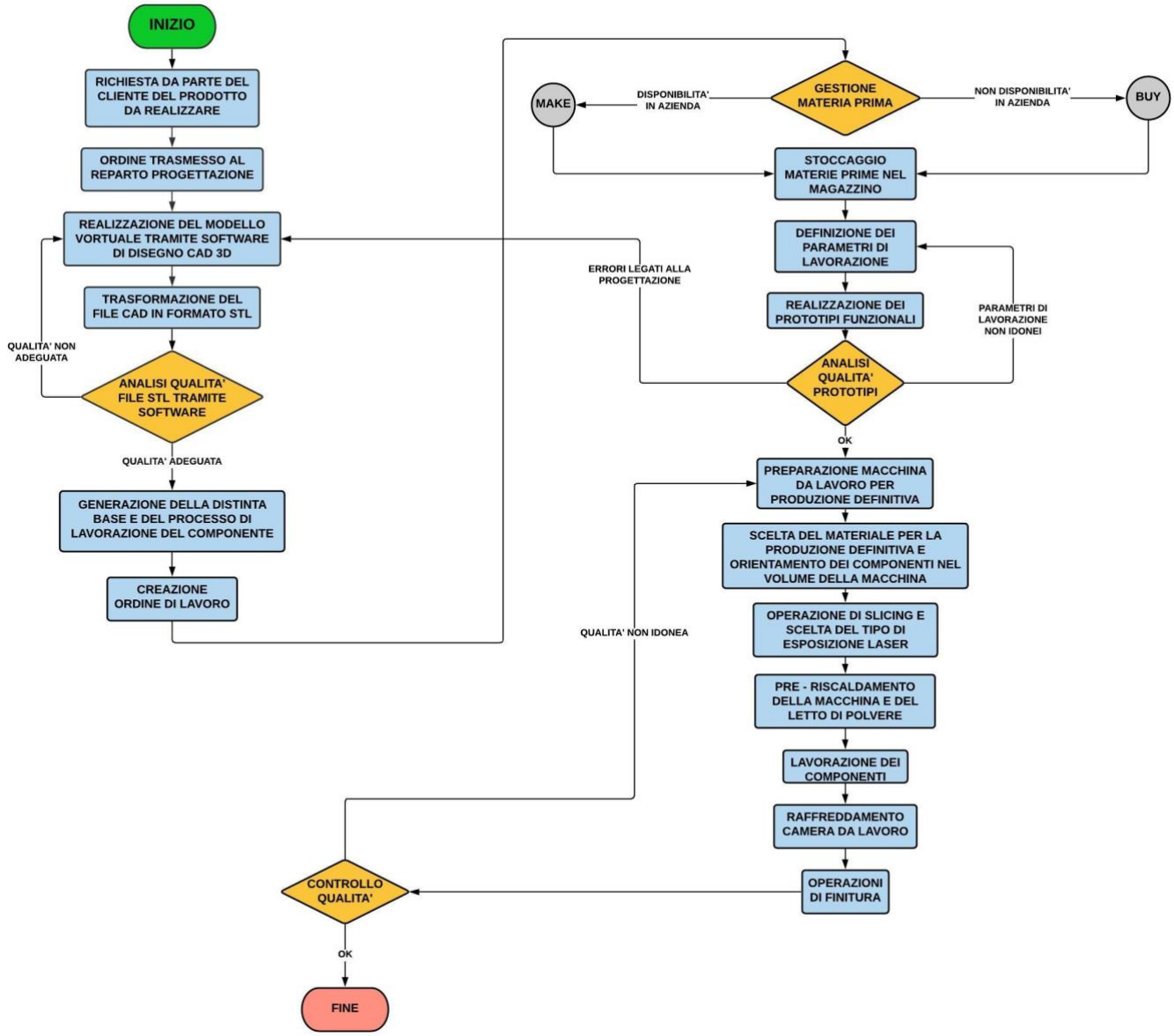


Figura 30 Flow Chart processo di progettazione e produzione

8.5 Progettazione e sviluppo del sistema di gestione

8.5.1. Creazione profili dipendenti

La prima attività che viene svolta all'interno della piattaforma riguarda la generazione delle schede profilo dei dipendenti dell'azienda fittizia. Non si tratta di una funzione strettamente necessaria a garantire il funzionamento del software, il quale potrebbe tranquillamente operare anche in presenza di una sola scheda profilo (quella che si crea automaticamente nella fase di download di Odoo e che è stata rappresentata nella *Figura 30*).

Nel caso specifico, a partire dall'applicazione "Dipendenti", sono stati creati tredici diversi profili virtuali in modo da poter coprire le principali aree funzionali di una generica azienda e per creare una struttura gerarchica tipica dei reali sistemi aziendali.

Dall'immagine relativa alla scheda principale di un dipendente è possibile ottenere le informazioni principali, quali ad esempio:

- Nome e Cognome del dipendente
- Ruolo lavorativo
- Ufficio in cui si svolge principalmente il lavoro
- Legami con supervisori o sottoposti

L'inserimento dell'ultima informazione del precedente elenco puntato consente di ottenere l'organigramma aziendale, rappresentato in forma compatta nella *Figura 31.*

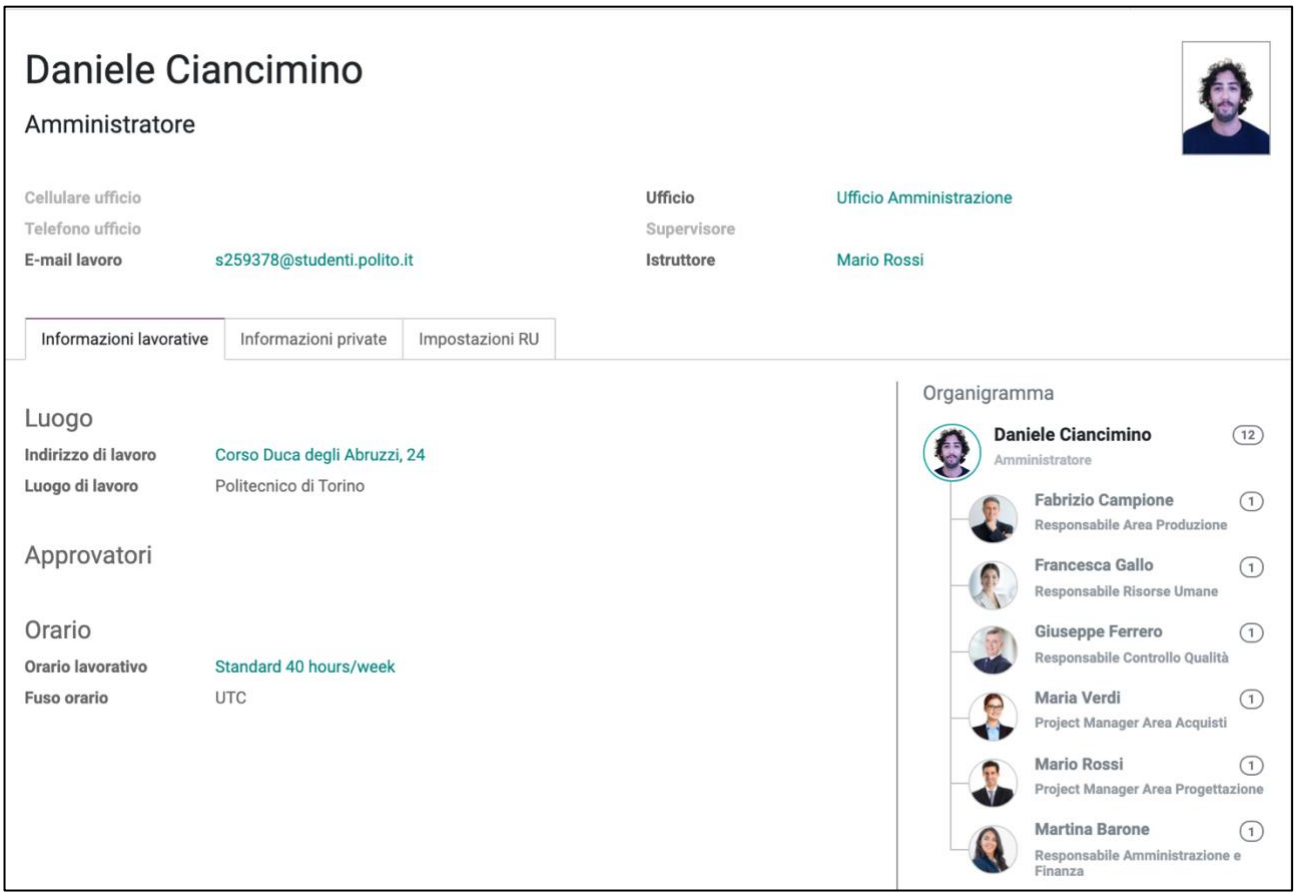


Figura 31 Screenshot di una generica scheda profilo; Source: Odoo website

I profili dei diversi dipendenti sono stati generati con l'intento di poter tenere traccia delle responsabilità e dei diritti di accesso alle diverse informazioni aziendali.

Ad esempio, nella *Figura 32* è stata riportata la scheda tecnica di un dipendente fittizio che opera nel ruolo di operaio metalmeccanico all'interno dell'ufficio di produzione.

In questo caso i permessi del dipendente riguarderanno esclusivamente attività legate alla sfera della produzione e della manutenzione, mentre gli verrà negato l'accesso in lettura e scrittura ad altre informazioni contenute nei database aziendali, come ad esempio la gestione delle vendite, la contabilità o ancora la gestione della progettazione.

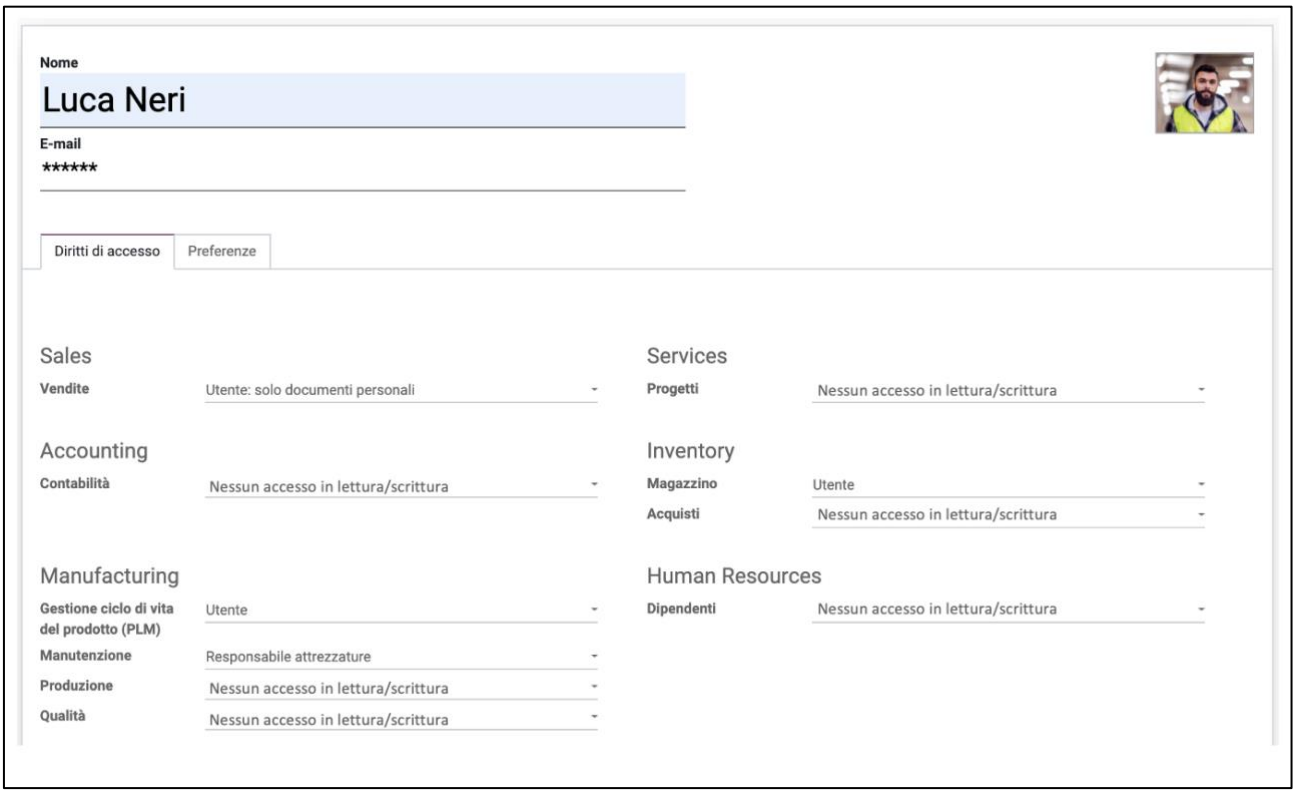


Figura 32 Screenshot di una generica scheda profilo con informazioni sui diritti di accesso; Source: Odoo website

8.5.2 Centri di lavoro e attrezzature

I centri di lavoro sono delle macchine multifunzionali che permettono con grande flessibilità di adempiere ad un elevato numero di operazioni meccaniche quali per esempio: fresatura, alesatura, filettatura, foratura, etc., grazie alla possibilità di disporre di un elevato numero di utensili a magazzino.

I centri di lavoro possono essere dei più svariati tipi a seconda della configurazione, del numero di assi, delle dimensioni dell'area di lavoro, della posizione del mandrino e degli optional presenti.

La piattaforma Odoo consente di gestire in modo flessibile i centri di lavoro, dando la possibilità di espanderli in termini di numero e di capienza per le attrezzature.

Nel caso specifico, si suppone di suddividere l'impianto industriale dell'azienda fittizia in celle di lavorazione. La produzione per celle rappresenta uno degli aspetti più importanti della Lean Manufacturing.

Attraverso questo tipo di produzione si ottengono vantaggi così riassumibili:

- aumento della produttività;
- aumento della velocità di attraversamento, riduzione dei Lead Time;
- aumento della qualità dei prodotti;

- semplificazione della programmazione e controllo produzione e riduzione scorte;
- aumento del coordinamento e comunicazione.

La cella è un'unità di lavoro ben definita e delimitata. La cella ideale permette di produrre il più alto numero di prodotti simili, contenendo tutte le attrezzature e le risorse umane necessarie allo scopo.
Per la realizzazione del prodotto in esame è stata utilizzata la macchina FORMIGA P110 Velocis mostrata in *Figura 33*, una stampante SLS (Selective Laser Sintering) prodotta dall'azienda tedesca EOS.
Come i suoi predecessori, il sistema P 110 Velocis è particolarmente adatto per le aziende che desiderano iniziare a utilizzare la stampa 3D industriale. Il sistema è altamente affidabile e assicura una qualità elevata dei componenti, che ha reso la "qualità Formiga" uno standard sul mercato delle tecnologie di produzione a strati.
Il Formiga P 110 Velocis utilizza direttamente i dati CAD digitali per produrre anche le parti in polimeri più delicate con la massima qualità superficiale, fino a un'altezza massima di costruzione di 330 mm.

Figura 33 Macchina FORMIGA P110 Velocis utilizzata durante il processo di produzione

Inoltre, si è deciso di posizionare all'interno del centro di lavoro rappresentato in *Figura 34* e denominato "Centro Prototipazione" un numero di macchine pari a 3, in modo da poter realizzare simulazione quanto più aderente ad un caso reale di azienda di produzione.

Figura 34 Centro di lavoro dedicato alla prototipazione del prodotto; Source: Odoo website

La prima problematica riscontrata nell'utilizzo della piattaforma si ha proprio nel momento in cui si inseriscono i dati relativi al centro di lavoro e alle rispettive attrezzature che ne fanno parte.
Il software, infatti, non consente di caricare nella scheda della macchina alcun tipo di documento che potrebbe risultare necessario per un corretto svolgimento delle funzioni di produzione, come ad esempio un manuale di istruzioni.
Per tale motivo, è stato deciso di inserire il documento PDF contenente la scheda tecnica della macchina utilizzata all'interno della sezione dei documenti, nella cartella relativa alla produzione, trattandosi di informazioni che, con molta probabilità, vengono consultate dagli addetti alla produzione che si ritrovano a lavorare a diretto contatto con la macchina [*Figura 35*].

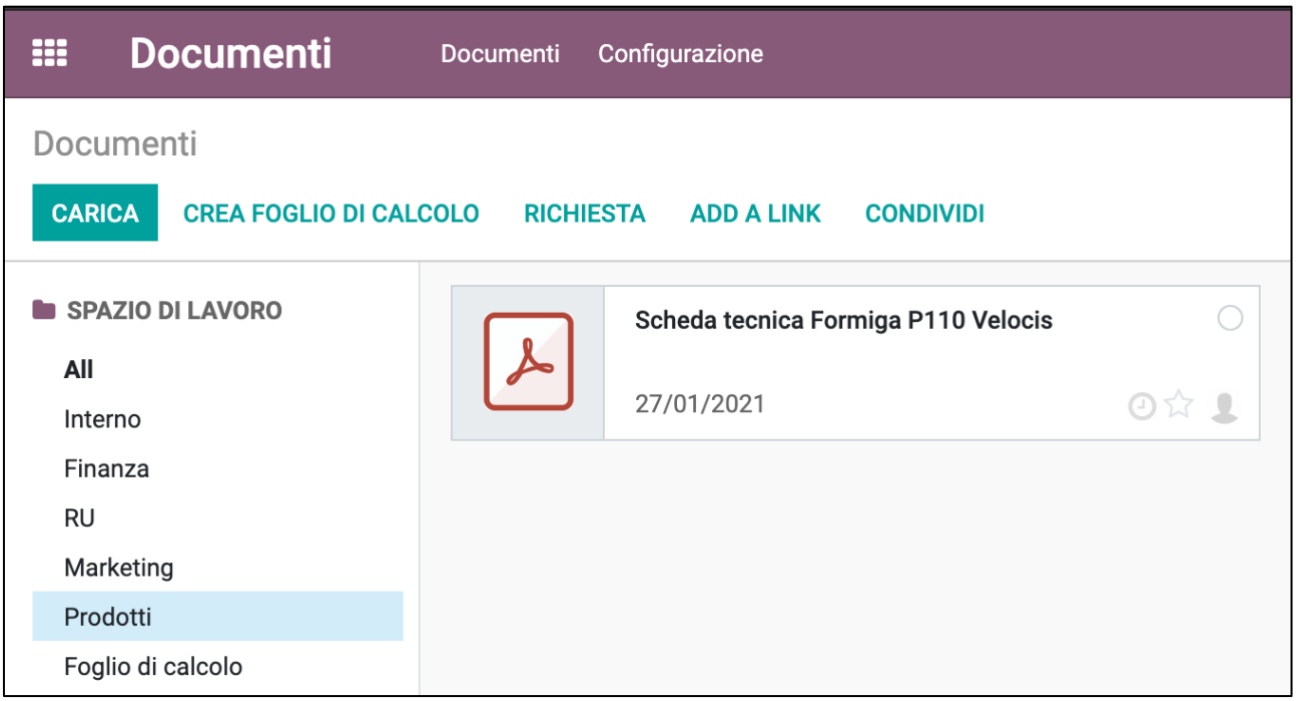


Figura 35 Documentazione scheda tecnica macchina da lavoro; Source: Odoo website

Inoltre, sono stati realizzati altri due centri di lavoro (rappresentati in *Figura 36*) contenenti al loro interno le relative attrezzature: il primo contiene al suo interno attrezzature hardware e software dedicate alla progettazione; il secondo centro è stato invece realizzato per analizzare alcune fasi salienti del processo di sviluppo prodotto, ovvero quelle fasi relative al processo di controllo qualità. Per tale motivo sono stati inseriti all'interno di quest'ultimo centro attrezzature classiche che consentono di svolgere tale tipo di attività, ovvero computer aziendali contenenti il software "Magics" utilizzato in fase di collaudo. Le attrezzature presenti all'interno del centro di lavoro "Centro Prototipazione" sono rappresentate nella *Figura 37*.

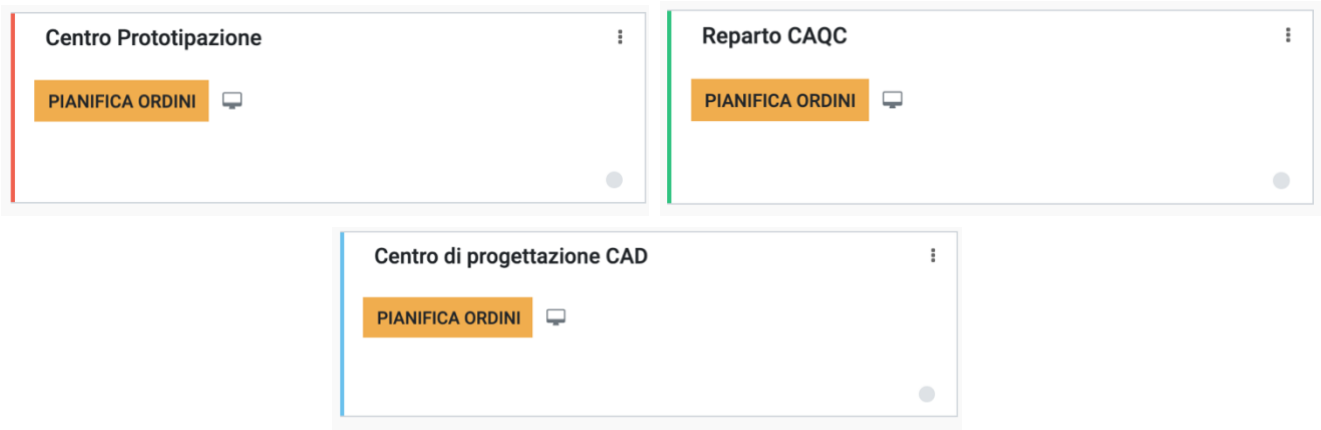


Figura 36 Centri di lavoro dell'azienda fittizia; Source: Odoo website

Figura 37 Attrezzature centro prototipazione; Source: Odoo website

8.5.3 Progettazione prodotto tramite software di CAD 3D

L'acronimo CAD si riferisce sia al Computer Aided Design che al Computer Aided Drafting.

Il primo comprende tutte le funzionalità software in grado di assistere alla progettazione meccanica (sketch bidimensionale dei componenti, modelli tridimensionali, verifiche della cinematica e strutturali, ottimizzazione), mentre il secondo si riferisce al semplice ausilio nel disegno bidimensionale. Tutte le piattaforme di Computer Aided Design contengono quindi un modulo di Drafting, il cui scopo consiste nel velocizzare le attività di disegno automatizzando il più possibile le operazioni necessarie alla sua esecuzione. Le tecniche di Progettazione Assistita al Computer (Computer Aided Design) si inseriscono nello sviluppo dei prodotti offrendo sostegno ed interfaccia alle singole attività che lo compongono [*Figura 38*].

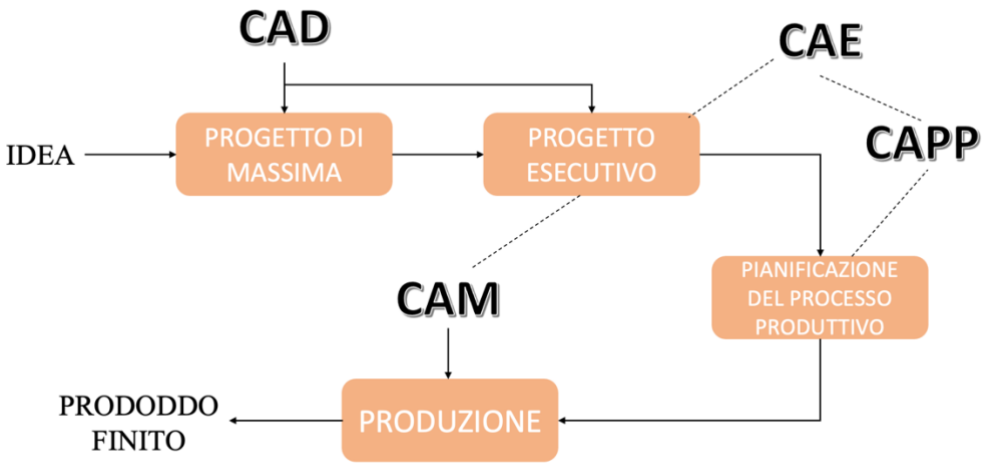


Figura 38 Processo di sviluppo prodotto assistito da calcolatore

Il Computer Aided Engineering (CAE) rappresenta il sistema più moderno e sofisticato di integrazione tra sistemi CAD ed ingegnerizzazione di un prodotto. In esso rientrano le tecniche CAD per il disegno e la progettazione del prodotto, incluse le verifiche strutturali mediante elementi finiti e gli eventuali processi di ottimizzazione, gli strumenti CAPP (Computer Aided Product Planning) per la pianificazione delle attività di produzione per agevolare la flessibilità nell'ambito dei processi produttivi ed ottimizzare tempi e costi, ed il CAM (Computer Aided Manufacturing) per definire automaticamente i percorsi utensili e le lavorazioni necessarie consentendo la massima aderenza possibile al progetto CAD del prodotto.

Grazie all'introduzione di questi strumenti il processo produttivo diviene più rapido ed efficiente perché si automatizzano le operazioni standard, si integrano le conoscenze attraverso l'unificazione degli strumenti di lavoro (creazione di DataBase e protocolli di scambio) e si permette una maggiore sinergia tra i settori coinvolti, nell'ottica di integrare il prima possibile l'analisi dei problemi (simultaneous engineering).

Per la realizzazione del "Digital Twin", ovvero la rappresentazione virtuale dell'entità fisica da generare è stato utilizzato il software di disegno e progettazione tridimensionale parametrica, prodotto e commercializzato dalla Dassault Systèmes: SolidWorks.

Non appena viene ultimata questa fase di progettazione, affinché il modello realizzato nel campo virtuale possa prendere forma ed essere realizzato tramite le tecniche di fabbricazione additiva, risulta necessaria la conversione del file CAD in un formato che risulti leggibile dalla macchina di produzione.

Per questo motivo il file viene trasformato in formato .STL (solid to layer) in modo da approssimare le superfici interne ed esterne del componente con una serie di triangoli aventi dimensioni variabili in funzione della complessità geometrica, con l'obiettivo primario di mantenere costante l'errore cordale.

In un generico flusso di lavoro, nel passaggio da dominio CAD a formato .STL si genera un particolare tipo di errore che può essere risolto automaticamente attraverso l'utilizzo del software Magics: si tratta dell'errore di "faceting", dovuto al fatto che le superfici del componente vengono approssimate da triangoli. È un errore che può essere minimizzato ma che è sempre presente.

Nella *Figura 39* è possibile visualizzare l'analisi completa del software e la diagnostica relativa agli errori presenti nel file.

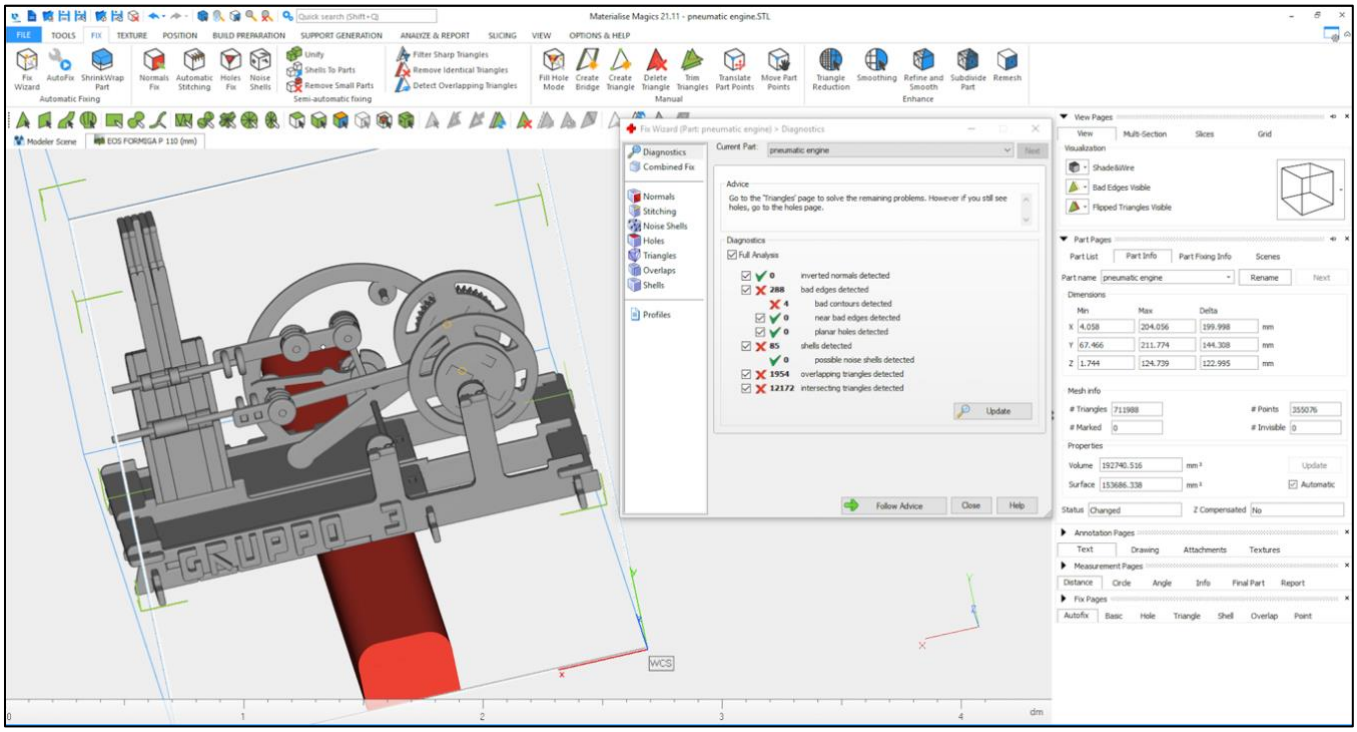


Figura 39 Analisi dei Magic - Error

L'obbiettivo primario del software Magics riguarda l'eliminazione dei triangoli sovrapposti e di quelli intersecanti che si generano durante la fase di progettazione, in modo da poter garantire una corretta produzione del componente.

Nel momento in cui viene completata l'intera fase di progettazione con le relative modifiche di correzione apportate al file .STL, è possibile procedere con la fase di programmazione della produzione e di produzione vera e propria.

Supponendo di dover generare un prodotto totalmente nuovo, la cui realizzazione è stata commissionata da un cliente secondo un approccio Engineer to Order, un primo stadio vedrà la creazione di un prototipo che sarà sottoposto a verifiche virtuali, superate le quali sarà possibile dare vita al componente finale.

Il primo passo da eseguire riguarda l'acquisto dei materiali che sono necessari per la realizzazione del componente.

Dal momento che il processo di Selective Laser Sintering rientra tra le tecniche di additive manufacturing che richiedono l'utilizzo di un solo componente sotto forma di polvere, l'unico acquisto che deve essere effettuato riguarda proprio il materiale di cui sarà composto sia il prototipo che il prodotto finito.

Nella piattaforma Odoo, il prototipo del prodotto è stato considerato come un elemento separato rispetto al prodotto finale in modo da poter circoscrivere la funzionalità del prototipo alla sola fase di analisi qualitativa.

Nel momento in cui le caratteristiche del prototipo risultano adeguate ad un'effettiva realizzazione definitiva, allora verrà generato il prodotto vero e proprio da vendere sul mercato.

Per la realizzazione del componente è stato utilizzato il "Poliammide 12 - PA 2200" della casa produttrice EOS. La polvere di poliammide 12 bianca, nota anche come nylon, è il materiale più testato sul mercato per la produzione additiva. Le parti in nylon sono robuste, stabili per lunghi periodi di tempo, chimicamente resistenti ed estremamente versatili.

I materiali EOS a base di poliammide 12 sono un'alternativa a materiali come l'ABS o il PA6 che hanno dimostrato il loro valore nello stampaggio a iniezione.

8.5.4 Distinta base

Dal momento che il software valuta come indipendenti gli item relativi al prodotto finito e ai semilavorati che lo compongono, è stato necessario creare delle schede prodotto sia per il componente [*Figura 40*] che per i singoli assiemi. Il numero di assiemi che compongono il prodotto è pari a nove, ma durante una prima fase di "assemblaggio virtuale" attuata su Solidworks, il numero di assiemi è stato ridotto a 3.

Così come il componente, anche i singoli assiemi che ne fanno parte e il materiale che è stato utilizzato per la loro realizzazione devono essere inseriti all'interno del dominio "Prodotti" in modo da poter gestire in modo efficace la distinta base.

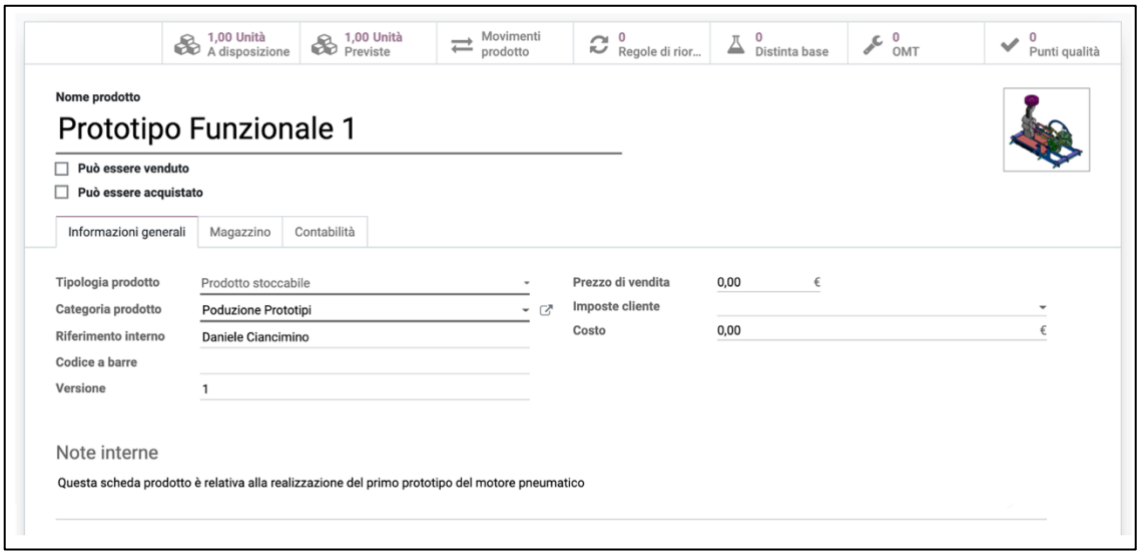


Figura 40 Scheda prodotto "Prototipo Funzionale 1" ; Source: Odoo website

Dunque, nella *Figura 41* sono rappresentate, in miniatura, le schede prodotto degli assiemi e del materiale.

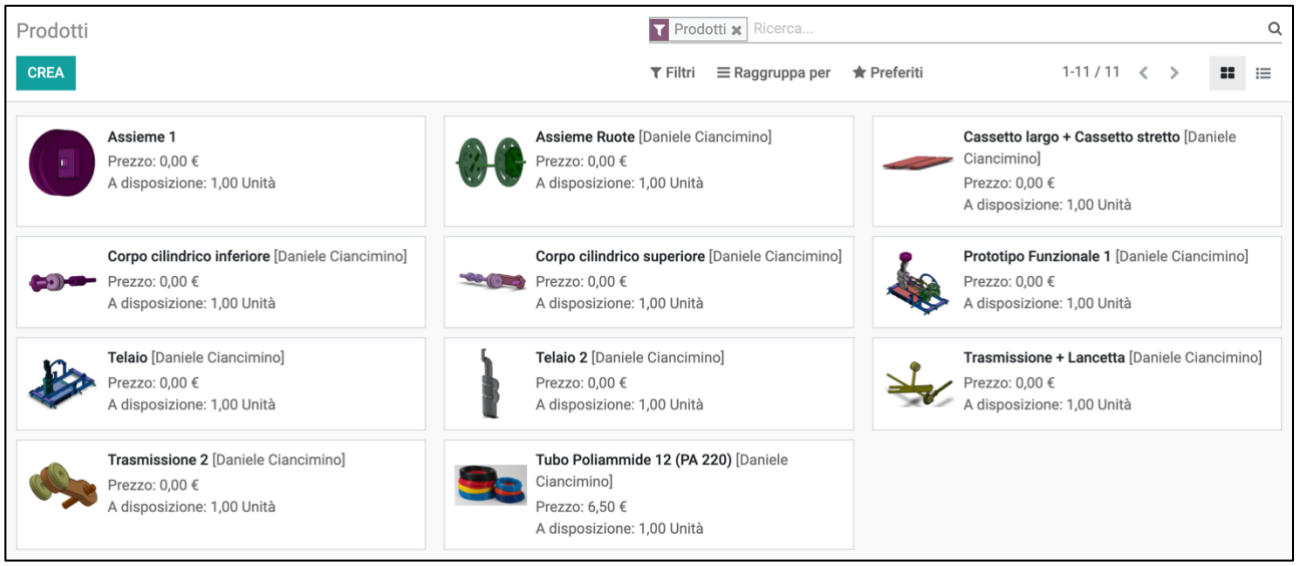
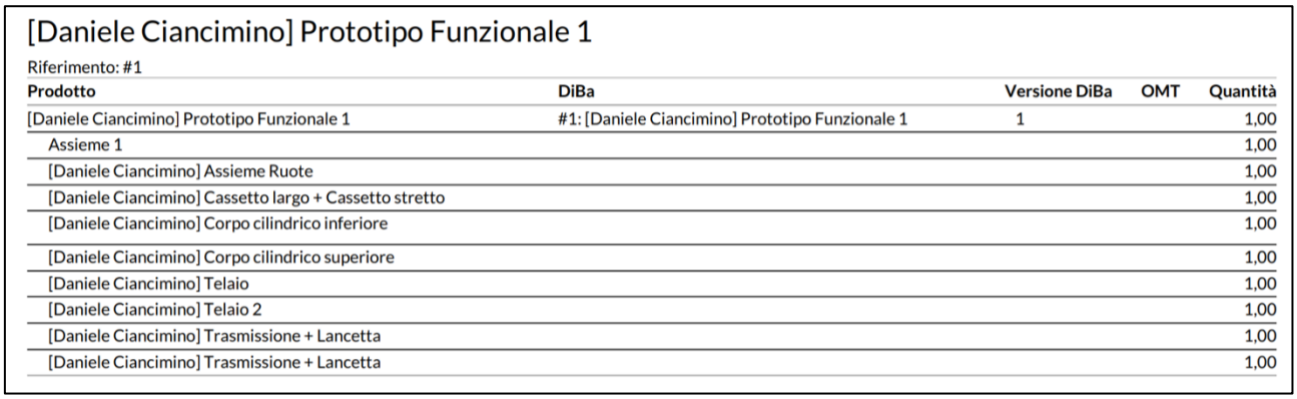


Figura 41 Schede prodotto di assiemi e materiale; Source: Odoo website

Come è possibile notare dall'immagine precedente, l'unica scheda prodotto in cui viene indicato il costo è quella relativa al tubo di Poliammide 12, acquistato esternamente per poter effettuare la lavorazione di Selective Laser Sintering.

Il valore del prezzo di acquisto specifico è stato ricavato attraverso un'analisi della quantità richiesta per la realizzazione dell'intero componente, considerando che il materiale viene venduto per 63 €/Kg.

Dopo aver inserito tutte le schede prodotto, la piattaforma consente di esportare la distinta base, come mostrato in *Figura 42*.



[Daniele Ciancimino] Prototipo Funzionale 1

Riferimento: #1

Prodotto	DiBa	Versione DiBa	OMT	Quantità
[Daniele Ciancimino] Prototipo Funzionale 1	#1: [Daniele Ciancimino] Prototipo Funzionale 1	1		1,00
Assieme 1				1,00
[Daniele Ciancimino] Assieme Ruote				1,00
[Daniele Ciancimino] Cassetto largo + Cassetto stretto				1,00
[Daniele Ciancimino] Corpo cilindrico inferiore				1,00
[Daniele Ciancimino] Corpo cilindrico superiore				1,00
[Daniele Ciancimino] Telaio				1,00
[Daniele Ciancimino] Telaio 2				1,00
[Daniele Ciancimino] Trasmissione + Lancetta				1,00
[Daniele Ciancimino] Trasmissione + Lancetta				1,00

Figura 42 Distinta base Prototipo Funzionale; Source: Odoo website

Uno dei principali limiti legati a questa sezione della piattaforma Odoo riguarda la localizzazione fisica della materia prima stoccata in magazzino. L'applicazione del magazzino non consente infatti di inserire informazioni riguardo il posizionamento specifico di un elemento acquistato (corridoio, scaffale).

8.5.5 Regole di riordino sui prodotti, ordini di acquisto e creazione di fatture

Per essere sicuri di non rimanere mai a corto di scorte, è possibile definire delle regole di riordino sui prodotti. Grazie ad esse, Odoo può agevolare le aziende a rifornire automaticamente il loro stock quando raggiunge le quantità stabilite o quando viene creato un ordine di vendita.
Per fare ciò bisognerà configurare il prodotto da sottoporre alle regole di riordino come "prodotto stoccabile". Nell'esempio di *Figura 43* viene mostrata la scheda del materiale impiegato per la realizzazione del prodotto, categorizzato come stoccabile in modo da poter generare una regola di riordino.

Figura 43 Tipologia di prodotto stoccabile per generazione di regole di riordino

Dato che si sta acquistando questo prodotto da un fornitore, bisogna aprire la scheda acquisto del prodotto e aggiungere un fornitore cliccando su "Aggiungi una riga". È possibile aggiungere più fornitori, ma bisogna stare attenti ad ordinarli correttamente, poiché le regole di riordino usano sempre il primo fornitore della lista [*Figura 44*].
È possibile aggiungere un prezzo, ma non è necessario perché la regola di riordino funzioni.
Inoltre, la piattaforma consente di aggiungere una quantità minima che si deve ordinare per beneficiare di quel prezzo.

Se la quantità che Odoo deve riordinare non corrisponde alla quantità minima specificata, Odoo seleziona il fornitore successivo nella lista. Se non sono presenti altri fornitori nella lista, la regola di riordino non funzionerà. A tal fine, risulta possibile aggiungere lo stesso fornitore più volte con prezzi diversi per quantità diverse.

Figura 44 Inserimento fornitore materia prima

Dunque, è possibile procedere con la creazione delle regole di riordino. È possibile accedere e creare regole di riordino da Magazzino ‣ Operazioni ‣ Rifornimento.

Per default, la vista di rifornimento presenta un riassunto di tutti i prodotti che si potrebbe aver bisogno di acquistare per soddisfare gli ordini di vendita. Da lì, è possibile chiedere a Odoo con un solo click di ordinare un prodotto una volta sola o automatizzare tutti gli ordini per quel prodotto, ordini futuri inclusi.

La piattaforma Odoo permette di impostare una quantità minima che il magazzino dovrebbe sempre avere a disposizione. Una volta impostata, se lo stock scende al di sotto della quantità minima, viene automaticamente generata una richiesta di acquisto per raggiungere quella quantità minima, più qualsiasi quantità aggiuntiva necessaria per riempire un ordine di vendita per esempio.

Se viene impostata una quantità massima, ogni volta che il prodotto deve essere rifornito, vengono riordinati abbastanza prodotti per raggiungere quella quantità specifica.

Se invece si vuole ordinare solo l'esatta quantità necessaria per riempire un ordine di vendita, per esempio, bisogna impostare sia la quantità minima che quella massima a zero. La quantità indicata nell'ordine di vendita viene poi utilizzata dalla regola di riordino.

Si può anche aggiungere una quantità multipla per ordinare solo prodotti in lotti di una certa quantità; in tal caso bisogna cliccare sul menu a tendina delle colonne opzionali e selezionare "Quantità multipla". Occorre tenere presente che si potrebbe superare la quantità massima impostata se la regola include un multiplo di quantità, poiché Odoo ordina abbastanza prodotti per raggiungere la quantità massima e rispettare il multiplo di quantità impostato.

La *Figura 45* mostra la regola di riordino stabilita per la gestione del materiale "Poliammide 12": è stata impostata una quantità minima di 0,5Kg e una quantità massima di 2Kg.

Figura 45 Regola di riordino

Stabilite le regole di riordino per la materia prima acquistata esternamente, si può passare alla fase di creazione degli ordini di acquisto. Per fare ciò bisogna accedere alla sezione "Acquisti" della piattaforma e creare una richiesta di preventivo (RdP).

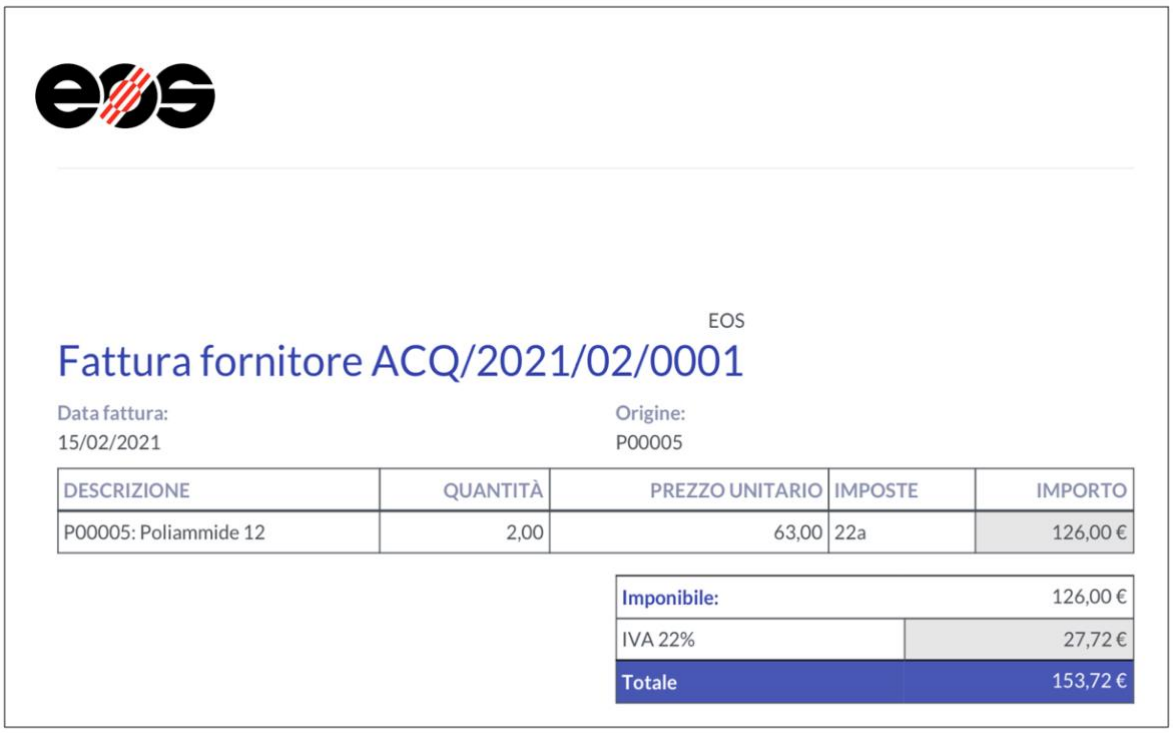
Nella pagina principale di tale sezione è possibile avere una panoramica degli ordini di acquisto generati dall'azienda, i quali possono essere filtrati in termini di:

- Utente di riferimento: solitamente si tratta del responsabile dell'area acquisti;
- Fornitore;
- Riferimento: si tratta di un codice univoco identificativo dello specifico ordine di acquisto;
- Data di scadenza dell'ordine;
- Ammontare totale: si tratta del costo totale legato all'acquisto;
- Stato dell'ordine: si può trattare di una richiesta di prelievo non ancora confermata oppure di un ordine di acquisto già confermato.

Cliccando sul tasto di creazione di una nuova richiesta di preventivo è possibile inserire tutti i dati relativi ad una specifica richiesta di acquisto, in modo da visualizzare successivamente l'anteprima della fattura associata a quella richiesta.

Nel caso preso in esame, è stata creata una richiesta di prelievo del materiale da utilizzare per la realizzazione del prodotto (Poliammide 12).

Nel momento in cui la richiesta di prelievo viene confermata, questa diventa un ordine di acquisto vero e proprio, al quale viene associata la fattura del fornitore [*Figura 46*].



EOS

Fattura fornitore ACQ/2021/02/0001

Data fattura: 15/02/2021

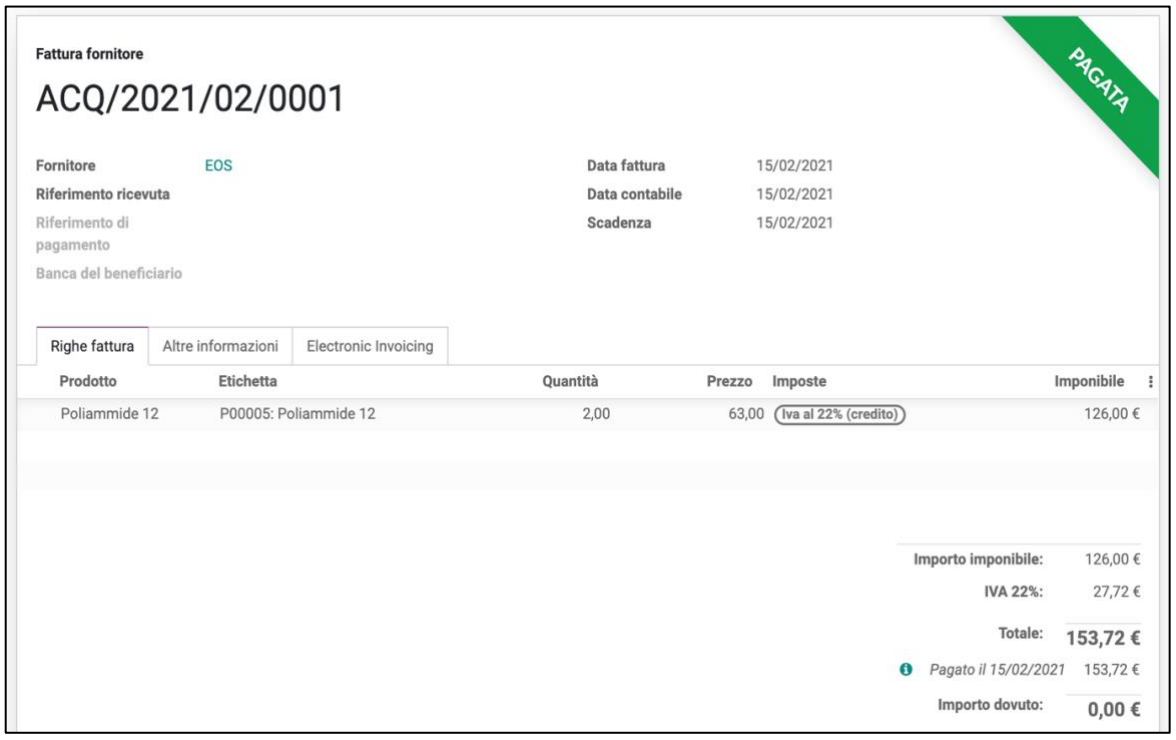
Origine: P00005

DESCRIZIONE	QUANTITÀ	PREZZO UNITARIO	IMPOSTE	IMPORTO
P00005: Poliammide 12	2,00	63,00	22a	126,00 €

Imponibile:	126,00 €
IVA 22%	27,72 €
Totale	153,72 €

Figura 46 Fattura fornitore associata ad una richiesta di prelievo

Tale fattura verrà contrassegnata dall'etichetta "Pagata" nel momento in cui il fornitore trasmette al sistema l'informazione relativa all'effettiva ricezione del denaro [*Figura 47*].



Fattura fornitore

ACQ/2021/02/0001

PAGATA

Fornitore EOS

Riferimento ricevuta

Riferimento di pagamento

Banca del beneficiario

Data fattura 15/02/2021

Data contabile 15/02/2021

Scadenza 15/02/2021

Righe fattura | Altre informazioni | Electronic Invoicing

Prodotto	Etichetta	Quantità	Prezzo	Imposte	Imponibile
Poliammide 12	P00005: Poliammide 12	2,00	63,00	Iva al 22% (credito)	126,00 €

Importo imponibile: 126,00 €

IVA 22%: 27,72 €

Totale: 153,72 €

Pagato il 15/02/2021 153,72 €

Importo dovuto: 0,00 €

Figura 47 Schermata della fattura pagata

La procedura di convalida della richiesta di prelievo è impostata per chiedere l'approvazione di qualcuno con permessi di accesso adeguati. In questo caso, in assenza di una realtà aziendale parallela che rivestisse la figura di cliente, è stato utilizzato l'account principale per convalidare e rendere effettivo l'ordine di acquisto.
Se una generica azienda acquista regolarmente dei prodotti, ci sono diverse ragioni per tracciare e analizzare le prestazioni. Le intuizioni raccolte possono aiutare a prevedere e pianificare meglio gli ordini futuri. Per esempio, si può valutare se il business dipende da particolari fornitori, e i dati possono aiutare a negoziare sconti sui prezzi.
La piattaforma Odoo permette di generare rapporti personalizzati: per ottenere un'analisi degli acquisti è sufficiente accedere alla sezione di rendicontazione. In questo modo risulta possibile avere una rapida panoramica delle prestazioni effettive.
Odoo offre diversi filtri predefiniti che possono essere combinati. Quando si selezionano più filtri, Odoo cerca tutti gli ordini che corrispondono ad almeno uno dei filtri scelti e popola il grafico, le metriche chiave e la tabella pivot con i dati. I filtri principali sono:

- Tutte le richieste di preventivo;
- Tutti gli ordini di acquisto, tranne quelli annullati;
- Order Date: include tutti gli ordini - richieste di preventivo e ordini di acquisto (inclusi quelli annullati) - in base alla loro data di creazione;
- Confirmation Date include tutti gli ordini confermati, inclusi quelli annullati, a seconda della loro data di conferma.

Grazie alle 31 opzioni di filtraggio tra cui scegliere e alla possibilità di creare filtri personalizzati secondo le proprie esigenze, le opzioni di personalizzazione del proprio set di dati sono quasi illimitate. Prima di selezionare ciò che si vuole misurare, è necessario decidere se si preferisce utilizzare la vista grafico o la vista pivot. Per impostazione predefinita, il dashboard presenta entrambe le viste. Tuttavia, le misure selezionate non saranno applicate a entrambe le viste. È possibile accedere a ciascuna vista separatamente cliccando sulle icone in alto a destra della pagina [Figura 48].
È possibile trasformare il grafico principale con un solo clic selezionando uno dei tre grafici: a barre, a linee o a torta. Sono disponibili quattordici misure diverse, ma è possibile utilizzarne solo una alla volta. Tuttavia, è possibile raggruppare le diverse misure utilizzando uno o più dei 19 gruppi [Figura 49].

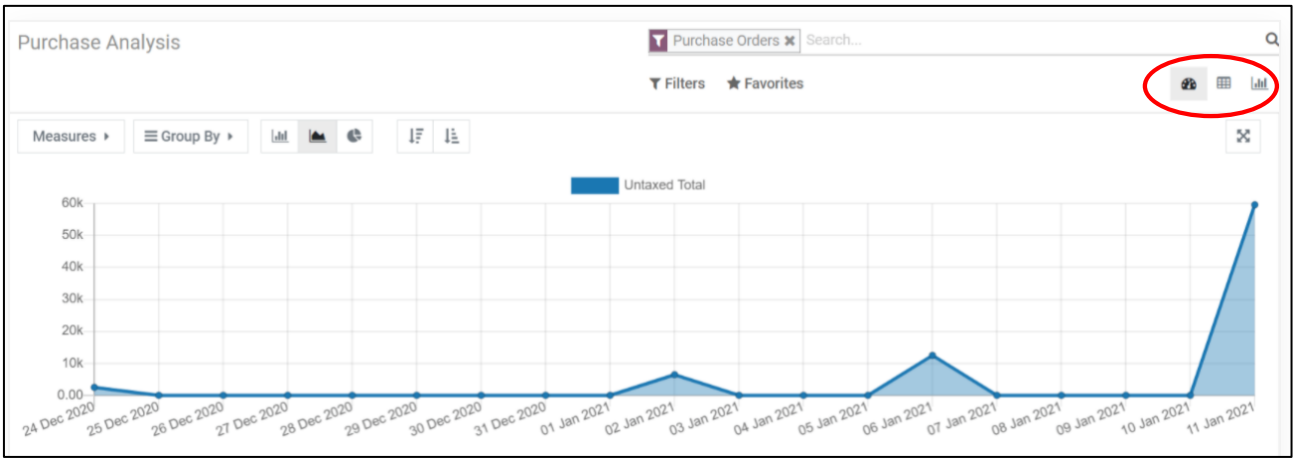


Figura 48 Generazione di rapporti personalizzati

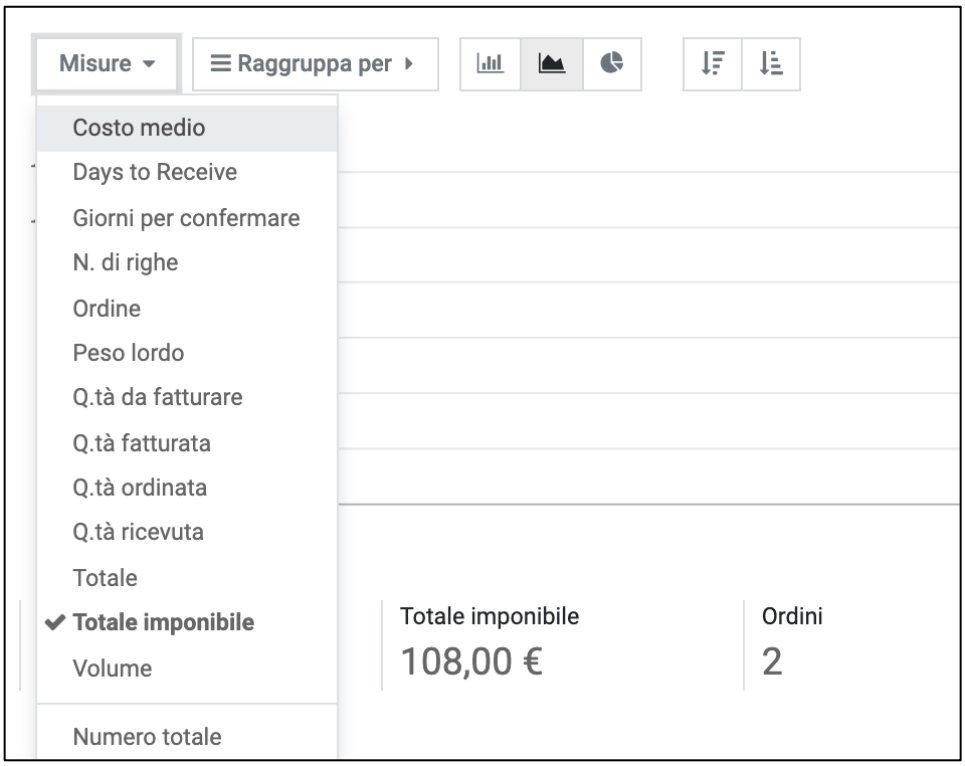


Figura 49 Visualizzazione dei dati di acquisto

La vista tabella pivot permette di esplorare i dati in grande dettaglio. A differenza della vista grafico, la tabella pivot permette di aggiungere diverse misure allo stesso tempo. Cliccando su Misure o sul segno + nella colonna Totale, è possibile aggiungere tutte le misure che si desidera, ognuna assegnata ad una nuova colonna. Cliccando sul segno + nella riga Totale, è possibile aggiungere Gruppi. Cliccando sul segno + di un gruppo, si può aggiungere un sottogruppo, e così via.

8.5.6 Registrazioni contabili

Odoo crea automaticamente tutte le voci di bilancio per ogni transazione contabile: fatture dei clienti, ordine del punto vendita, spese, movimenti di inventario, ecc.
Odoo utilizza le regole della contabilità a partita doppia: tutte le voci del registro sono automaticamente bilanciate (somma dei debiti = somma dei crediti).
Odoo supporta sia il reporting per competenza che per cassa. Questo permette di segnalare entrate/spese nel momento in cui le transazioni si verificano (cioè, base di competenza), o quando il pagamento è fatto o ricevuto (cioè, base di cassa).
Odoo permette di gestire diverse aziende all'interno dello stesso database. Ogni azienda ha il suo piano contabile e le sue regole. È possibile ottenere rapporti di consolidamento secondo le proprie regole di consolidamento.
Gli utenti possono accedere a diverse aziende, ma lavorano sempre in un'azienda alla volta.
Ogni transazione è registrata nella valuta predefinita dell'azienda. Per le transazioni che avvengono in un'altra valuta, Odoo memorizza sia il valore nella valuta dell'azienda che il valore nella valuta della transazione.
I tassi di valuta sono aggiornati una volta al giorno usando un servizio web online di yahoo.com.
La contabilità di Odoo supporta più di 50 paesi. La contabilità di base della piattaforma implementa norme contabili che sono comuni a tutti i paesi. Esistono moduli dedicati per paese per le specificità come il piano dei conti, le tasse, o le interfacce bancarie.
In particolare, il motore contabile di base di Odoo supporta:

- Contabilità anglosassone (Stati Uniti, Regno Unito, e altri paesi di lingua inglese tra cui Irlanda, Canada, Australia e Nuova Zelanda) dove i costi dei beni venduti sono riportati quando i prodotti sono venduti/consegnati.
- Contabilità europea dove le spese sono contabilizzate alla fattura del fornitore.

In Odoo, è possibile generare rapporti finanziari in tempo reale. I rapporti di Odoo vanno dai rapporti contabili di base ai rapporti di gestione avanzati. Tali rapporti includono:

- Rapporti di performance (come profitti e perdite, variazioni di bilancio)
- Rapporti di posizione (come Bilancio, Debiti maturati, Crediti maturati)
- Rapporti di cassa (come il riepilogo della banca)
- Rapporti di dettaglio (come Trial Balance)
- Rapporti di gestione (come bilanci, riepilogo esecutivo)

8.5.7 Pianificazione del processo di produzione

La piattaforma Odoo, in termini di progettazione dei processi, consente di elaborare una schedulazione delle attività che interessano i singoli dipendenti all'interno dei bucket temporali stabiliti (giorno, settimana, mese, ecc.). Questa funzione consente di avere una chiara visione di come le risorse umane, e di conseguenza le attrezzature utilizzate, vengano adoperate all'interno dell'azienda.

Inoltre, nel momento in cui si genera la distinta base dell'elemento da sottoporre a produzione e si riceve il materiale ordinato, il sistema consente di specificare all'interno della scheda di prodotto le specifiche delle operazioni che devono essere svolte per poter dare origine all'elemento e le relative sotto – fasi.

Nel caso specifico, la tecnica di fabbricazione utilizzata è la SLS, che è possibile scomporre nei cinque processi mostrati in *Figura 50.*

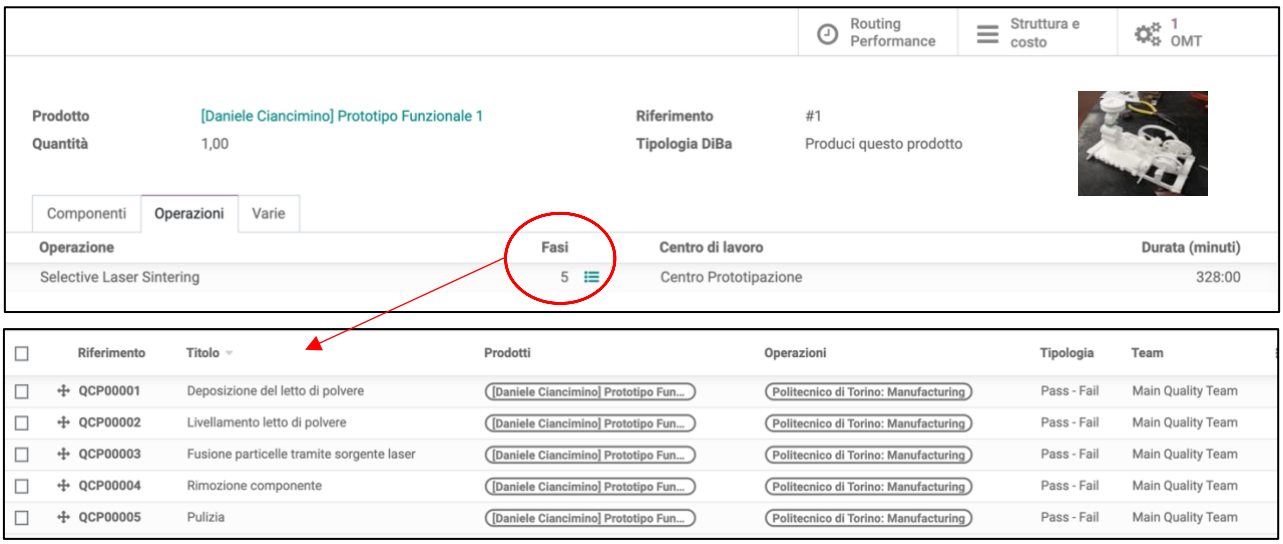


Figura 50 Processi di realizzazione della SLS; Source: Odoo website

Terminata la fase di produzione tramite fabbricazione additiva, è stata effettuata l'operazione di verniciatura del componente [*Figura 51*].

Figura 51 Processo di verniciatura del componente

È importante notare come la piattaforma Odoo non solo richieda la generazione delle schede dei prodotti, ma anche delle materie prime e dei semilavorati in modo tale da poter specificare quali elementi sono coinvolti durante uno specifico processo di produzione.
Nel caso analizzato precedentemente, nel primo processo di produzione (realizzazione del prototipo funzionale tramite tecnica di fabbricazione additiva SLS) i componenti interessati risultano essere tutti i sotto – assiemi del prodotto finale e il materiale che è stato adoperato per la realizzazione.
Una volta terminata questa prima fase del processo, si ottiene un semilavorato che deve ancora essere sottoposto alle operazioni di finitura [*Figura 52*].

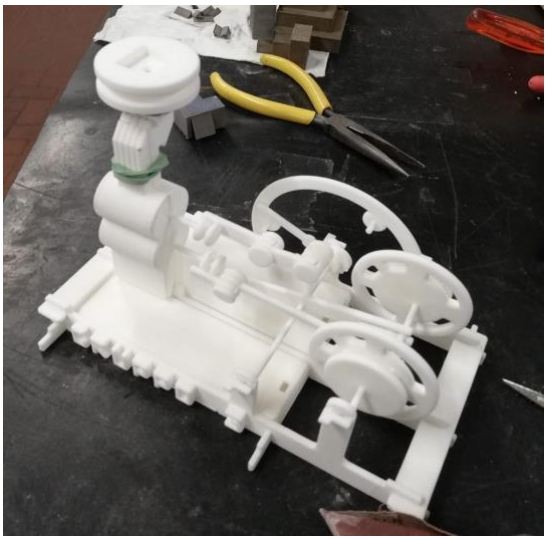


Figura 52 Immagine del semilavorato ottenuto dopo il processo di SLS

La scheda prodotto "Prototipo Funzionale 1" è dunque relativa ad un semilavorato non ancora finito. Affinché si possa parlare di prototipo definitivo bisogna effettuare la seconda fase del processo di produzione, ovvero la fase di finitura che prevede la verniciatura del componente.
In questo caso, inserendo nel database di Odoo la nuova scheda dell'operazione da effettuare [Figura 53], il componente da cui si partirà sarà il componente ottenuto al termine del primo processo di lavorazione (ovvero il Prototipo Funzionale 1) e come output si avrà il Prototipo Funzionale 1 verniciato [*Figura 54*].

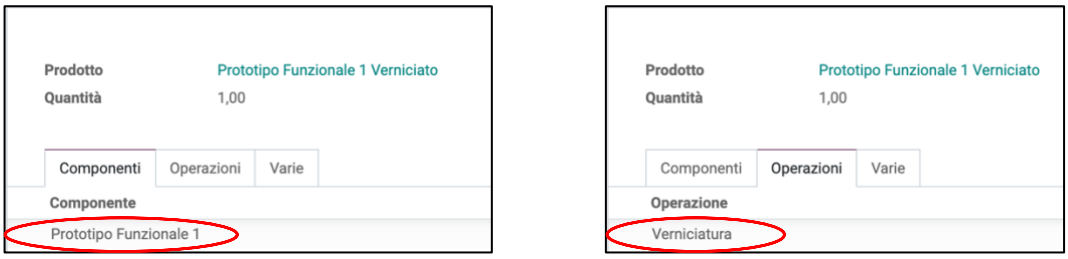


Figura 53 Componenti e Operazioni per la realizzazione del Prototipo Verniciato

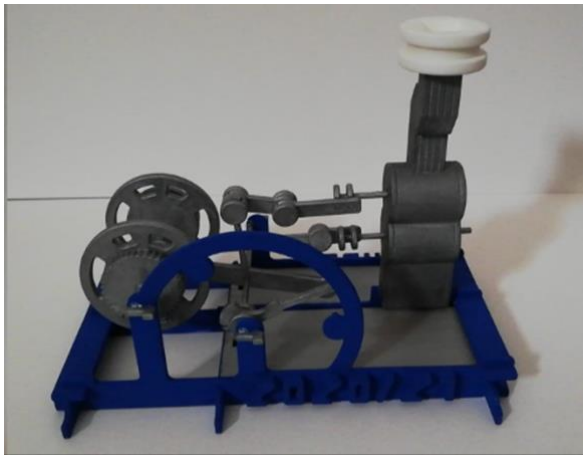


Figura 54 Immagine Prototipo Funzionale Verniciato

A questo punto della simulazione entra in gioco la funzionalità dell'applicativo MES, che consente di registrare, già in fase di programmazione della produzione, le condizioni teoriche di processo, come ad esempio la durata dell'attività.

Come è possibile notare dalla figura precedente, per l'operazione di Selective Laser Sintering è prevista una durata di circa 5 ore e 30 minuti. Questo valore non è affatto casuale ma è il frutto di un'analisi approfondita realizzata sul software Magics.

Prima di poter procedere con l'effettiva fase di produzione, il software precedentemente nominato consente di importare l'ambiente macchina [*Figura 55*], orientando gli assiemi del componente virtuale nella camera di lavoro in cui dovranno essere lavorati.

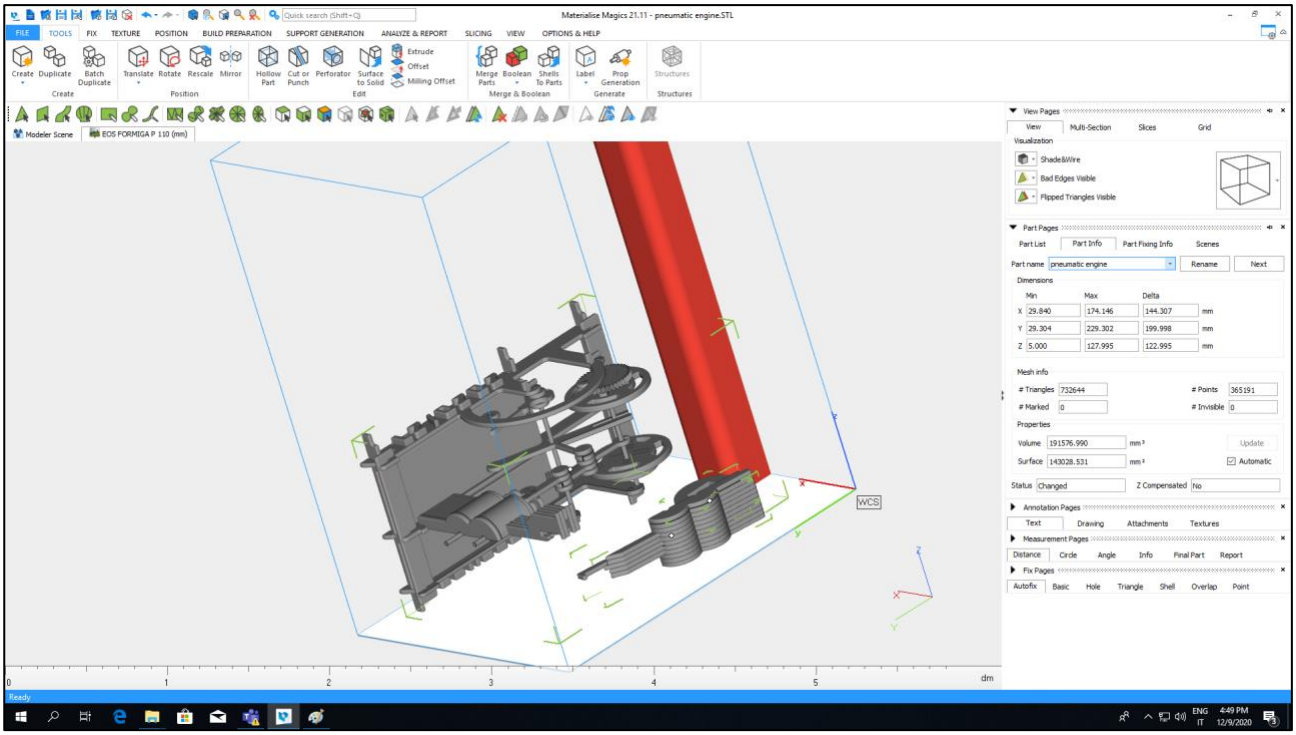


Figura 55 Utilizzo del Software Magics per l'orientamento degli assiemi nella camera di lavoro

Segue quindi la fase di “RP Tools Slice”: si carica su un software sempre di proprietà EOS (rp tools) il file salvato in formato .STL su Magics e contenente tutti i pezzi caricati nel volume di lavoro (nel caso specifico 3).

In questa fase ci si occupa della scelta della macchina da lavoro e, di conseguenza, del materiale (polimero o metallo) che verrà utilizzato per effettuare la realizzazione del componente riprogettato.

Il software ha il compito di “affettare”, secondo la logica di slicing, il componente in vari strati di spessore preimpostato e di segnalare eventuali errori presenti all’interno del file.

Una volta completata la fase di rp tools slice, si continua con la psw – laser.

In questa fase viene condotta un’analisi approfondita su ogni strato del componente, verificando se ci sono i giochi corretti tra i vari assiemi e se sono presenti delle interferenze all’interno dello stesso job.

Viene quindi scelto il tipo di esposizione del laser (tutto pieno dove è presente la sezione, come nel caso oggetto d’esame, oppure con trama, con spigoli arrotondati, ecc.).

È proprio in questo stadio del processo che risulta possibile verificare la durata dell’intera realizzazione del componente [*Figura 56*].

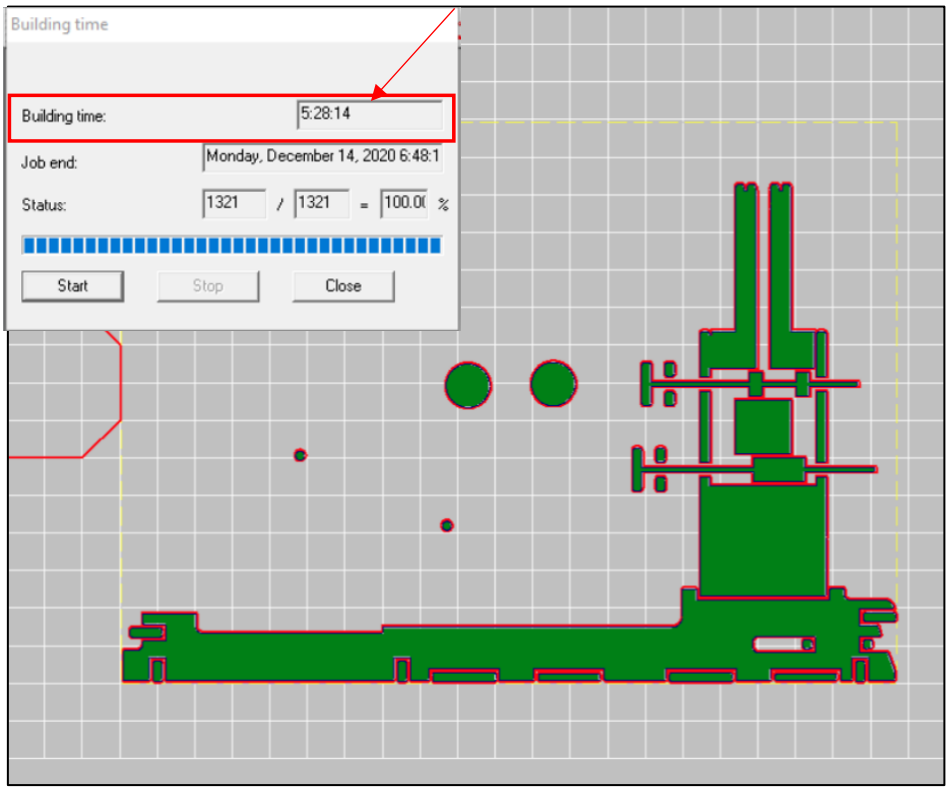


Figura 56 Utilizzo del Software Magics per la fase di PSW Laser e valutazione del tempo di lavorazione per la realizzazione del componente

Una caratteristica peculiare dell'applicativo MES riguarda la possibilità di caricare all'interno della scheda di ogni singola operazione realizzata durante il processo di produzione, oppure all'interno di ogni assieme della distinta base, determinati documenti che possano risultare necessari.
Nello specifico è possibile caricare file in formato PDF, file di testo o presentazioni di slide generate su Google.
Nella *Figura 57*, ad esempio, è stata riportata una generica scheda di un'operazione contenente una guida di corretta esecuzione in formato PDF.

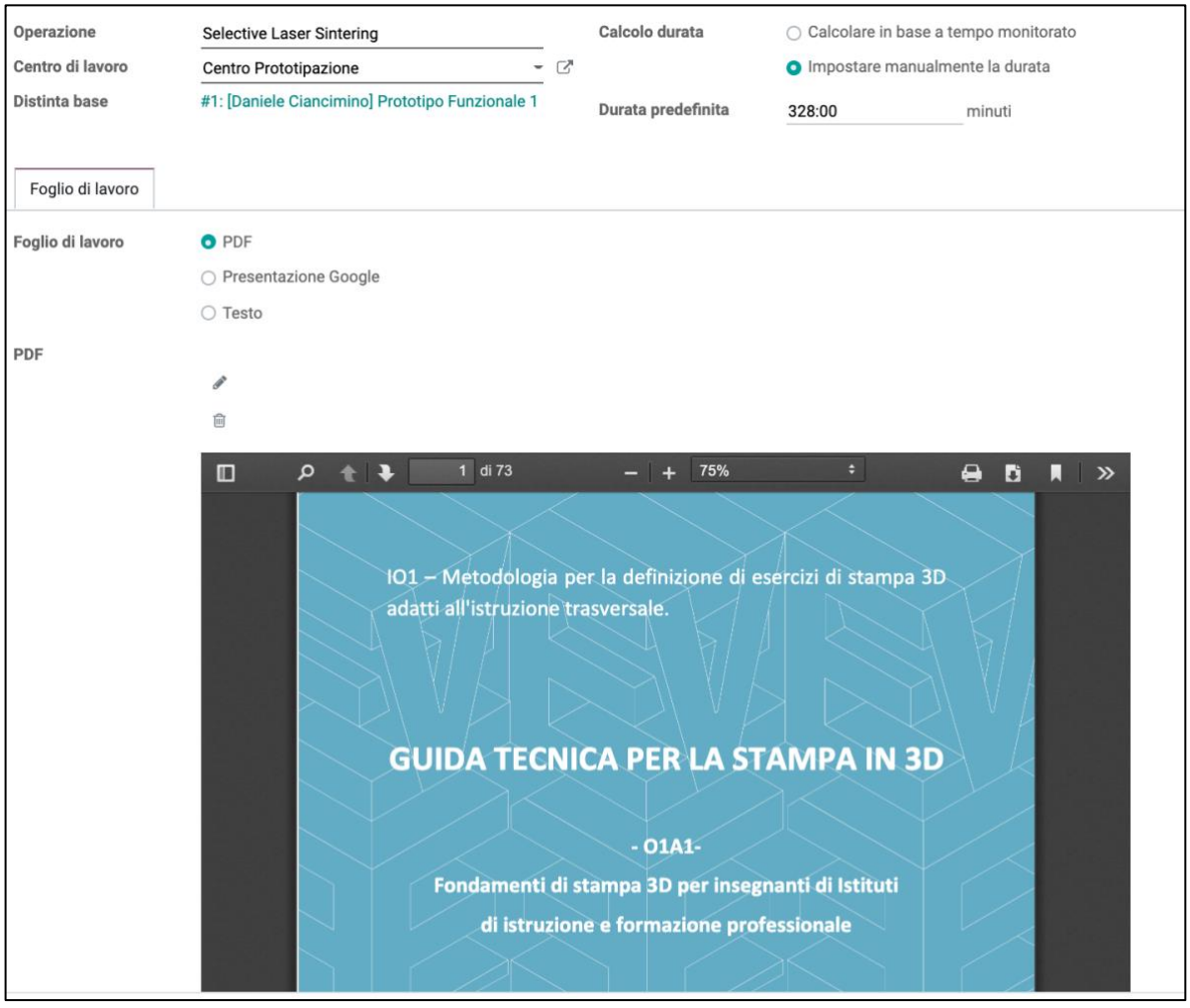


Figura 57 Esempio di una scheda "Operazione" con relativa guida in formato PDF

Una volta che sono state inserite tutte le informazioni riguardanti il processo di produzione è possibile schedulare le attività che devono essere svolte dai singoli dipendenti in modo da poter organizzare l'intero intervallo di tempo che si ha a disposizione in bucket temporali dedicati allo svolgimento di specifiche funzioni.

Nella *Figura 58* viene mostrata la schedulazione delle attività presenti all'interno di una generica settimana di lavoro finalizzate al completamento del progetto di realizzazione del Prototipo Funzionale 1.

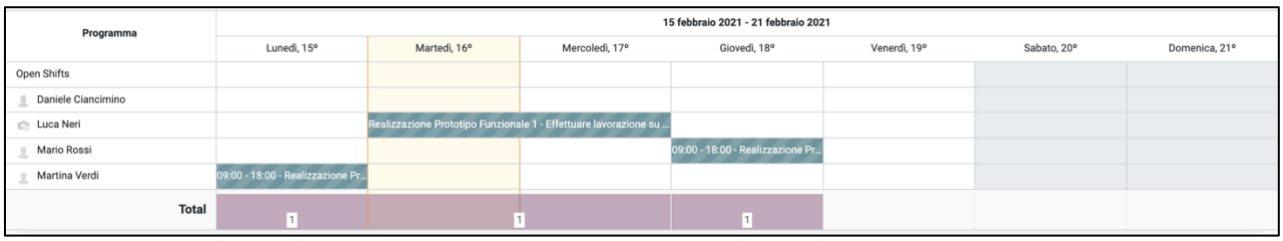


Figura 58 Schedulazione delle attività di progetto

Posizionando il cursore al di sopra delle singole attività è possibile ottenere le informazioni dettagliate sul tipo di mansione svolta [*Figura 59*].

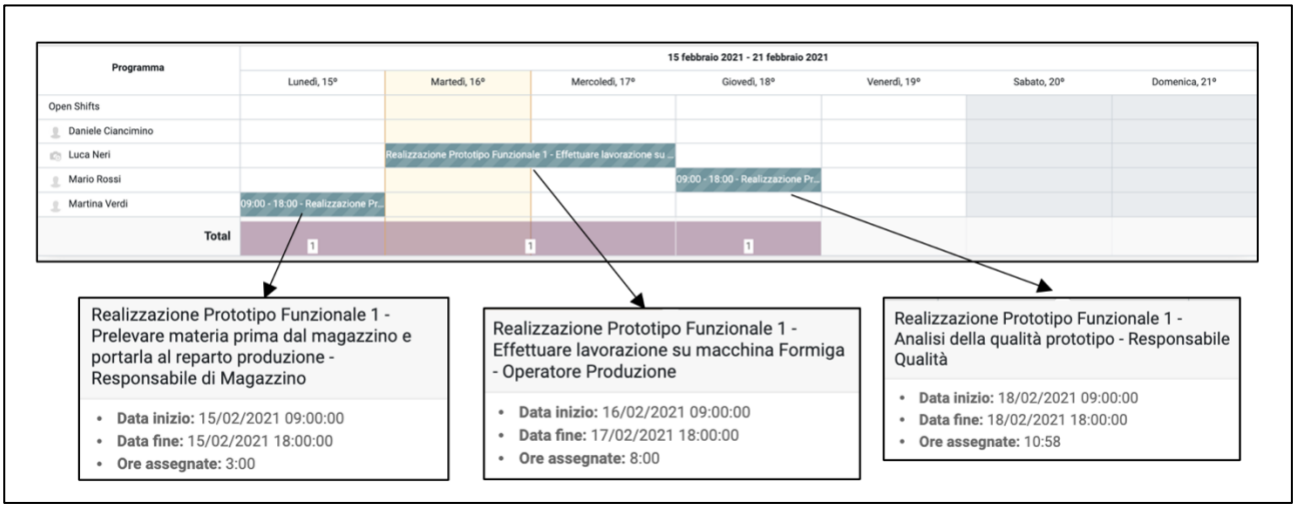


Figura 59 Dettagli attività schedulate

8.5.8 Creazione degli ordini di produzione e gestione dei processi di manutenzione

Tutte le informazioni e i dati che sono stati inseriti fino a questo momento all'interno della piattaforma consentono di dare inizio al processo vero e proprio di produzione. Il primo passo da eseguire riguarda la generazione dell'ordine di lavoro noto anche come ordine di produzione (Manufacturing Order). Una generica scheda di MO presenta al suo interno le seguenti informazioni:

- Nome del prodotto che deve essere realizzato;
- Quantità di item da produrre;
- Distinta base associata al prodotto con annessa lista dei componenti che sono richiesti per la realizzazione del prodotto finito;
- Data programmata di avvio della produzione

- Responsabile della produzione

Nel momento in cui si genera l'ordine di lavoro, i componenti necessari alla produzione saranno contrassegnati dall'etichetta "Non Disponibile" nel caso in cui la quantità presente in magazzino non è sufficiente [*Figura 60*], e dall'etichetta "Disponibile nel momento in cui il magazzino materie prime presenta al suo interno la quantità necessaria allo svolgimento della lavorazione [*Figura 61*].

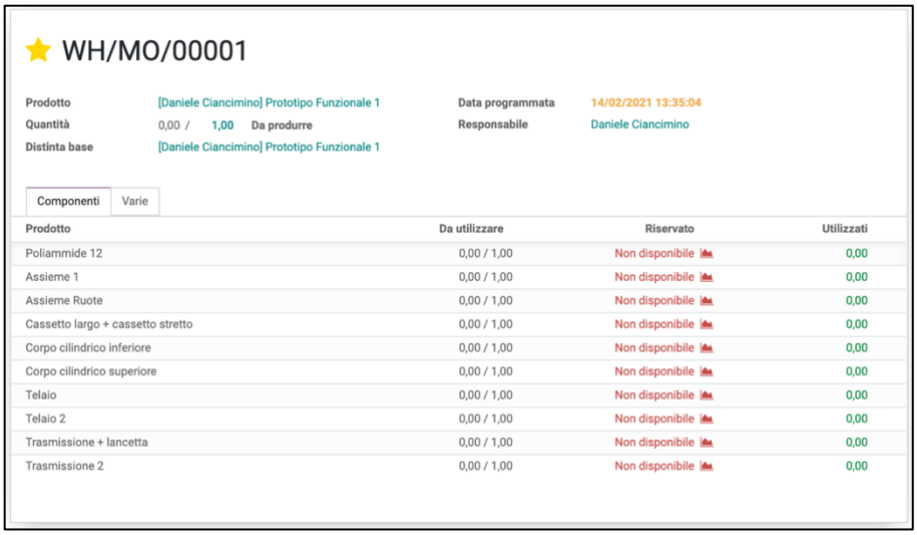


Figura 60 Scheda dell'ordine di lavorazione con componenti non disponibili

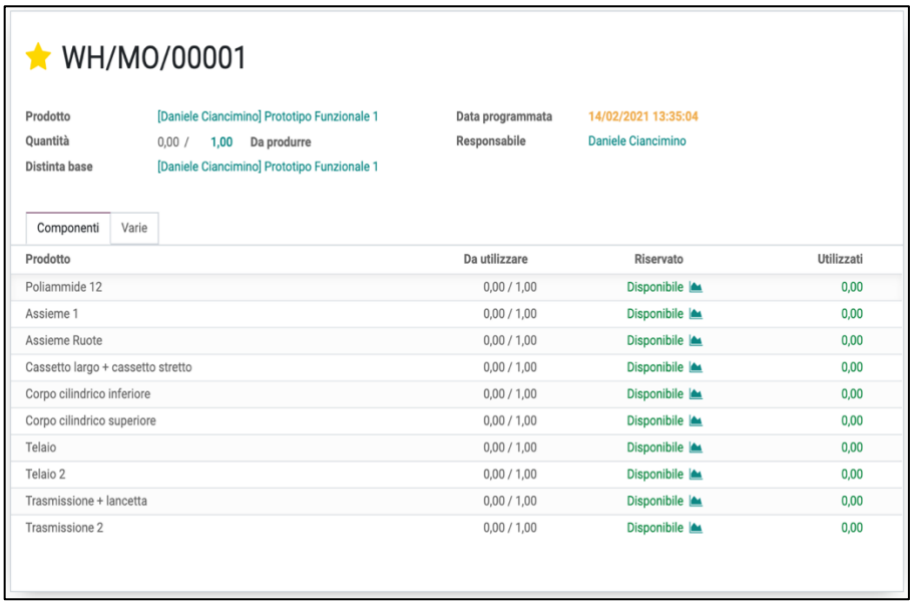
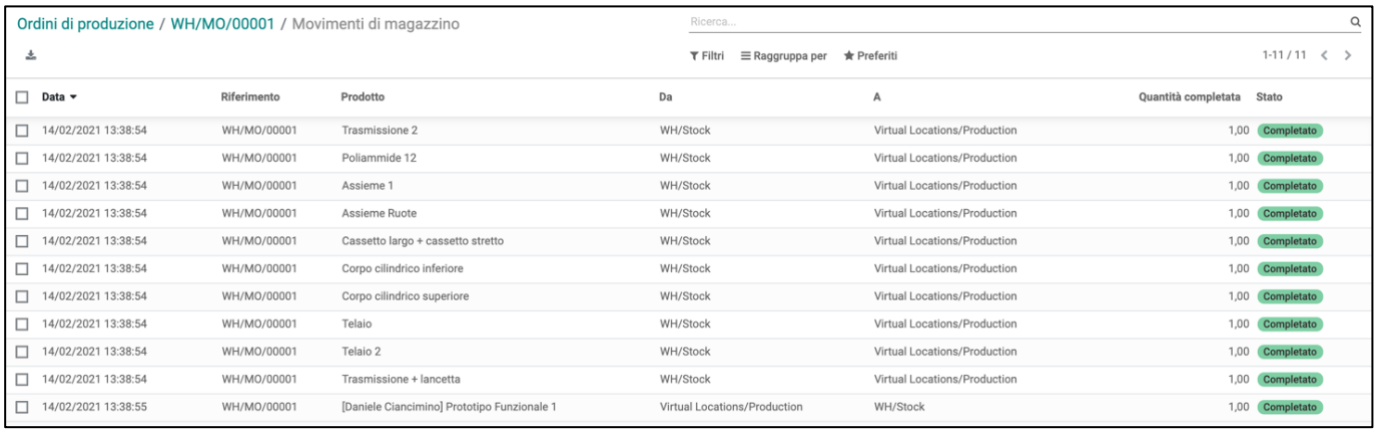


Figura 61 Scheda dell'ordine di lavorazione con componenti disponibili

Una volta completata la fase di produzione del prototipo, l'operatore incaricato ha il compito di contrassegnare l'attività di produzione come terminata e dunque lo stato dell'ordine di produzione risulterà completato [*Figura 62*].



Ordini di produzione / WH/MO/00001 / Movimenti di magazzino

Ricerca...

Filtri | Raggruppa per | Preferiti | 1-11 / 11

Data	Riferimento	Prodotto	Da	A	Quantità completata	Stato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Trasmissione 2	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Poliammide 12	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Assieme 1	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Assieme Ruote	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Cassetto largo + cassetto stretto	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Corpo cilindrico inferiore	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Corpo cilindrico superiore	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Telaio	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Telaio 2	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:54	WH/MO/00001	Trasmissione + lancetta	WH/Stock	Virtual Locations/Production	1,00	Completato
14/02/2021 13:38:55	WH/MO/00001	[Daniele Ciancimino] Prototipo Funzionale 1	Virtual Locations/Production	WH/Stock	1,00	Completato

Figura 62 Stato dell'ordine di lavoro completato

Questo tipo di operazione all'interno della piattaforma Odoo è ben automatizzata. Nel momento in cui un ordine di lavoro risulta definitivamente completato, le quantità di componenti necessarie e presenti all'interno del magazzino vengono automaticamente aggiornate dal sistema. Questo consente di monitorare costantemente i livelli di scorta presenti in azienda, evitando rotture di stock.
Sempre all'interno della sezione relativa al processo di produzione è possibile inserire informazioni tecniche sui processi di manutenzione che devono essere effettuati.
Una generica scheda di manutenzione, rappresentata in *Figura 63*, contiene le seguenti informazioni:

- Tipologia di manutenzione (correttiva o preventiva)
- Data di richiesta di manutenzione e data programmata per effettuarla
- Ordine di produzione sul quale effettuare l'intervento di manutenzione
- Team responsabile della manutenzione
- Durata attesa dell'intervento
- Priorità dell'intervento

Nel caso mostrato nella figura sottostante si fa riferimento al processo di manutenzione correttiva legato all'individuazione dell'errore di Shifted Layers.

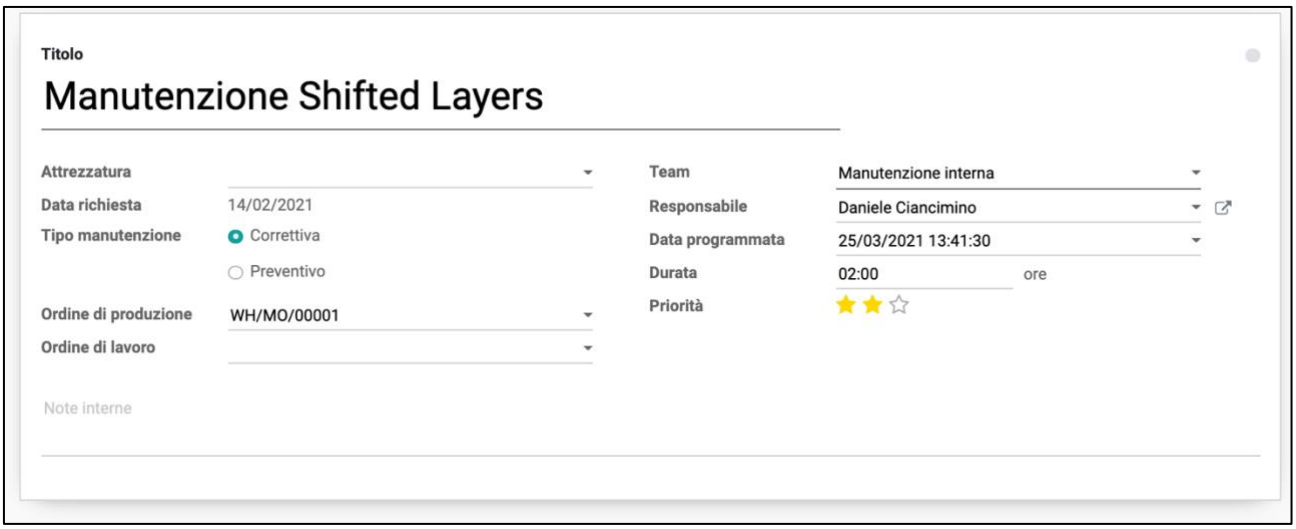


Figura 63 Scheda di manutenzione legata ad un ordine di produzione

8.5.9 Gestione dei dati riguardanti il prodotto e generazione dei file ECO

Uno dei principali limiti della piattaforma Odoo riguarda l'impossibilità di caricare all'interno della scheda relativa agli elementi della distinta base o a quella del prodotto finito determinate informazioni e file che risultano di fondamentale importanza nel processo di sviluppo prodotto (come, ad esempio, il file CAD dell'elemento da realizzare). Per ovviare a questa problematica che rende critiche alcune fasi della gestione del ciclo di vita del prodotto, la piattaforma Odoo consente di generare i cosiddetti file ECO.

Come già descritto nel Capitolo 8.2, i file ECO sono direttamente collegati alle schede del prodotto e a quelle degli elementi della distinta base e consentono di immagazzinare tutti i file che risultano necessari per progettisti e operatori della produzione.

Solitamente i file ECO vengono generati nel momento in cui sono previste delle modifiche a livello del processo di produzione o a livello di prodotto, ma devono essere generati anche nel momento in cui bisogna inserire dei file significativi, in completa assenza di modifiche da attuare.

Nel caso oggetto di esame, al fine di valutare le funzionalità del PLM, è stato generato un File ECO relativo alle modifiche da attuare in termini di materiale di produzione [*Figura 64*].

Supponendo dunque di aver effettuato un test della qualità del prototipo sono emerse delle criticità legate all'impiego del Poliammide 12. Per tale motivo si è deciso di tenere traccia di queste informazioni e di modificare il materiale di realizzazione immediatamente, in modo tale che nei processi di produzione futuri non si verificassero ulteriori perdite di tempo e denaro per l'azienda.

Figura 64 File ECO relativo alla modifica del materiale di produzione

Nel momento in cui il file ECO viene validato è possibile caricare all'interno di quest'ultimo i documenti che sono ritenuti principali al fine di tenere traccia delle modifiche. La realizzazione di questa operazione permette di visualizzare nella scheda del file ECO la presenza di documenti [*Figura 65*] e nella scheda prodotto la presenza di una modifica di tipo ECO [*Figura 66*].

Figura 65 Documenti sezione ECO

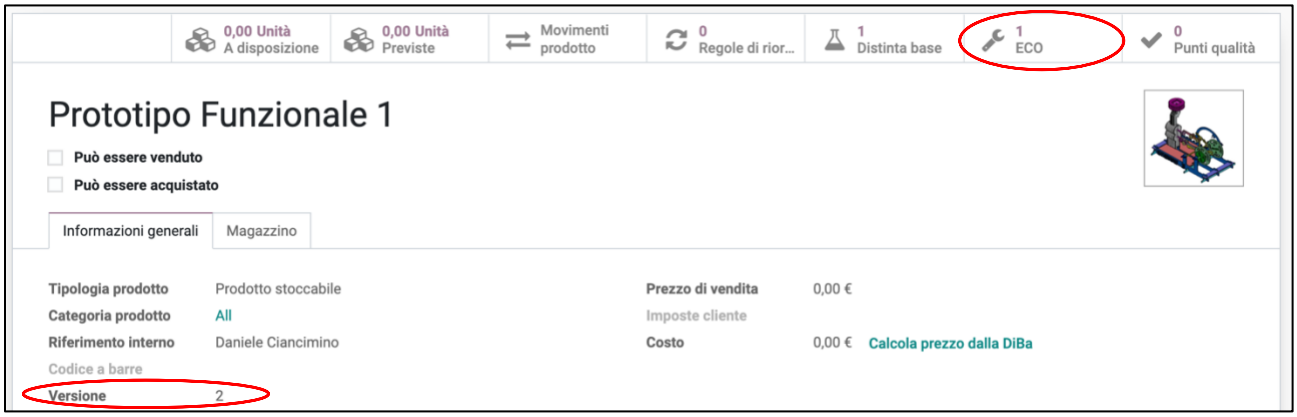


Figura 66 Elemento di modifica (ECO) apportata al prodotto

Come è possibile notare dall'immagine precedente, una volta generato un file di tipo ECO indicante una modifica apportata al prodotto da realizzare, l'informazione relativa alla versione di quest'ultimo cambierà automaticamente (nel caso in esame, avendo generato un unico file ECO, la versione rappresentativa del prodotto sarà la numero 2).

8.5.10 Controllo Qualità e Internet of Things

Il controllo di qualità si riferisce alle fasi di gestione della qualità del processo di produzione che prevedono ispezioni, test, esami e verifiche mirate a determinare il livello di soddisfacimento dei requisiti stabiliti per un determinato prodotto, servizio o processo.
L'applicazione del controllo di qualità accerta la rispondenza e la conformità del prodotto ai requisiti richiesti. I controlli di qualità, in relazione al prodotto, possono essere riferiti a tre differenti fasi del processo di produzione: fase preliminare (con controlli, ad esempio, condotti in rapporto alle materie prime in ingresso nel processo produttivo), durante il processo produttivo (ad esempio, controlli sui prodotti semilavorati), nella fase del collaudo (sul prodotto finito).
Il controllo di qualità si pone come attività fondamentale tra la realizzazione e l'eventuale azione correttiva.
Per creare un punto di controllo qualità, bisogna andare su Qualità - Controllo qualità - Punti di controllo. I punti di controllo qualità hanno luogo durante i trasferimenti o durante il processo di fabbricazione dei prodotti.
La piattaforma Odoo permette di assegnare i "punti qualità" agli elementi della distinta base o al prodotto: si tratta di inserire durante il processo di produzione alcuni test di controllo qualità per verificare che le specifiche di prodotto siano conformi a quelle presunte.
Il tipo di controllo definisce la frequenza con cui i controlli di qualità devono essere effettuati:

- Tutte le operazioni: tutte le operazioni generano automaticamente controlli di qualità da eseguire;
- Casualmente: i controlli di qualità vengono eseguiti solo sull'x% delle operazioni. La percentuale deve essere definita nel punto di controllo;
- Periodicamente: i controlli di qualità vengono eseguiti periodicamente. La periodicità è basata sul periodo definito (una volta al giorno, una volta alla settimana).

Durante la fase di inserimento del punto qualità bisogna configurare il tipo di controllo di qualità. Ci sono diversi tipi che possono essere utilizzati:

- Testo: questo tipo di punto di controllo permette di dare istruzioni ai lavoratori durante il trasferimento o durante il processo di produzione;
- Scattare una foto: questo tipo di punto di controllo chiede di scattare una foto del prodotto durante la fabbricazione o a processo terminato. Questo processo può essere semplificato utilizzando una telecamera collegata;
- Pass-Fail: richiede di specificare se i prodotti passano o non passano determinati criteri. C'è inoltre la possibilità di definire un messaggio che dia istruzioni da seguire in caso di fallimento;
- Effettuare una misurazione: la rilevazione delle misure richiede l'inserimento delle stesse durante il processo di fabbricazione.
- Per utilizzarlo, è necessario specificare la norma per le misure del prodotto, ma anche una soglia di tolleranza. Così facendo, tutti i prodotti con buone misure possono essere automaticamente accettati;

Nello sviluppo dell'analisi è stato ritenuto opportuno pianificare tre ispezioni di qualità in tre momenti diversi del processo di produzione, ritenuti critici per la corretta realizzazione del processo.
Il primo test viene effettuato a valle del processo di conversione del file CAD in file STL, in modo da poter correggere eventuali errori legati alla progettazione del disegno in ambiente SolidWorks; il secondo viene eseguito una volta terminata la prototipazione del prodotto, in modo da poter confermare o modificare le istruzioni di realizzazione del componente; l'ultima ispezione viene eseguita al termine della fase di produzione del prodotto finito, in modo tale da poter immetterlo sul mercato di riferimento.
Altri test di qualità vengono svolti durante i processi di lavorazione in modo da poter tenere sotto controllo le singole fasi di fabbricazione additiva.
La *Figura 67* mostra il test di qualità relativo alla fase di generazione del prototipo. Nello specifico, una delle problematiche che si possono riscontrare in fase di produzione tramite tecniche di stampa 3D è quella di "Shifted Layers": si tratta di un guasto meccanico legato al disallineamento dei singoli strati di prodotto che vengono generati.
Il controllo di qualità consente di inserire all'interno di un'apposita scheda le caratteristiche di tale errore e le soluzioni da mettere in atto per ovviare a tale problematica.

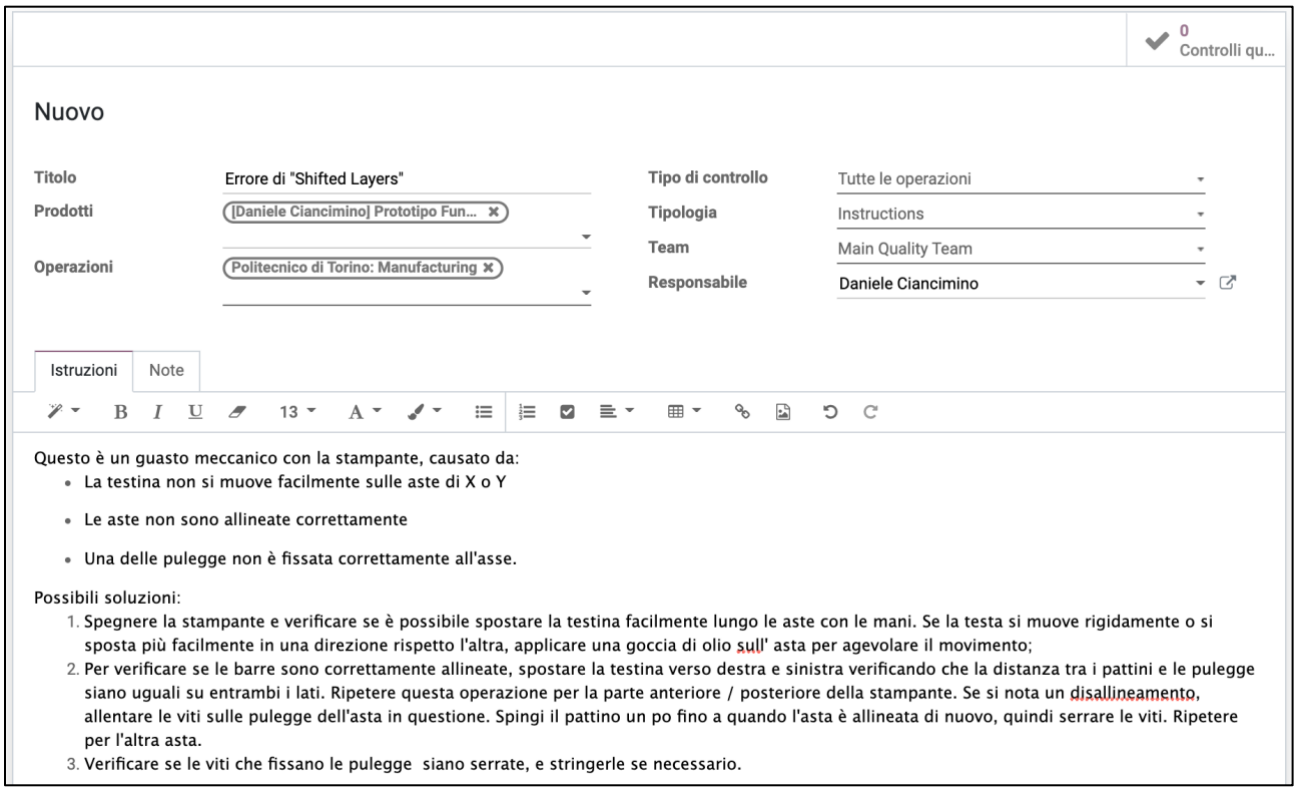


Figura 67 Scheda di controllo qualità

Come accennato in precedenza, uno degli strumenti che consente di effettuare delle verifiche di qualità sul componente da realizzare è l'acquisizione di immagini tramite fotocamera o videocamera. A tal proposito, entrando in ottica di quarta rivoluzione industriale, all'interno delle aziende vengono generati dei sistemi che consentano un'integrazione efficace tra macchine, software e lavoratori. Questa è una sfida molto grande dal momento che è richiesta una perfetta sincronizzazione affinché si possano valutare gli effettivi benefit.

La soluzione a tale sfida è l'impiego di uno strumento "intelligente": l'IoT Box [*Figura 68*].

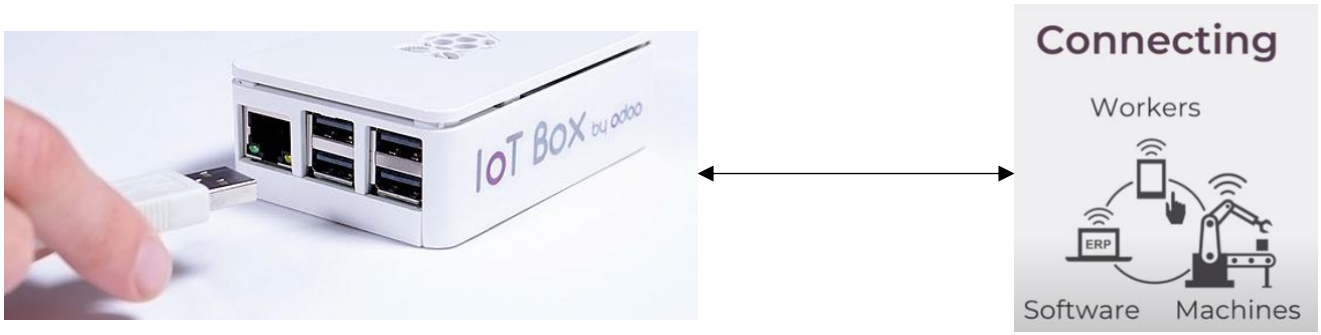


Figura 68 IoT Box

Il Box IoT è uno strumento che consente di collegare qualsiasi dispositivo hardware alla piattaforma software di Odoo. In questo modo diventa dunque possibile orchestrare il lavoro di macchine e operatori nel processo di produzione all'interno di un'unica interfaccia.
I device possono essere connessi tramite porta USB, connessione Bluetooth, connessione Wi-Fi. Per fare ciò basta cliccare sul pulsante "Connetti" della schermata principale dell'applicazione IoT e Odoo rileverà automaticamente la presenza del dispositivo.

8.5.11 Realizzazione del prodotto definitivo

Conclusa la fase di realizzazione del prototipo funzionale e passati tutti i punti qualità, il focus si sposta sulla realizzazione del prodotto definitivo vendibile sul mercato.
Anche in questo caso, come è stato fatto per il prototipo funzionale, bisogna creare la scheda prodotto relativa all'elemento definitivo [*Figura 69*], con l'eccezione che quest'ultimo risulta vendibile sul mercato, motivo per cui verrà associato ad esso un indice di prezzo e un costo di produzione.
I sotto – componenti e il materiale impiegato per la realizzazione del prodotto definitivo sono identici a quelli del prototipo, motivo per cui le due schede prodotto presenteranno gli stessi elementi all'interno della distinta base.

Figura 69 Scheda prodotto "Motore Pneumatico"

La procedura di creazione della distinta base del componente definitivo è fondamentalmente la stessa di quella del prototipo, eccetto che è necessario creare articoli contrassegnati dall'etichetta "vendibile" sia per la materia prima (Poliammide 12) che per i singoli assiemi.

Le sezioni che sono state precedentemente sottoposte ad analisi riguardavano la procedura necessaria per usare il software Odoo per tracciare il cambiamento durante lo sviluppo principale del prodotto. Come tale, la maggior parte di ciò che è stato descritto si è concentrato sull'uso del PLM e nella procedura standard di creazione e utilizzo di elementi come Prodotti, Distinte Base, ECO, Ordini di Produzione e Ordini di Lavoro.

Questa sezione sarà diversa, nel senso che ora abbiamo una produzione in corso e l'idea è di testare Odoo nelle sue capacità di simulare e monitorare un processo di produzione.

Questa volta la durata della produzione è la durata stimata dell'intero processo di realizzazione di un lotto di prodotti. Nello specifico, per simulare la fase di produzione di componenti definitivi si è stabilito di generare un lotto composto da 25 unità di "Motore Pneumatico".

Inoltre, si è scelto un tempo ideale di realizzazione di ogni singola operazione di produzione per l'intero lotto pari a 15 secondi (0,6 secondi per ogni attività del processo di SLS sul singolo item del lotto e per l'operazione di finitura superficiale), considerando una pausa di 10 secondi dopo la fase di fabbricazione additiva in macchina e prima dell'operazione di verniciatura del componente.

Ciò significa che in una situazione ideale la durata totale sarebbe di 85 secondi per l'intero lotto di componenti definitivi (60 secondi di fabbricazione additiva, 10 secondi di pausa e 15 secondi per la verniciatura). Chiaramente si tratta di misure astratte che sono state definite con lo scopo di consentire una simulazione immediata delle funzionalità dell'applicazione MES.

In questa produzione simulata si è stabilito che le operazioni di fabbricazione additiva richiedano un tempo leggermente superiore rispetto a quello ideale con l'obiettivo di rappresentare una prestazione subottimale. Questo è stato fatto per osservare come Odoo reagisce e informa in tempo reale sulla situazione in questione.

La prima fase del processo di produzione si svolge nel centro di lavoro denominato "Centro Fabbricazione Additiva", all'interno del quale è presente il macchinario (Formiga P110 Velocis) che si occuperà della realizzazione del modello non verniciato.

Nel momento in cui si inserisce nella scheda dell'ordine di produzione il nome del prodotto che deve essere realizzato (e che deve essere dunque presente all'interno dell'apposita sezione "prodotti" nell'applicazione relativa alla produzione), il sistema acquisisce in automatico le informazioni riguardanti la distinta base del prodotto e le operazioni che devono essere eseguite sulla macchina.

Successivamente bisogna pianificare data e orario di inizio di ogni singola attività, inserendo la durata prevista. A questo punto è possibile salvare l'ordine di pianificazione e cliccando sul tasto "Pianifica" tale ordine sarà inserito all'interno di un calendario aziendale all'interno del quale sarà possibile visualizzare la schedulazione delle attività filtrando per tipo di prodotto realizzato o per centro di lavoro.

Una volta confermato l'ordine di produzione, è possibile visualizzare la schermata contenente tutte le informazioni inserite. Un esempio è riportato nella sottostante *Figura 70*.

Figura 70 Pianificazione attività per ordine di produzione

Come è possibile notare dalla figura, la prima attività è pronta per essere eseguita, mentre le successive sono in attesa del termine delle precedenti.

Avviando manualmente l'inizio della prima attività, il timer della durata effettiva comincia a calcolare il tempo trascorso e la riga relativa all'operazione in corso presenterà tre pulsanti differenti [*Figura 71*]:

- Metti in pausa: consente di interrompere il timer senza inficiare sulla produttività del centro di lavoro;
- Completato: consente di contrassegnare come "completata" l'attività in corso permettendo dunque di passare alla successiva;
- Blocca: quest'ultimo pulsante consente invece di interrompere la produzione e creare dunque un fermo macchina. Una volta cliccato sarà possibile specificare la motivazione che ha comportato la sospensione dell'attività tra quelle disponibili all'interno del menù a tendina [*Figura 72*], oppure sarà possibile creare una nuova stringa, inserendo una descrizione.

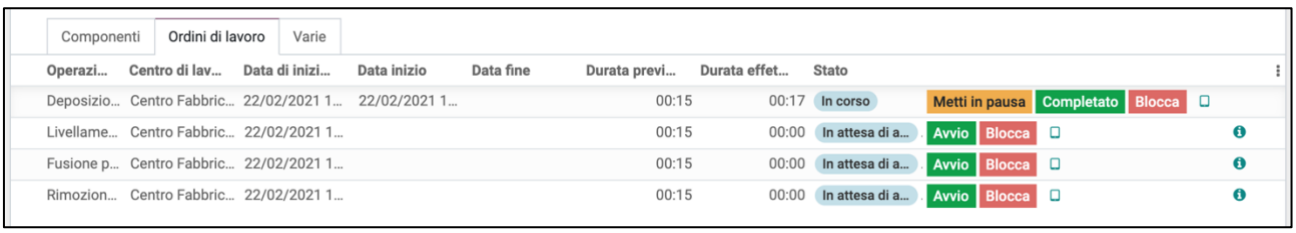


Figura 71 Stato dell'operazione

Figura 72 Motivazioni di fermo macchina

Fino a quando tutte le attività vengono completate correttamente entro l'intervallo temporale previsto, nella sezione "Manutenzione" sarà possibile avere una panoramica dei centri di lavoro in attività. Nel caso preso in esame, considerando l'attività di fabbricazione additiva, l'omonimo centro di lavoro sarà contrassegnato da un cerchio verde che indica il corretto funzionamento e dalla percentuale che indica il rendimento del centro di lavoro. Se non sono stati registrati fermi macchina si avrà una percentuale pari al 100% [*Figura 73*].

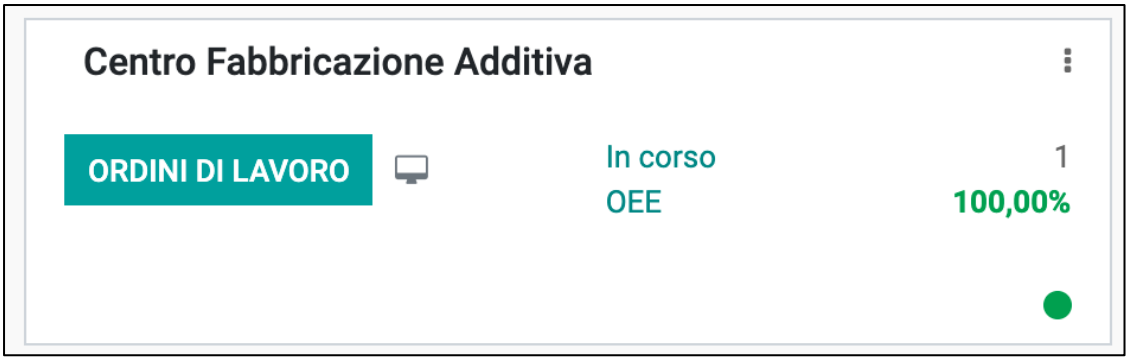


Figura 73 Indicazione di corretto funzionamento del centro di lavoro e percentuale di rendimento

Se invece durate il processo di produzione si verificano dei fermi macchina, oppure le singole attività vengono svolte in intervalli di tempo superiori rispetto a quelli pianificati, il centro di lavoro presenterà una riduzione del rendimento [*Figura 74*].

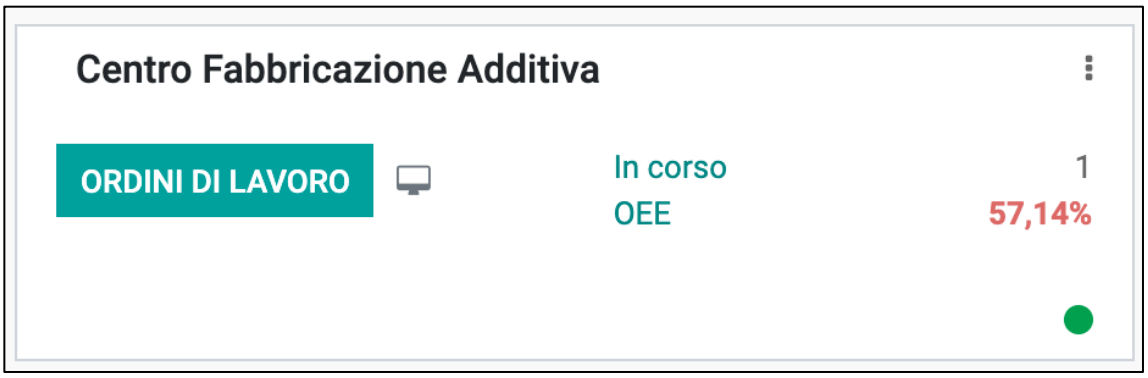


Figura 74 Riduzione del rendimento del centro di lavoro a causa di fermi macchina

Concluse tutte le operazioni della prima fase di produzione è possibile ottenere una rappresentazione grafica dell'efficacia del centro di lavoro [*Figura 75*].

Nel caso specifico, per scopo di analisi, è stato programmato un fermo macchina durante la prima operazione di fabbricazione additiva (deposizione letto di polvere) al fine di poter riconfigurare la macchina e aggiustare alcuni parametri di lavorazione; inoltre, è stata registrata una velocità ridotta di produzione dal momento che alcune attività hanno impiegato più tempo del previsto.

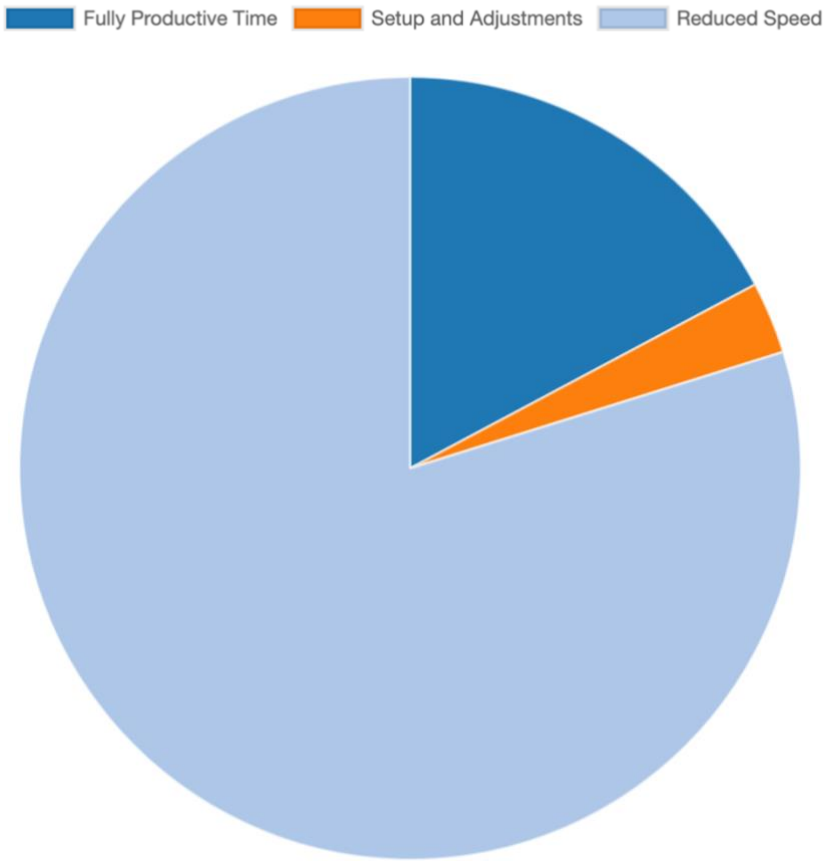
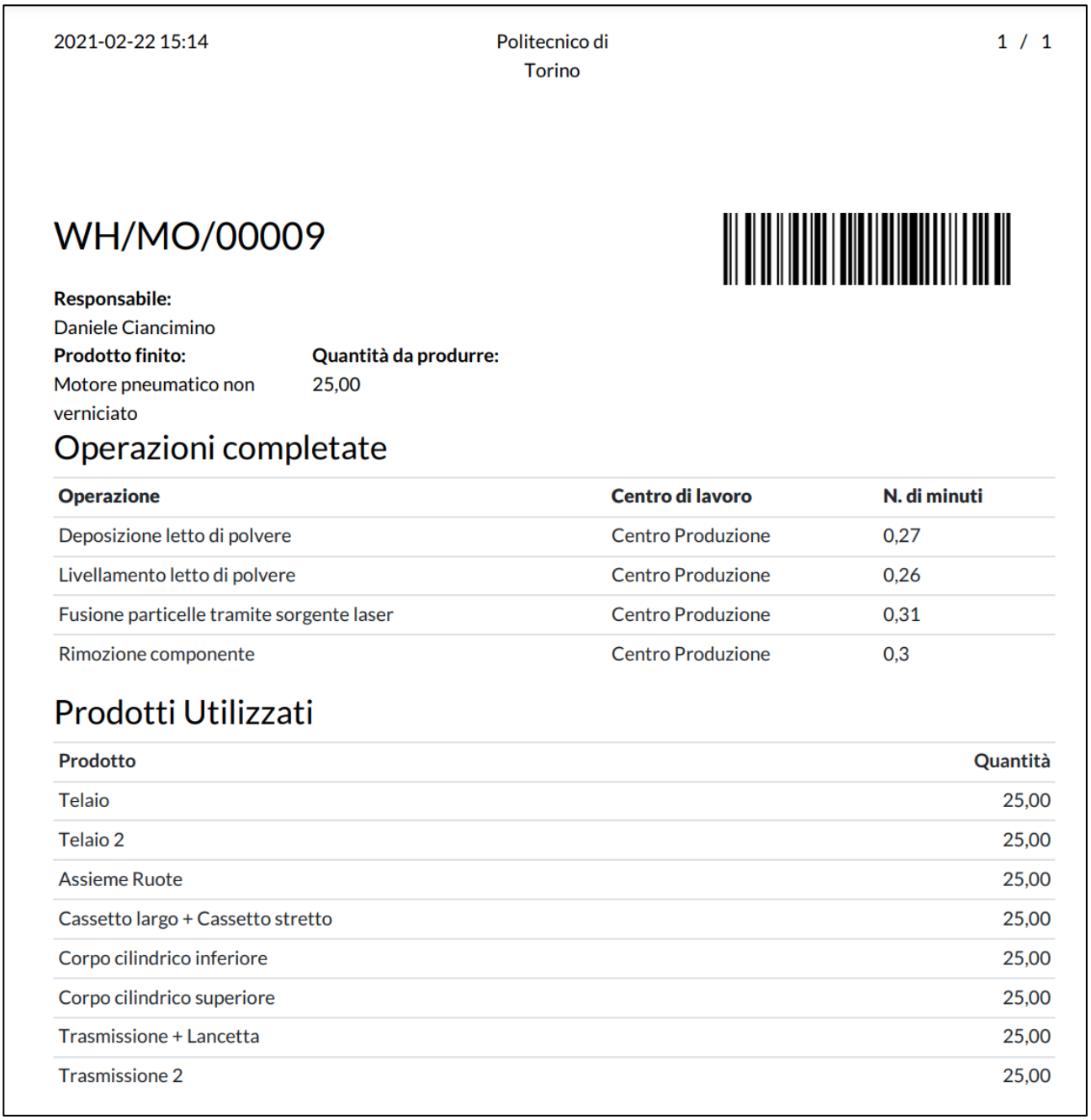


Figura 75 Rappresentazione grafica dei parametri di rendimento del centro di lavoro

Risulta inoltre possibile salvare il documento relativo all'ordine di produzione eseguito all'interno della sezione documenti dell'azienda, in modo da tenere traccia delle quantità di materia prima utilizzata, delle quantità di prodotto finito generate e degli intervalli di tempo impiegati dalle singole operazioni durante il processo di produzione [*Figura 76*].



2021-02-22 15:14 Politecnico di Torino 1 / 1

WH/MO/00009

Responsabile:
Daniele Ciancimino

Prodotto finito: Motore pneumatico non verniciato

Quantità da produrre: 25,00

Operazioni completate

Operazione	Centro di lavoro	N. di minuti
Deposizione letto di polvere	Centro Produzione	0,27
Livellamento letto di polvere	Centro Produzione	0,26
Fusione particelle tramite sorgente laser	Centro Produzione	0,31
Rimozione componente	Centro Produzione	0,3

Prodotti Utilizzati

Prodotto	Quantità
Telaio	25,00
Telaio 2	25,00
Assieme Ruote	25,00
Cassetto largo + Cassetto stretto	25,00
Corpo cilindrico inferiore	25,00
Corpo cilindrico superiore	25,00
Trasmissione + Lancetta	25,00
Trasmissione 2	25,00

Figura 76 Documento relativo all'esecuzione di un processo di produzione

Terminata la fase di fabbricazione additiva che consente di ottenere come output il modello del motore pneumatico non verniciato, è possibile effettuare il processo di finitura che prevede la verniciatura del componente.

In questo caso, si tratta di una singola operazione che verrà effettuata nel centro di lavoro denominato "Centro Verniciatura" [*Figura 77*].

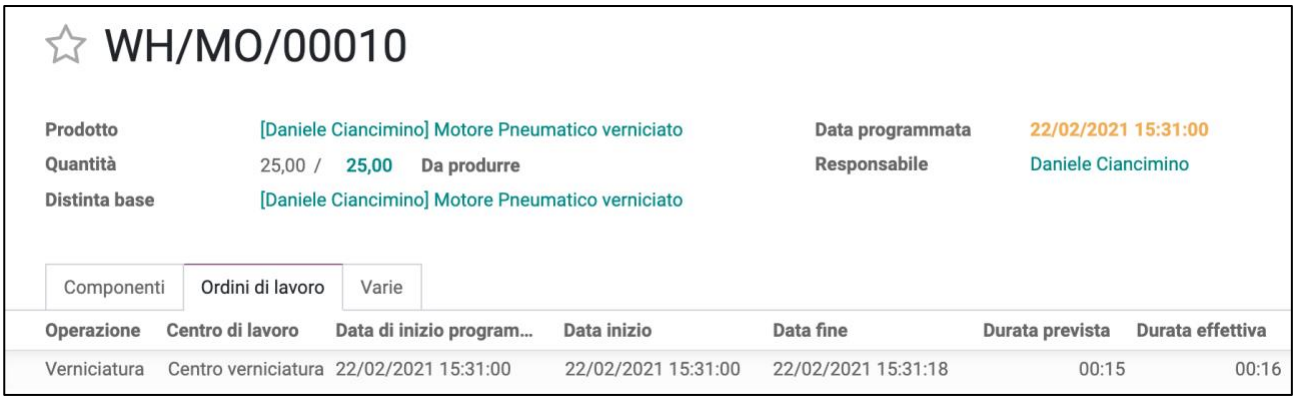


Figura 77 Ordine di produzione per la fase di verniciatura

Anche in questo caso è possibile notare che la durata effettiva del processo di verniciatura risulta superiore rispetto a quella attesa. Indagando sulle cause che hanno comportato questa differenza, i difetti di processo sono stati indicati come causa principale [*Figura 78*].

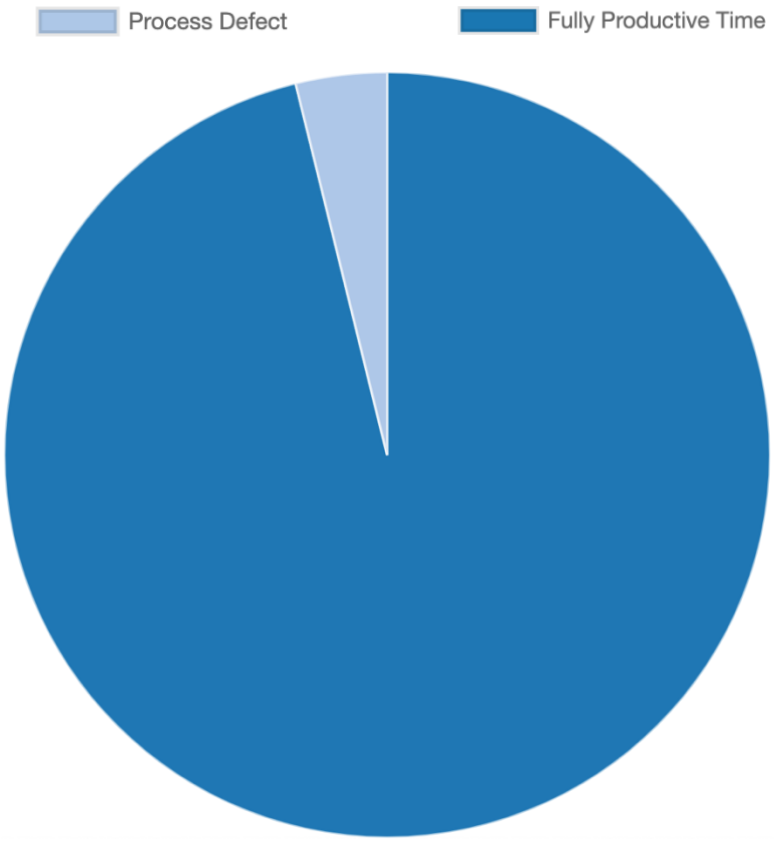


Figura 78 Rendimento centro di verniciatura e cause di blocco macchina

Tutti i dati disponibili possono essere visualizzati sotto forma di grafici a barre, grafici a linee o grafici a torta generati automaticamente dopo la registrazione della performance (che avviene in qualsiasi momento in cui viene eseguita un'azione in un ordine di lavoro).

Nelle figure sottostanti sono stati inseriti alcuni grafici resi disponibili dalla piattaforma Odoo che indicano la suddivisione degli ordini di lavoro in base al loro stato di avanzamento [*Figura 79*], e alla data di esecuzione pianificata [*Figura 80*]; inoltre, l'istogramma di *Figura 81* consente di visualizzare l'impiego dei singoli centri di lavoro in termini di durata.

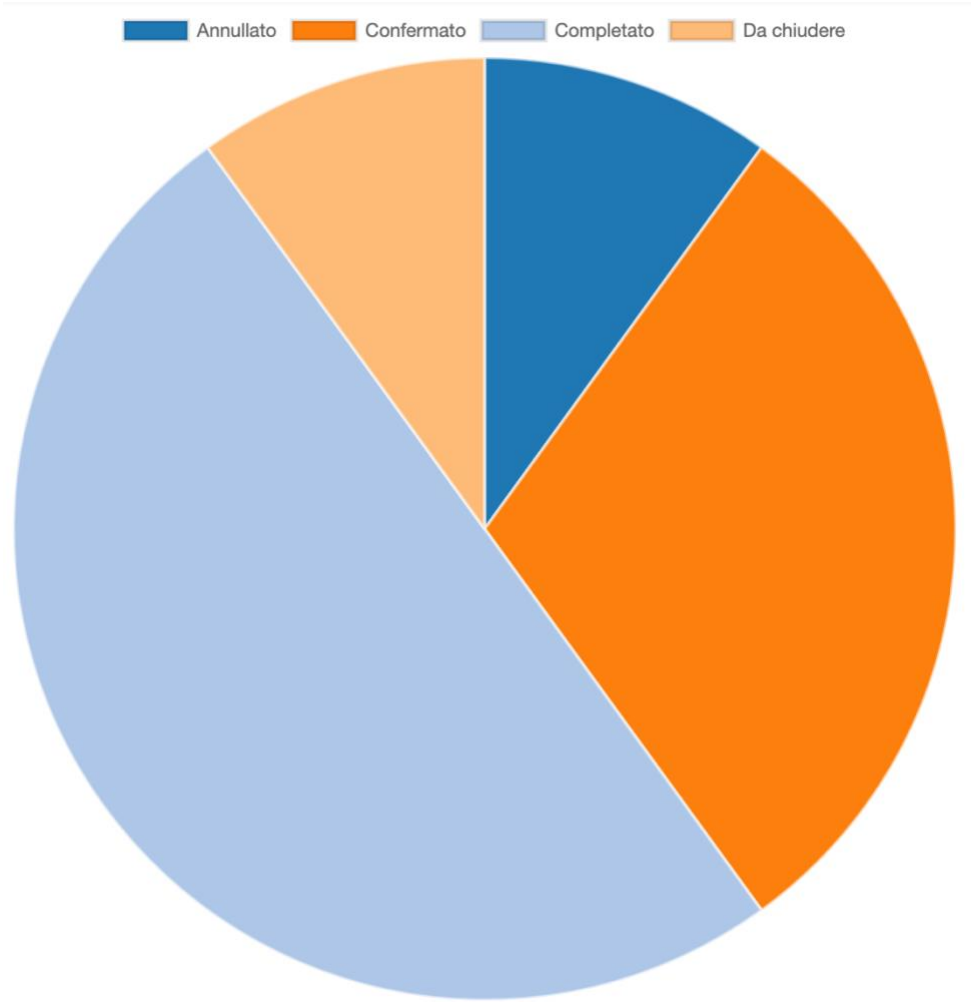


Figura 79 Suddivisione degli ordini di produzione in base allo stato di avanzamento del processo

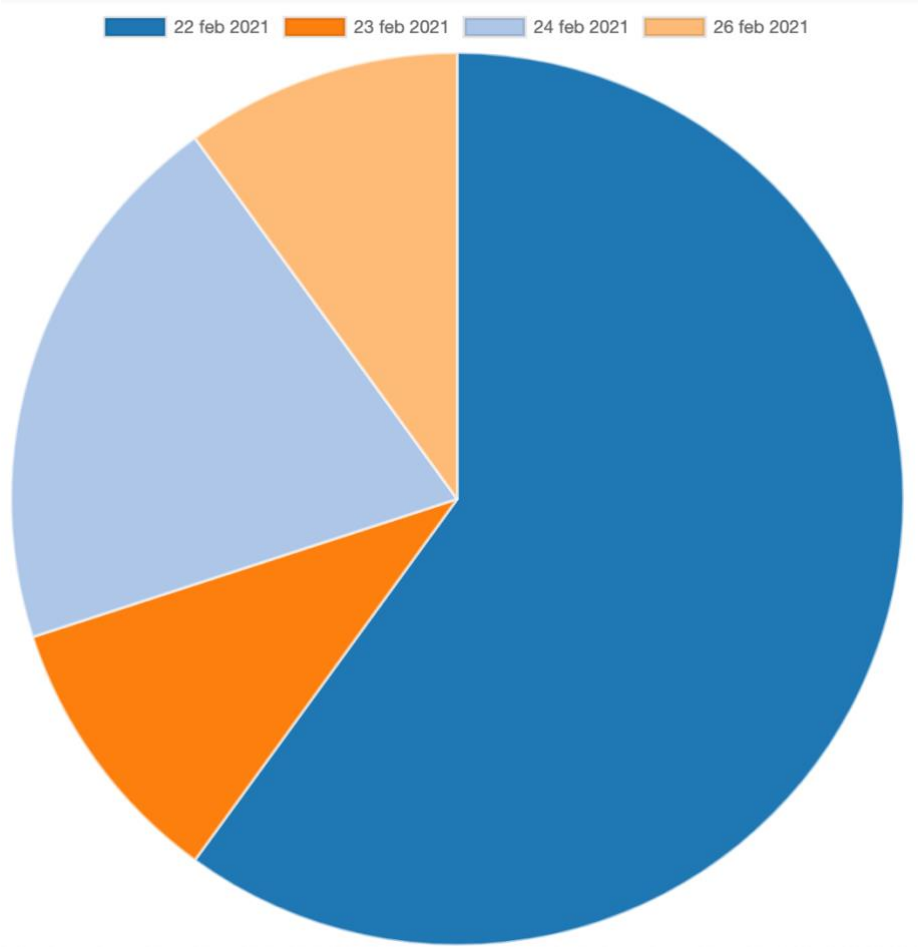


Figura 80 Suddivisione degli ordini di produzione in base alla data pianificata di esecuzione

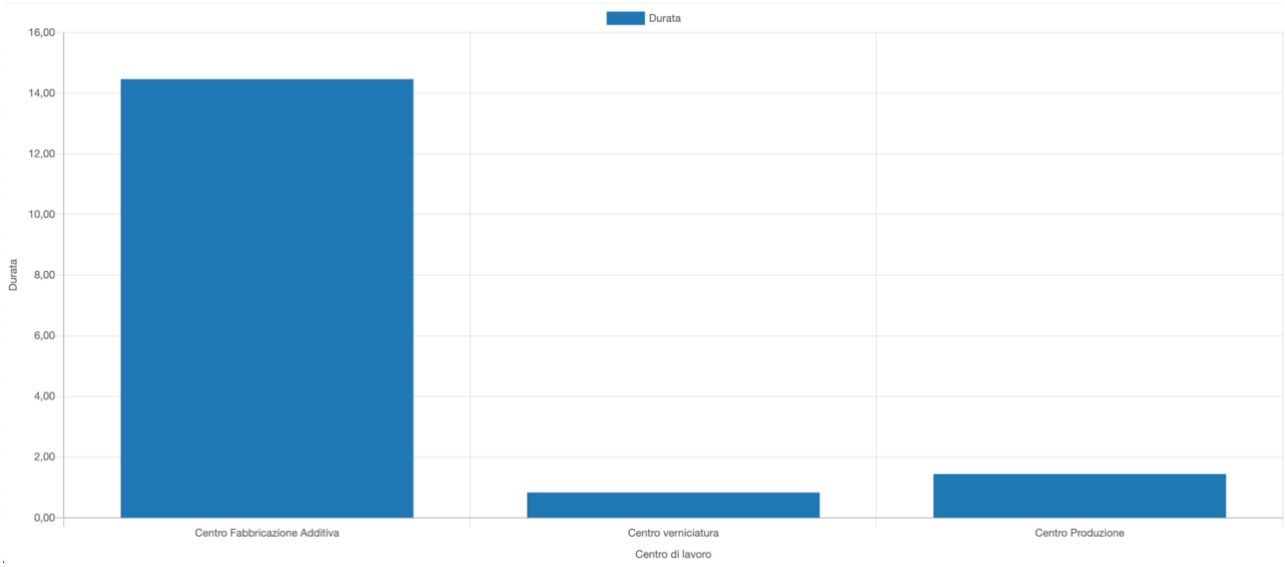


Figura 81 Impiego dei singoli centri di lavoro in termini di durata

Dal momento che una teorica richiesta di produzione da parte di un cliente esterno prevede la realizzazione del modello di motore pneumatico verniciato, risulta più appropriato a livello di gestione delle informazioni aziendali creare un processo di produzione unico (e non suddiviso in due fasi consecutive) che contempli la fase di fabbricazione additiva e quella di verniciatura all'interno dello stesso flusso di un medesimo ordine di produzione.
In altre parole, se nel caso precedente sono stati realizzati due ordini di produzione differenti (uno per la realizzazione del semilavorato non verniciato, e il secondo per il componente definitivo verniciato), adesso verrà presa in considerazione una nuova versione di prodotto definitivo in cui le operazioni inserite nella distinta base comprendono l'intero processo di lavorazione per ottenere il prodotto finito [Figura 82].

Figura 82 Nuova versione scheda prodotto definitivo

Come possibile notare dalla figura, all'interno della sezione delle operazioni, tutte le fasi inerenti alla realizzazione del semilavorato non verniciato attraverso la tecnica di fabbricazione additiva sono state inserite all'interno della macro operazione denominata SLS. Chiaramente, la durata in minuti di questa macroattività è calcolata come somma delle singole operazioni di fabbricazione additiva.
In questo caso, effettuando la simulazione del processo di lavorazione proposto dall'applicativo MES, figureranno unicamente due macro fasi di produzione [*Figura 83*].

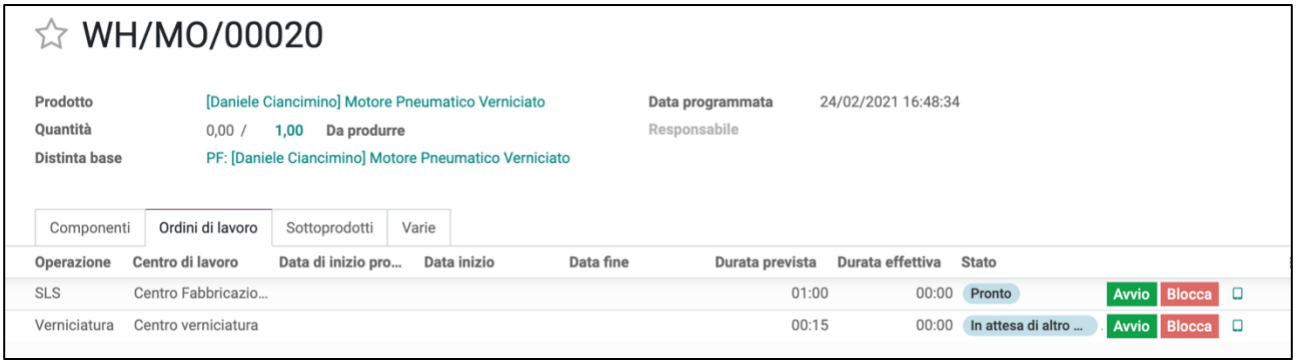


Figura 83 Schermata di simulazione processo di produzione

Dalla precedente schermata di ordine di produzione non è possibile visualizzare le singole fasi che compongono l'operazione di SLS. Per tale motivo, al fine di segnalare al sistema il completamento di ogni singola fase è possibile cliccare sul pulsante situato alla destra del tasto "Blocca" e aprire una finestra di interfacciamento con ogni singola attività [*Figura 84*].

Figura 84 Finestra di approvazione singole attività relative ad una macro operazione

Ogni volta che si clicca sul tasto verde "Approvato" si invierà al sistema la conferma di conclusione della singola fase che compone la macro attività. Nel caso analizzato, dato che l'operazione di SLS è composta da 5 fasi, cliccando 5 volte sul tasto di approvazione verrà visualizzata in automatico una nuova finestra [*Figura 85*] in cui vengono specificate date e tempi di conclusione di ogni singola fase, nome dell'operatore che si è occupato della fase, indicazione sull'operazione effettuata risultato finale (successo o fallimento).
Cliccando quindi sul tasto "Completato" sarà possibile passare alla seconda operazione del processo di produzione (verniciatura).

Figura 85 Stato delle fasi dell'operazione di SLS

In questo caso, dato che la macro attività presenta un'unica fase, basterà cliccare una sola volta sul tasto approvato per ottenere la schermata di *Figura 86*.

Figura 86 Stato delle fasi dell'operazione di verniciatura

Segnando infine come completata l'operazione e chiudendo l'ODP (ordine di produzione), quest'ultimo verrà inserito tra gli ordini di produzione terminati.

Allo scopo di testare ulteriori funzionalità della piattaforma Odoo, è stato generato un programma di pianificazione della produzione che consentisse di valutare l'impiego dei centri di lavoro all'interno di un bucket temporale di una settimana [*Figura 87*].

Nel caso specifico sono state schedulate attività di fabbricazione additiva e di verniciatura ulteriori rispetto a quelle effettuate per la realizzazione del lotto di 25 motori pneumatici descritte precedentemente.

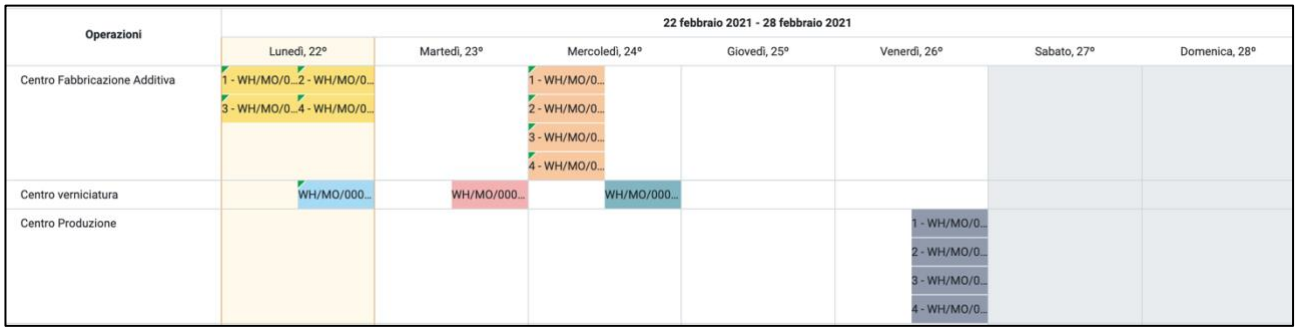


Figura 87 Pianificazione della produzione

8.5.12 Vendita del componente definitivo

Terminata la realizzazione del processo di produzione, l'ultima fase riguarda la vendita del prodotto definitivo nel mercato di riferimento, attraverso canali di distribuzione fisici e virtuali.

Prima di tutto, all'interno dell'applicazione CRM offerta dalla piattaforma Odoo sono state create tre schede di ipotetici acquirenti del motore pneumatico. Il software, oltre alle principali informazioni geografiche dell'azienda consente di inserire specifici dati inerenti alla vendita come:

- Metodo di consegna: è possibile scegliere tra spedizione gratuita o a pagamento (e in questo secondo caso bisogna indicare il costo legato alla consegna);
- Termini di pagamento: si tratta di intervalli di tempo multipli di 15 giorni, fino ad arrivare ad una durata complessiva di un mese, entro i quali è possibile effettuare il pagamento all'azienda che vende il prodotto;
- Posizione Fiscale: consente di valutare diversi metodi di tassazione applicati in diverse regioni geografiche;

Sono stati inoltre creati tre diversi team di vendita che si occupano in modo individuale delle vendite che interessano diverse regioni geografiche. Nello specifico è stato generato un team per le vendite in Italia, uno per le vendite all'interno del territorio europeo (escludendo il territorio italiano) e uno per il territorio extraeuropeo.

Per testare le funzionalità della piattaforma inerentemente al processo di vendita sono stati generati tre ordini di vendita contenenti un quantitativo del prodotto finito diverso e ciascuno con caratteristiche differenti.

Il primo ordine riguarda la vendita unitaria del motore pneumatico definitivo ad un prezzo di €175,00, dato che viene inserito all'interno di un preventivo di vendita. A questo prezzo, si aggiungono le imposte (IVA al 22%), motivo per cui l'ammontare complessivo per l'acquisto del componente ammonta a €213,50.

Una volta confermato il preventivo, il software consente di scaricare il documento correlato [Figura 88].

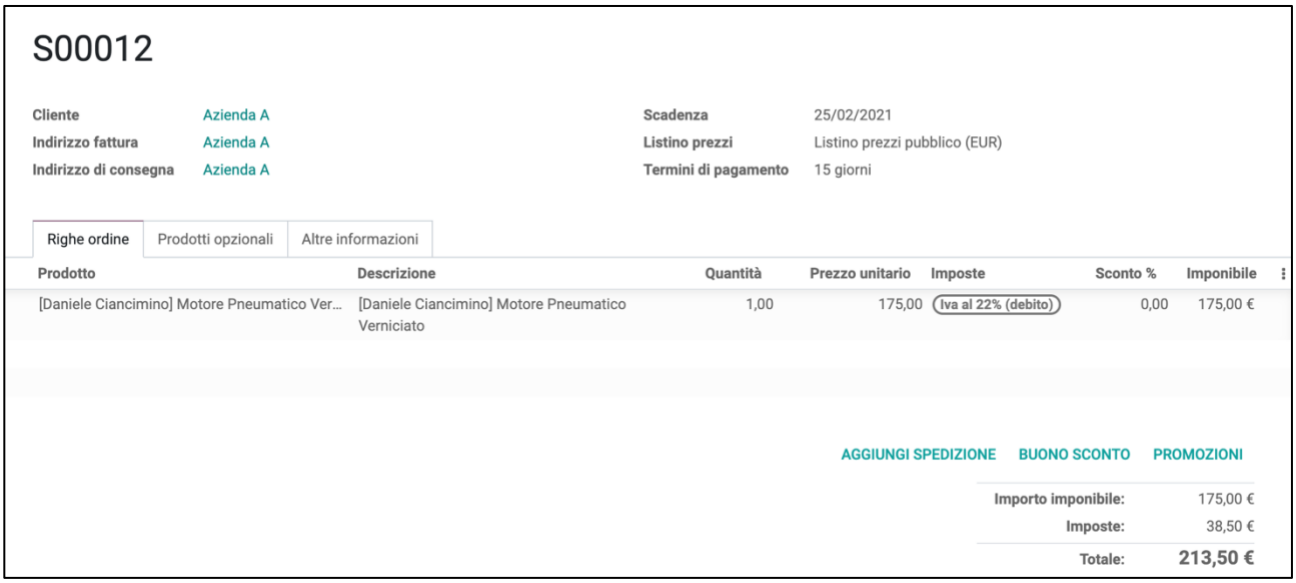


Figura 88 Richiesta di preventivo per ordine di vendita

Come è possibile notare nella figura precedente, tra le informazioni inserite nella scheda di preventivo, è indicato il termine di pagamento da parte del cliente (in questo caso fissato a 15 giorni). Una volta che il cliente riceve il preventivo e lo conferma, il sistema riconoscerà che il/i prodotti contenuti all'interno dell'ordine sono in consegna [Figura 89].

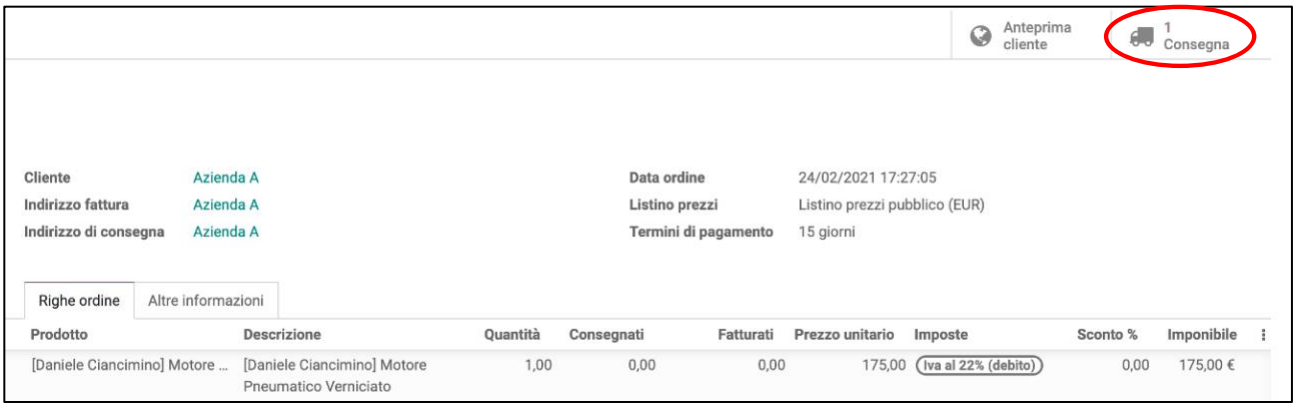


Figura 89 Stato dell'ordine di vendita in consegna

Cliccando sull'apposito pulsante di consegna sarà possibile validare tale processo e, una volta che il cliente riceve il prodotto ordinato, visualizzare le informazioni riguardanti la data programmata ed effettiva di consegna [Figura 90].

Figura 90 Data di consegna prevista ed effettiva

Infine, è possibile stampare la fattura relativa all'ordine di vendita completato in cui vengono indicate le principali voci monetarie [Figura 91].

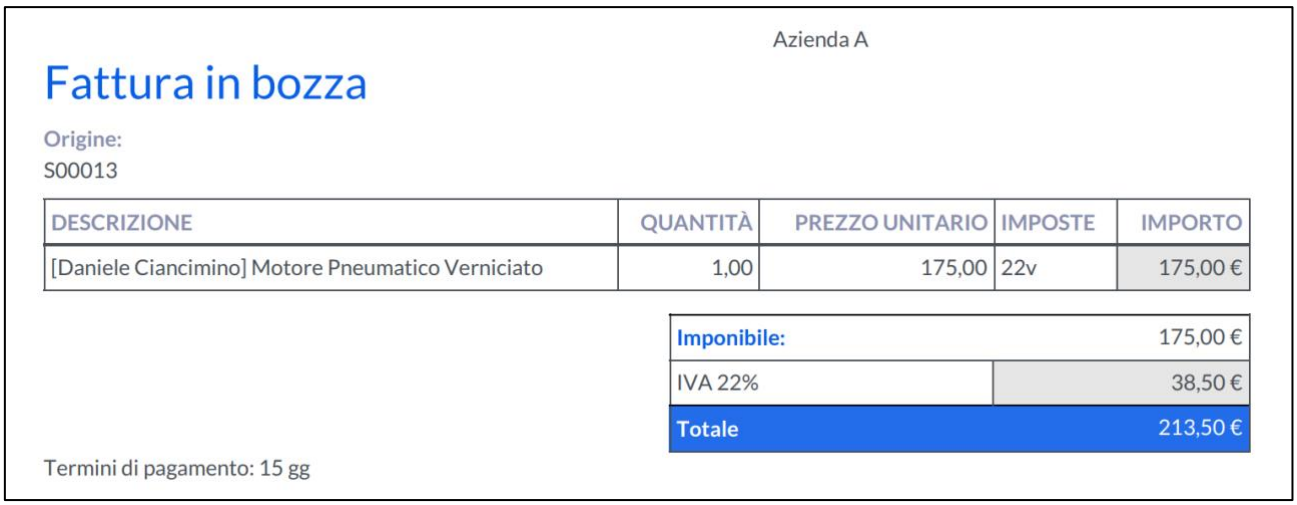


Figura 91 Fattura relativa all'ordine di vendita

Il secondo ordine di vendita è stato generato considerando una possibile urgenza da parte del cliente in termini di data di consegna del prodotto. Per tale motivo, nella sezione "Metodi di spedizione" dell'applicazione delle vendite, è stato generato un metodo di consegna denominato "Spedizione immediata" per il prodotto Motore pneumatico [Figura 92]. Nella scheda del metodo di consegna è stato inserito il prezzo (€5) e l'importo minimo di spesa affinché si potesse usufruire di tale servizio di consegna gratuitamente (limite impostato a €1000).

Figura 92 Metodo di consegna personalizzato: spedizione immediata

In questo secondo caso, l'ordine di vendita presenterà al suo interno anche la voce che indica il costo aggiuntivo legato alla spedizione immediata [Figura 93].

Figura 93 Ordine di vendita comprensivo del costo di spedizione immediata

L'ultimo ordine di vendita è stato generato per mostrare la possibilità di inserire codici promozionali legati al quantitativo di prodotti acquistati. Nello specifico è stato creato uno "sconto quantità" nel momento in cui il numero di item acquistati risultasse pari o superiore alle 10 unità.

Considerando dunque l'ordine di *Figura 94* è stato generato uno sconto del 10% sull'importo totale dell'ordine. Inoltre, è stata inserita una promozione sul costo di consegna immediata per ordini maggiori di €1000.

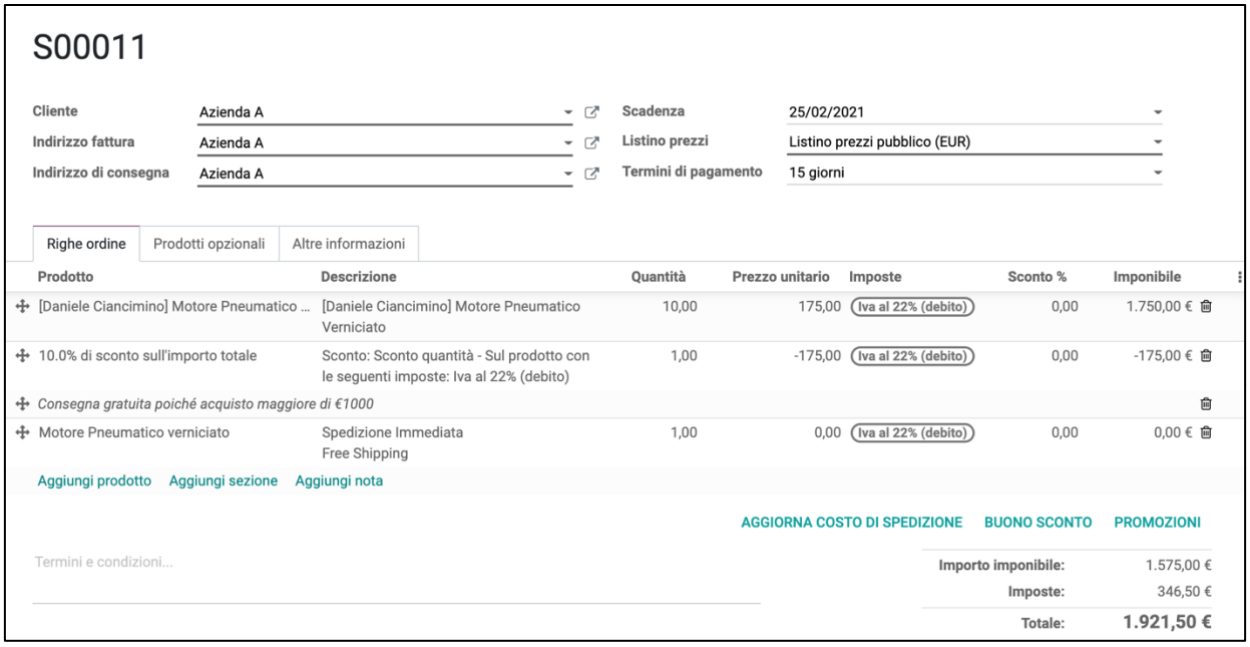


Figura 94 Ordini di vendita con sconti su quantità e promozioni sui costi di spedizione

In questo caso il preventivo relativo all'ordine di vendita completato presenterà anche le voci del buono sconto e della promozione [Figura 95].

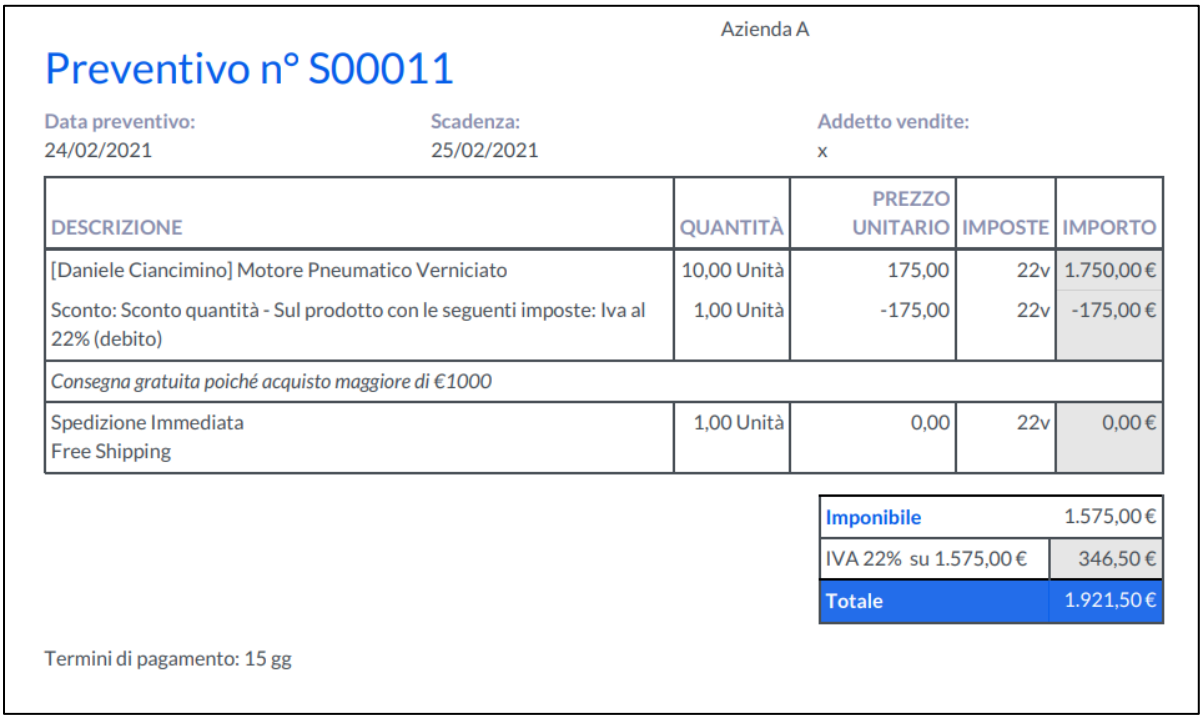


Figura 95 Preventivo contenente le voci di buono sconto e promozione

Così come in altre sezioni della piattaforma, anche all'interno dell'applicazione delle vendite è possibile visualizzare alcune rappresentazioni grafiche riguardanti determinati parametri che possono risultare interessanti per l'azienda [*Figura 96*], quali ad esempio:

- Totale delle vendite in termini monetari
- Totale imponibile
- Numero di ordini di vendita completati
- Ammontare monetario dell'ordine medio
- Numero di clienti con i quali si è intrattenuto un rapporto di vendita

Figura 96 Parametri di analisi per le vendite

Inoltre, è possibile associare a questi dati un diagramma a torta indicante la distribuzione degli ordini sui team di vendita appartenenti all'azienda. Filtrando la ricerca per uno specifico intervallo di tempo prestabilito è possibile notare come gli ordini di vendita siano equamente ripartiti tra i tre team [*Figura 97*].

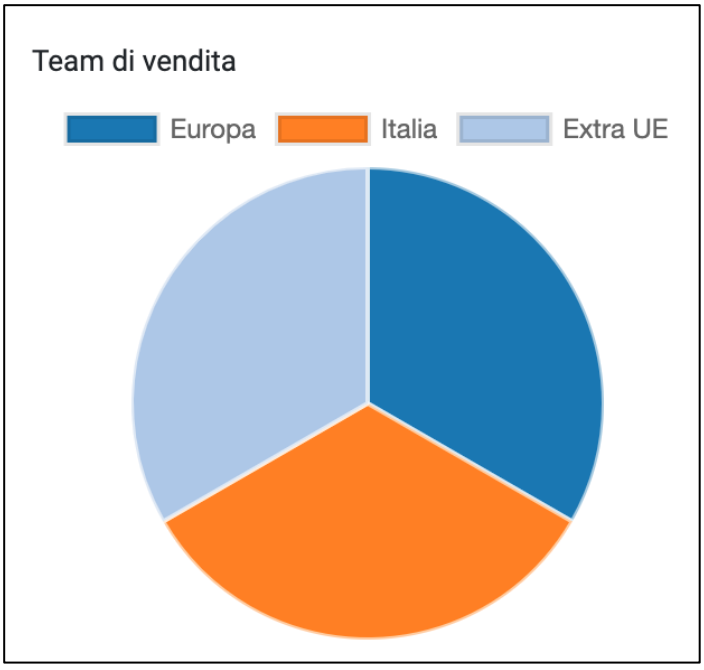


Figura 97 Ripartizione degli ordini di vendita tra i team aziendali

Modificando i filtri di ricerca e le misure che si vogliono analizzare è possibile ottenere altre rappresentazioni come il numero totale di ordini effettuati [Figura 98] e la ripartizione di tale numero sui team di vendita [Figura 99].

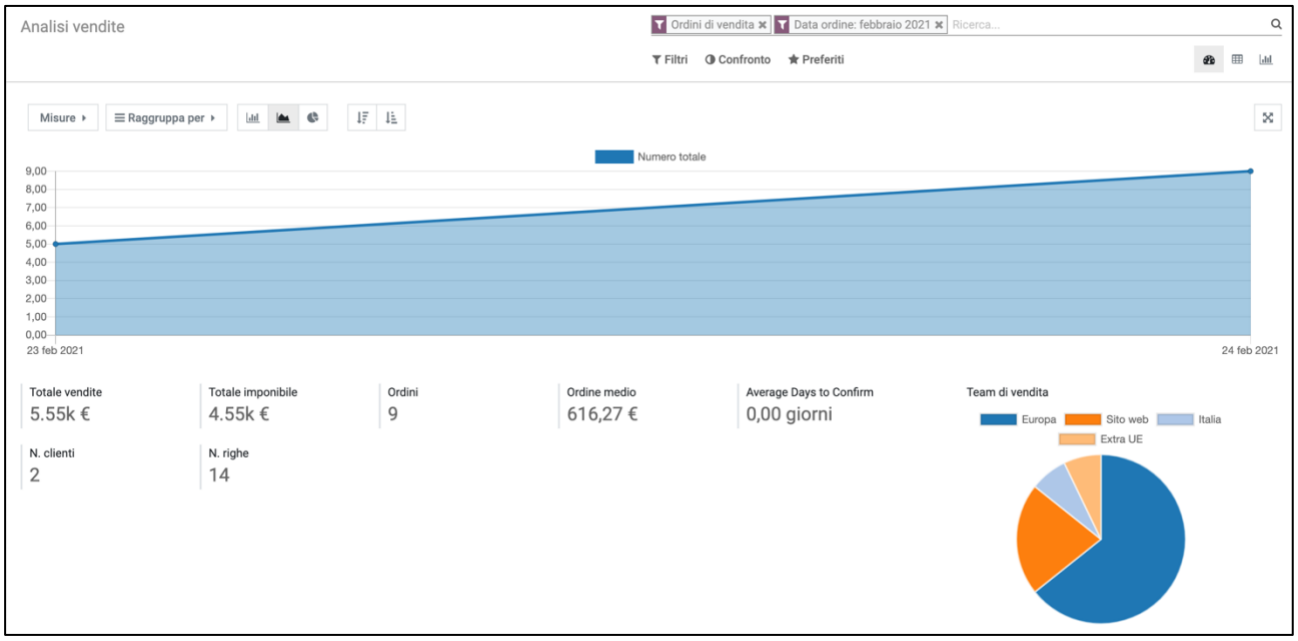


Figura 98 Andamento numero totale di ordini all'interno di un bucket temporale di 2 giorni

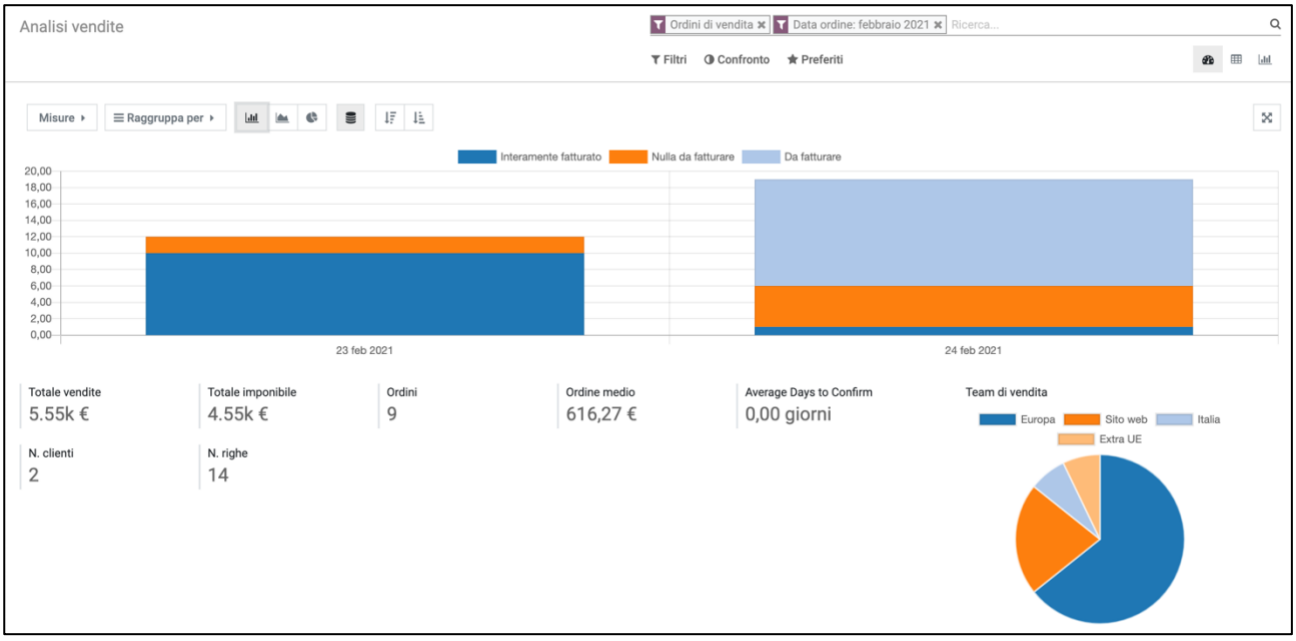


Figura 99 Ripartizione delle vendite tra team funzionali

Come è possibile notare dalle due figure precedenti, uno dei canali di vendita è rappresentato dall'utilizzo di un sito web. Nello sviluppo di questa tesi, dal momento che le funzionalità della piattaforma Odoo lo consentono, è stato realizzato un prototipo di sito internet utilizzabile dall'azienda per il processo di vendita e-commerce.

8.5.13 Creazione di un sito Internet e processo di vendita e-commerce

L'e-commerce è una pratica commerciale che mette in contatto commercianti e acquirenti tramite Internet. Le transazioni di beni e/o servizi vengono effettuate in un negozio online, tramite un'app mobile e grazie ad altri canali di vendita come social network, marketplace, piattaforme di affiliazione, siti di compravendita, ecc.

La piattaforma Odoo permette all'utente utilizzatore di creare una propria pagina web, in modo da poter sfruttare anche il canale digitale per accrescere le vendite del proprio prodotto.

Nel caso specifico è stata realizzata una pagina che contiene le caratteristiche basilari di un sito internet, con lo scopo di mostrare al lettore quest'ulteriore funzionalità della piattaforma.

Il software mette a disposizione alcuni elementi preimpostati per il riempimento della pagina [Figura 100], dalla composizione dei quali è possibile creare il proprio sito [Figura 101].

Figura 100 Elementi preimpostati per il riempimento della pagina web

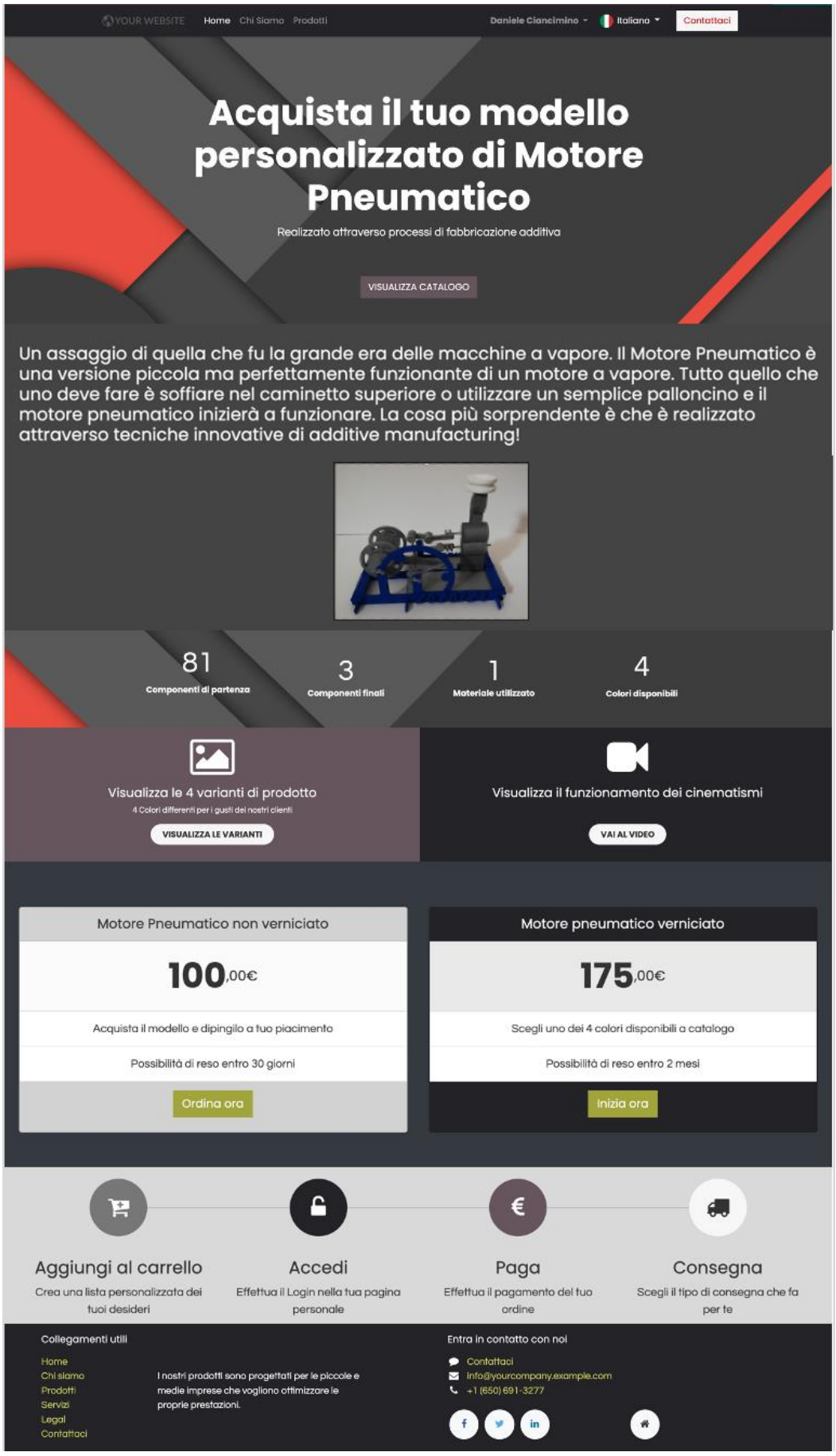


Figura 101 Schermata della pagina web di esempio per la vendita del prodotto

Accedendo alla sezione “Prodotti” della pagina web è possibile selezionare uno o più elementi e inserirli all’interno di un carrello virtuale [Figura 102]

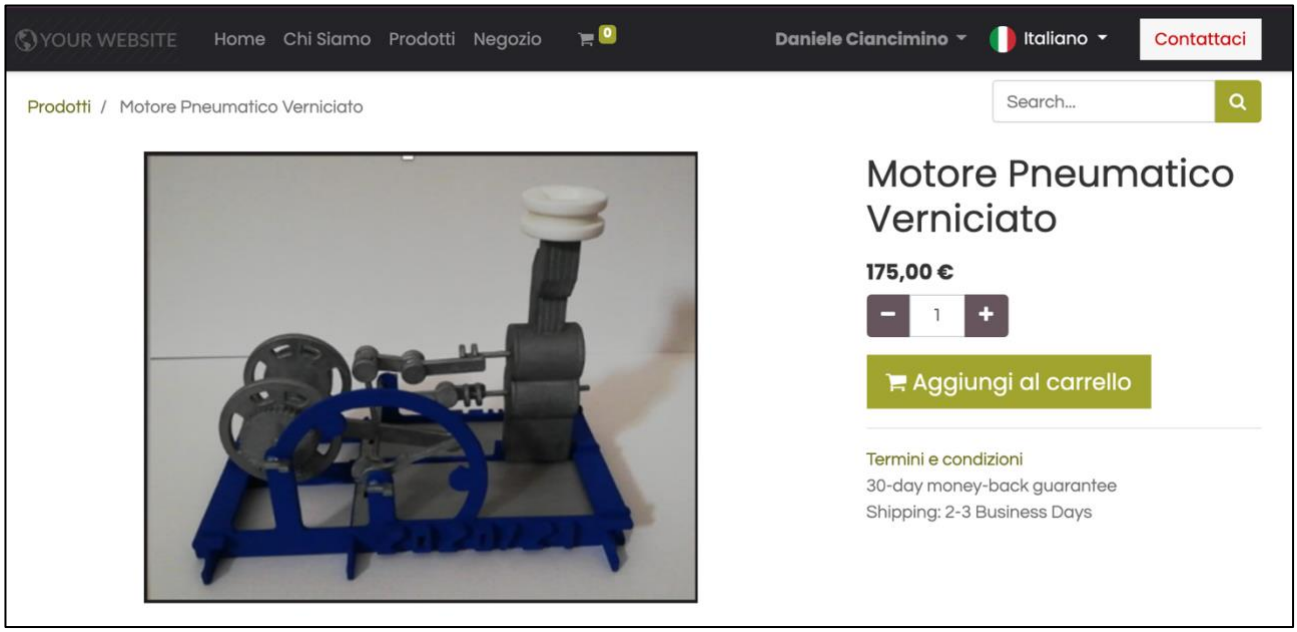


Figura 102 Inserimento di un prodotto all'interno del carrello digitale

Realizzata la lista personalizzata dei prodotti da acquistare bisognerà effettuare il login nella pagina personale o passare direttamente alla fase di pagamento dell’ordine di acquisto.
Dunque, bisogna inserire i dati personali per procedere con la conferma dell’ordine e il successivo pagamento. Prima di completare la fase di acquisto il sito consente all’acquirente di visualizzare una scheda riassuntiva delle specifiche dell’ordine [Figura 103] all’interno della quale sarà possibile inserire un codice promozionale per la riduzione del prezzo di acquisto.

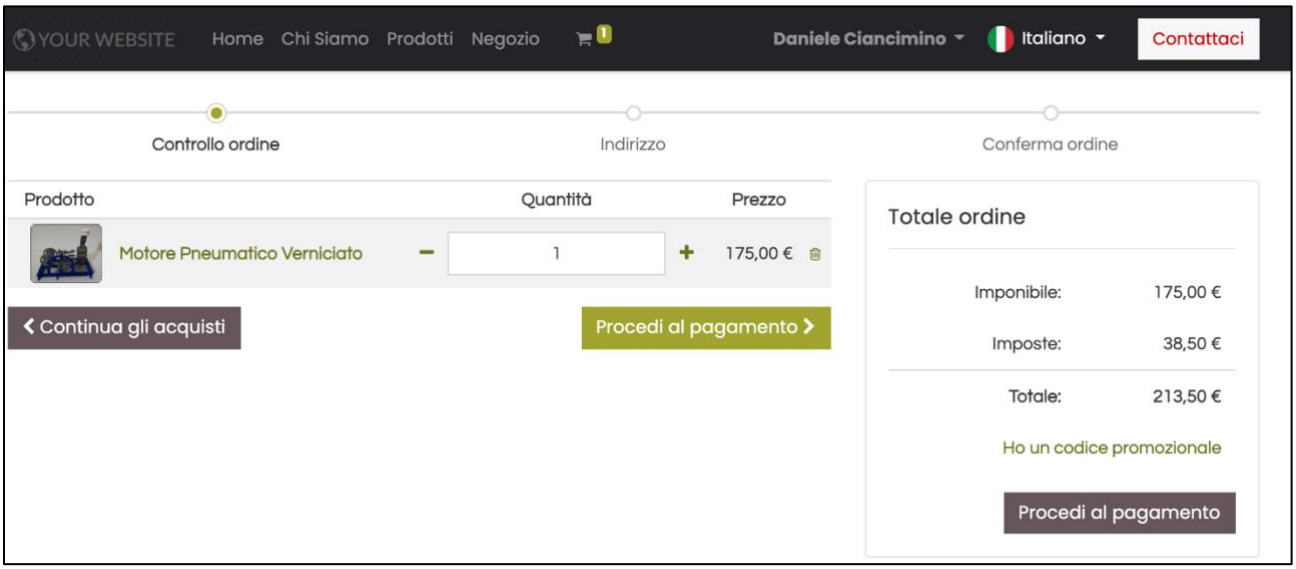


Figura 103 Scheda di riepilogo pagamento

9. VALUTAZIONE ECONOMICA

Qualsiasi azienda, nel suo ciclo di vita, ha affrontato o affronterà almeno una volta un progetto di revisione del proprio sistema informativo. Nonostante si tratti di un'attività praticamente certa (che dovrebbe, quindi, comportare esperienza condivisa), il tema viene spesso approcciato non da un punto di vista organizzativo, come dovrebbe accadere, ma puramente tecnologico. Questo non è corretto perché non si tratta di un'attività di inserimento di un elemento di innovazione oppure di sostituzione pura e semplice di uno strumento tecnologico con un altro, bensì di un progetto con elevati impatti organizzativi, spesso strategici.

Ciò implicherà la nascita e l'adozione di un linguaggio comune in azienda per la rappresentazione delle attività, ma anche la nascita di una visione dell'azienda per processi: processo di gestione ordine cliente, processo di emissione di un ordine di acquisto, processo di entrata merci a magazzino, processo di produzione, ecc. diventano gli elementi costituenti l'organizzazione, sui quali la stessa concretizza la sua strategia e misura i suoi risultati.

Il metodo che si propone, per esperienza, per allocare correttamente la parte preponderante dei costi caratterizzanti un progetto di implementazione di un sistema ERP consiste nel suddividerli nelle seguenti tre categorie principali:

- Persone
- Dati
- Computer (hardware/software).

In questo elaborato il focus si è concentrato sull'analisi dei costi legati all'utilizzo della piattaforma e dunque all'infrastruttura hardware e software che permette alle aziende di sviluppare un sistema di gestione della conoscenza per mezzo di strumenti digitali.

Tali costi vanno intesi come costi afferenti alla gestione puramente "tecnologica" del progetto, comprendendo quindi tutti i costi (anche del personale) che in qualche modo ruotano intorno alla fornitura ed alla gestione specifica di servizi legati all'hardware ed al software; i costi in oggetto sono i seguenti:

1. Nuovi computer e, in genere, tutto l'hardware specificamente richiesto dall'implementazione del nuovo sistema ERP;
2. Installazione moduli software del sistema ERP costo delle licenze relative;
3. Gestione e della formazione necessaria alla gestione «tecnica» del sistema;
4. Gestione generalizzata della manutenzione del sistema;

La valutazione economica dei costi legati all'utilizzo della piattaforma sarà circoscritta all'unico punto, tra quelli precedentemente elencati, che è stato possibile analizzare con maggiore consapevolezza; si tratta del costo associato all'installazione dei moduli della piattaforma Odoo.
Supponendo di voler calcolare il costo totale di utilizzo dell'infrastruttura software Odoo per un intervallo di tempo pari ad un anno, sono stati considerati i costi mensili di tutte le applicazioni utilizzate durante la fase di analisi e sono stati moltiplicati per 12, in modo da ottenere il costo totale su base annuale.
Il costo totale su base annuale, considerando di acquistare la licenza per un singolo utente, e utilizzando 10 IoT Box per il monitoraggio in tempo reale delle attività svolte dai macchinari aziendali (supponendo di averne in numero pari a 10 all'interno dell'azienda), risulta essere di circa €5000 [Figura 104].

Figura 104 Stima del costo annuale dell'utilizzo della piattaforma Odoo per singolo utente

Tale costo totale potrebbe essere incrementato di un 20% in modo da tenere in considerazione tutte le altre applicazioni che non sono state utilizzate nel corso dell'analisi di questo elaborato, ma che possono risultare utili per lo sviluppo di un sistema ERP maggiormente dettagliato. In questo modo si ottiene una stima di costo totale pari a circa €6000.

Tenendo in considerazione il fatturato medio di una PMI italiana, l'entità di tale costo (bisogna ricordare che è un costo per singolo utente utilizzatore) non dovrebbe compromettere il bilancio aziendale e potrebbe allo stesso tempo consentire una più accurata gestione dei processi interni e dei dati utilizzati.

Il prezzo di acquisto della licenza Odoo risulta essere nella media se confrontato con altri sistemi gestionali presenti nel mercato, come ad esempio il gestionale "Ad Hoc Revolution" offerto da Zucchetti, il quale offre un servizio ad un prezzo base per utente di €1000 annui ai quali vanno chiaramente sommati i costi di utilizzo degli applicativi di un generico sistema integrato ERP – PLM – MES.

I sistemi che presentano un prezzo leggermente superiore sono invece i gestionali "Business One" prodotto da SAP e il "Panthera" prodotto dall'omonima azienda, entrambi dedicati alle piccole e medie imprese: entrambi i sistema ERP prevedono un costo di circa €2000 euro all'anno, al quale vanno sommati i costi di implementazione del sistema integrato della conoscenza, superando dunque con molta probabilità il costo annuo del sistema Odoo.

10. CONCLUSIONI

Nei mercati caratterizzati da un tasso di digitalizzazione crescente l'implementazione di un sistema di gestione della conoscenza consente di generare notevoli cambiamenti nell'organizzazione del ciclo produttivo di un'azienda, con la possibilità di ottenere risparmi di tempo e denaro da investire nel miglioramento della qualità dei prodotti.

La decisione di implementare questo sistema sulla piattaforma Odoo è derivata specialmente dalla possibilità di facilitare il passaggio delle informazioni tra le diverse aree aziendali mediante un'integrazione tra l'area della progettazione, della produzione e delle vendite.

Sfruttando le potenzialità offerte dal software è stata realizzata la simulazione di un processo produttivo di un'azienda fittizia, a partire dalla fase di progettazione di un prodotto, fino alla sua vendita nei diversi canali di distribuzione fisici e digitali.

Sono state inoltre digitalizzate le principali informazioni riguardanti le fasi di progettazione e produzione creando una fitta base di dati che ha costituito il nucleo centrale dell'integrazione tra le piattaforme PLM (Product Lifecycle Management) e MES (Manufacturing Execution System).

Questo lavoro ha mostrato come sia possibile utilizzare il software Odoo per l'implementazione dei sistemi PLM e MES di un'azienda; tuttavia ha anche indicato come la realizzazione di tali sistemi presenti alcune debolezze.

A tal proposito, la piattaforma Odoo non prevede la possibilità di caricare determinati documenti all'interno delle schede riguardanti i centri di lavoro e le attrezzature. L'inserimento di file potrebbe risultare necessario per un corretto svolgimento delle funzioni di produzione, specialmente considerando un processo più complesso come quello di fabbricazione additiva utilizzato per la realizzazione del prodotto analizzato in questo elaborato, nel quale la presenza del file CAD 3D del prodotto da realizzare risulta essere fondamentale.

Tale mancanza viene comunque sopperita dalla funzionalità ECO dell'applicazione PLM: i file ECO rappresentano un sistema di monitoraggio e aggiornamento che consente di tenere traccia di eventuali cambiamenti apportati al processo. Spesso vengono generati nel momento in cui sono previste modifiche a livello del processo di produzione o a livello di prodotto, ma devono essere generati anche nel momento in cui bisogna inserire dei file significativi, in completa assenza di modifiche da attuare.

La funzionalità dei File ECO potrebbe non risultare particolarmente importante perché la simulazione effettuata ha visto la realizzazione di un prodotto semplice, ma diventa esponenzialmente più importante quando la complessità dell'elemento da produrre aumenta.

Per quanto concerne l'applicativo MES, invece, non sono stati riscontrati particolari limiti nella piattaforma, la quale consente di monitorare in modo rigoroso e puntuale le fasi di produzione del componente.

Riassumendo, il software Odoo potrebbe risultare un'ottima piattaforma per un'impresa che vuole creare un sistema per la gestione della conoscenza e delle informazioni che circolano all'interno dell'azienda e che vengono scambiate tra le diverse funzioni aziendali.

Bisogna comunque specificare che il valore di tale piattaforma cresce esponenzialmente nel momento in cui vengono sfruttate le sue potenzialità di sistema ERP.

Per tali motivi, il sistema si adatterebbe meglio ad aziende di piccola o media dimensione che approfittano della natura All in One del software.

Infine, è importante menzionare che i limiti di Odoo non sono nella complessità del prodotto in sé, ma nella complessità delle operazioni che circondano il suo sviluppo.

I limiti del seguente elaborato riguardano il fatto che l'analisi è stata condotta su un unico tipo di prodotto il quale non presenta particolari complessità in termini di elementi strutturali.

Ad ogni modo si ritiene che la complessità del prodotto non vada a ridurre le potenzialità della piattaforma, ma semplicemente potrebbe rendere più articolate le operazioni legate allo sviluppo della fase di monitoraggio del ciclo di produzione.

Inoltre, nel corso dell'elaborato è stata analizzata una specifica tecnica di produzione (fabbricazione additiva) per la realizzazione del componente definitivo, ma questo particolare non influenza in alcun modo le potenzialità della piattaforma, le quali continuerebbero ad essere le stesse anche considerando un processo di produzione diverso.

La tesi si è sviluppata tenendo in considerazione l'utilizzo della piattaforma Odoo, senza creare confronti con altri sistemi ERP che sono ampiamente utilizzati in tutto il mondo, come ad esempio SAP o Microsoft Dynamics.

In conclusione, è possibile affermare che oggigiorno l'utilizzo dei sistemi ERP si sta consolidando e al contempo affermando anche nell'ambito delle piccole-medie imprese, dopo essere stato per lungo tempo peculiarità esclusiva delle aziende di maggiori dimensioni. L'offerta dei vendor per le PMI è sostanzialmente differente da quella indirizzata alle grandi imprese e punta su soluzioni standardizzate, dal prezzo relativamente contenuto e implementabili più rapidamente; tutto questo al fine di fornire un prodotto appetibile anche a realtà aziendali caratterizzate, spesso, da circoscritte competenze IT interne e da limitazioni di tipo economico/finanziario.

BIBLIOGRAFIA

A. Bharadwaj, O. A. El Sawy, and P. A. Pavlou, "D Igital B Usiness S Trategy : T Oward a N Ext," vol. 37, no. 2, pp. 471–482, 2013

A. Bratukhin, T. Sauter, "Functional Analysis of Manufacturing Execution System Distri- bution," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 7, No. 4, Nov. 2011, pp. 740-749.

A. Singh and T. Hess, "How Chief Digital Officers Promote the Digital Transformation of their Companies," MIS Q. Exec., vol. 16, no. 1, pp. 1–17, 2017.

Accenture, Collaborating To Compete: A New Way Forward, 2001.

Akao, Y. (1990) Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Cambridge: Productivity Press.

Altshuller, G.S. (1994) in Lev Shulyak (Trans.). The Art of Inventing (And Suddenly the Inventor Appeared). Worcester, Massachusetts, MA: Technical Innovation Center.

Ameri, F. and Dutta, D. (2005) 'Product lifecycle management: closing the knowledge loops', Computer-Aided Design and Applications, Vol. 2, No. 5, pp.577–590.

Anis BEN KHEDHER, Sébastien HENRY, Abelaziz BOURAS, 'An analysis of the interaction among design, industrialization and production', PLM10 international conference, 2010.

B. C. Morello, B. Ghaouar, C. Varnier and N. Zerhouni, "Memory tracking of the health state of smart products in their lifecycle," Industrial Engineering and Systems Manage- ment (IESM), Proceedings of 2013 International Conference on, Rabat, 2013.

Barkan, P. (1988) 'Simultaneous engineering', Design News, Vol. 44, No. 7, p.A30.

Bartezzagni, Spina, Verganti, Organizzare le PMI per la crescita. Editrice il Sole 24Ore, 1999.

Batenburg, R., Helms, R.W. and Versendaal, J. (2006) 'PLM roadmap: stepwise PLM implementation based on the concepts of maturity and alignment', Int. J. Product Lifecycle Management, Vol. 1, No. 4, pp.333–351.

Boothroyd, G. and Dewhurst, P. (1993) Design for Assembly – A Designer's Handbook. Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts at Amherst.

Brown J., SLM - Service Lifecycle Management, www.technologyevaluation.com, 2003.

C. Cimalore, "PLM's changing role. Tooling & Production", 73(4), 32, 2007.

CimData, The benefits of Digital Manufacturing, A CimData white paper, 2002.

Codrino A., I sistemi per la gestione dei processi, 2003.

Codrino A., Le tecniche CAD, CAM, CAE e CAPP al servizio della progettazione e della produzione avanzata, 2003.

D. Houlihan, "Integrating the PLM Ecosystem", Benchmark Report, Aberdeen Group, 2008.

E. Westka ̈mper, "Manufacturing the backbone of the european econ- omy," in Towards the Re-Industrialization of Europe. Springer, 2014, pp. 7–16.

EDS - PLM Solutions, 2003.

F. Pennaiola, Innovazione E Tecnologie Informatiche, Università Bocconi, Milano, 2006.

Garetti M., Macchi M. Impact of E-Commerce on Logistics and Production, XXVII Convegno Nazionale di Impiantistica Industriale. (pp. 513-526). Trieste, 2000.

Garetti, M., Macchi, M., Manufacturing systems modelling and enterprise modelling: do they need to be integrated?, Proceedings of the Information tecnology for business management - XXVI IFIP World Computer Congress ITBM-WCC 2000, Beijing, China.

Garetti, M., Terzi, S. e Vinci, PL Product lifecycle management definizione, caratteristiche e questioni aperte, 2003.

Gecevska, V., Cus, F., Polenakovic, R., and Chiabert, P.: Process Of Innovation In Product Lifecycle Management Business Strategy. Perspectives of Innovation in Economics and Business, 9(3), 53-56 (2011).

Govindaraju, R., & Putra, K. (2016, February). A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 114).

Grevies, Multiplying MES Value with PLM Integration, 2007.

Grieves, M. (2005) Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. New York: McGraw Hill.

Grieves, W.M. and Tanniru, M. (2008) 'PLM, process, practice: knowledge provenance in support of business practices in product lifecycle management', Int. J. Product Lifecycle Management, Vol. 3, No. 1, pp.37–53.

H. (Deutsche P. A. Henning, Kagermann(National Academy of Science and Engineering). Wolfgang, Wahlster (German Research Center for Artificial.

Ham, I., Marion, D. and Rubinovich, J. (1986) 'Developing a group technology coding and classification schema', Industrial Engineering, Vol. 18, No. 7, pp.90–97.

Ham, I., Marion, D. and Rubinovich, J. (1986) 'Developing a group technology coding and classification schema', Industrial Engineering, Vol. 18, No. 7, pp.90–97.

Hauser, R. and Clausing, D. (1988) 'The house of quality', Harvard Business Review, Vol. 66, No. 3, pp.63–73.

HICKS, D. A. and STECHE, K. E., 1995, The ERP maze: ERP and other production and inventory control software. IIE Solutions, 27(8), 12–16.

Huang, G.Q. (1996) Design for X – Concurrent Engineering Imperatives. London: Chapman & Hall.

Ibrahim, R. and Paulson, B.C. (2008) 'Discontinuity in organisations: identifying business environments affecting efficiency of knowledge flows in product lifecycle management', Int. J. Product Lifecycle Management, Vol. 3, No. 1, pp.21–36.

IMPULS Foundation of the German Engineering Federation (VDMA), Industrie 4.0 read-
Industrial Internet Consortium, Industrial Internet Reference Architecture,Version 1.7, 2015.
iness check tool for companies, 2016.

Intelligence). Johannes, "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0," Final Rep. Ind. 4.0 WG, no. April, p. 82, 2013.

J. Elisabeth – Umble, Enterprise Resource Planning: Implementation Procedures and Critical Success Factors, in "European Journal of Operational Research", Vol. 146, pp 241–257, 2003.

Johnson D.: RFID tags improve tracking, quality on Ford line in Mexico, Control Engineering, 49(11), 2002, 16–16.

Joshi, N. and Dutta, D. (2004) 'Enhanced life cycle assessment under the PLM framework', Paper presented at the International IMS Forum 2004, 17–19 May, Villa Erba, Cernobbio, Lake Como, Italy, pp.944–952.

Kaufman, J.J. (1990) Value Engineering for the Practitioner. NC, USA: North Carolina State University Press.

Kiritsis, D., Bufardi, A. and Xirouchakis, P. (2003) 'Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems', Advanced Engineering Informatics, Vol. 17, pp.189–202.

Koudate, A. (2003) 'Il management della progettazione', ISEDI (Translated from Japanese to Italian by R. Manisera and R. Giovannuzzi).

Krajewski, L. and Ritzman, L. (1999) Operations Management: Strategy and Analysis. Massachusetts, MA: Addison Wesley.

M. Agliati, I Sistemi Amministrativi Integrati. Caratteristiche funzionali e strategie di configurazione, Egea, Milano, 1999.

M. Grieves, "Multiplying MES Value with PLM Integration", Whitepaper, 2007.

M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, "Design principles for industrie 4.0 scenarios," in 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE, 2016, pp. 3928–3937.

McDermott, R.E. and Mikylak, R. (1996) The Basics of FMEA. New York, NY: Productivity Press.

MESA International: MES Functionalities & MRP to MES Data Flow Possibilities. MESA International, Pittsburgh, PA, USA (1997).

MESA, 1997, MES explained: a high level vision. White Paper 6, Manufacturing Execution Systems Association, Pitts- burgh, PA.

Michaels, J.V. and Wood, W.P. (1989) Design to Cost. New Jersey, NJ: Wiley.

Miles, L.D. (1961) Techniques of Value Analysis and Engineering. New York, NY: McGraw Hill.

N. G. Nayak, F. Dürr and K. Rothermel, "Software-defined environment for reconfigura- ble manufacturing systems, " Internet of Things (IOT), 2015 5th International Conference on the, Seoul, 2015, pp. 122-129.

Nielsen P.H., Wenzel H., Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment, Journal of Cleaner Production 10, 247–257, 2002.

O. Sauer, "Trends in Manufacturing Execution Systems," no. 2, pp. 685–693, 2010.

Philip, A. B; Laura, M. H.: Information integration in the Enterprise, Communications of the ACM, 51(9), 2008, 72–79.

Porter M., Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance, NY, The Free Press, 1985.

Prasad, B. (1996) Concurrent Engineering Fundamentals. Upper Saddle River, New Jersey, NJ: Prentice Hall.

Presentation at the French Embassy in the Germany, "Industry of the future", 2015. Avail- able at. http://www.ambafrance-de.org/Vorstellung-des-neuen-franzosischen-Plans- Industrie-du-Futur-in-der-Botschaft. Last accessed: 24.11.2016.

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview. International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), 11(5), 77-90.

Rolon, M.; Martinez, E.: Agent-based modeling and simulation of an autonomic manufacturing execution system, Computers in Industry, 63(1), 2012, 53–78.

Rose, B., Robin, V., Girard, P. and Lombard, M. (2007) 'Management of engineering design process in collaborative situation', Int. J. Product Lifecycle Management, Vol. 2, No. 1, pp.84–103.

S. Parthasarathy – S. Srinarayan, Efficiency analysis of ERP packages—A customization perspective, in "Computers in Industry, Vol. 82, 2016.

Saaksvuori, A. and Immonen, A. (2005) Product Lifecycle Management (2nd ed.). Berlin- Heidelberg: Springer.

Saaksvuori, A. and Immonen, A.: Product Lifecycle Management. 3rd ed. (2008).

Saaksvuori, A. e Immonen, A., Gestione del ciclo di vita del prodotto . Springer Science & Business Media, 2008.

SEW EURODRIVE: 'Industrie 4.0 – Unsere Vision der Lean Sm@rt Factory', 2016.

Shaul – Levi - D. Tauber, Critical success factors in enterprise resource planning systems: Review of the last decade, in "ACM Computing Surveys (CSUR)", Vol 45.4, 2013.

SinuTrain Beginner's Manual: Milling and Turning SINUMERIK 810D /840D /840Di, SIEMENS, 2003.

Sistemi di automazione industriale e integrazione - Rappresentazione e scambio dei dati di prodotto - Parte 239: Protocollo applicativo: supporto del ciclo di vita del prodotto.

Snatkin, A., Karjust, K., Majak, J., Aruväli, T., and Eiskop, T.: Real time production monitoring system in SME. Estonian Journal of Engineering, 19(4), 62-75 (2013).

Soga S., Hiroshigo Y., Dobashi A., Okumura M., Kusuzaki T., Product lifecycle management using radio frequency identification technology, Emerging Technologies and Factory Automation, 1999. Proceedings. ETFA '99. 1999 7th IEEE International Conference on , Volume: 2 , 18-21 Oct. 1999.

Stark, J. (2005) Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realization. USA: Springer-Verlag.

Stark, J. (2005) Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realization. USA: Springer-Verlag.

T. Hess, A. Benlian, C. Matt, and F. Wiesböck, "Options for Formulating a Digital Transformation Strategy," MIS Q. Exec., vol. 15, no. 2, pp. 123–139, 2016.

Teck-Hua, H. and Tang, C.S. (1998) Product Variety Management: Research Advances. Norwell, Massachusetts, MA: Springer.

Tecnomatix. EMPower solutions, 2003.

Terzi S., Bouras A., Kiritsis D., Garetti M., Product lifecycle management - From its history to its new role, Article in International Journal of Product Lifecycle Management,· 2010.

Tseng, M.M. and Jiao, J. (2000) 'Fundamental issues regarding developing product family architecture for mass customization', Integrated Manufacturing Systems, Vol. 11, No. 7, pp.469–483.

Tulkoff, J. (1988) CAPP: from Design to Production. Dearborn, Michigan, USA: Society of Manufacturing Engineers.

tute for Economic Research (IW) and Aachen University 2015.

U.R. Dhar, "Flexible manufacturing systems: Major breakthrough in manufacturing man- agement", Elsevier Engineering Management International, Volume 5, Issue 4, May 1989, Pages 271-277.

Ulrich, K. and Eppinger, S. (2001) Progettazione e sviluppo prodotto. Translation in Italian of the original English title Product Development and Engineering). Boston, Massachusetts, MA: Mc-Graw Hill.

Vernon, R. (1966) 'International investment and international trade in the product cycle', The Quarterly Journal of Economics, Vol. 80, No. 2, p.190.

Verschoor A.H., Reijnders L., The use of life cycle methods by seven major companies, Journal of Cleaner Production 7, 375–382, 1999.

Verschoor A.H., Reijnders L., The use of life cycle methods by seven major companies, Journal of Cleaner Production 7, 375–382, 1999.

WELTI, N, 1999, Successful SAP R/3 Implementation: Practical Management of ERP Project (Addison-Wesley).

Yan, B.; Chen, Y.; Meng, X.: RFID Technology Applied in Warehouse Management System, International Col- loquium on Computing, Communication, Control, and Management, 2008, 363–367.

Yoon, J.-S.; Shin, S.-J.; Suh, S.-H.: A Conceptual Framework for the Ubiquitous Factory, International Jour- nal of Production Research, 50(8), 2011, 2174–2189.

Yoram Korena, Moshe Shpitalnib, "Design of reconfigurable manufacturing systems", Elsevier Journal of Manufacturing Systems, Volume 29, Issue 4, October 2010, Pages 130–141.

Umble, Elisabeth J., Ronald R. Haft, and M. Michael Umble. "Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors."European journal of operational research 146.2 (2003): 241-257.

Tsai, W-H., Fan, Y-W., Leu, J-D., Chou, L-W. and Yang,C-C.,"The relationship between implementation variables and performance improvement of ERP systems,"International Journal of Technology Management, vol. 38, no. 4, pp.350–373, 2007a.