UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

Le nuove frontiere del Product Lifecycle Management: stato dell'arte e dissertazione sugli strumenti abilitanti

The new frontiers of Product Lifecycle Management: state of art and dissertation on enabling tools

Relatore: Chiar.ma
Prof.ssa Maura Mengoni

Tesi di Laurea di:
Francesca Caccavale

A.A. 2019/2020

Ai miei genitori

CAPITOLO 1

1.1 Introduzione pag. 5

1.2 Definizione del ciclo di vita del prodotto pag. 6

1.2.1 Grafico del ciclo di vita del prodotto pag. 6

1.2.2 Le fasi del ciclo di vita del prodotto pag. 8

CAPITOLO 2

2.1 Product Lyfecycle Management pag. 11

2.1.1 Introduzione pag. 11

2.2 Stato dell'arte del PLM pag. 12

2.2.1 Vantaggi di un sistema PLM pag. 16

2.2.2 Struttura delle funzionalità dei sistemi PLM pag. 18

2.2.3 Componenti di un PLM pag. 19

2.2.3.1 Come si applica un Workflow pag. 21

2.2.3.2 Architettura di un sistema Workflow pag. 22

2.2.3.3 Gestione delle eccezioni nei Workflow pag. 23

2.2.3.4 Come funziona un Workflow dinamico pag. 24

2.2.3.5 Considerazioni generali sul Workflow pag. 25

2.2.4 Bom Manager pag. 25

2.2.5 Implementazione di un sistema PLM pag. 27

2.2.5.1 Fasi dell'implementazione del PLM pag. 29

2.3 PLM e progettazione CAD 2D/3D pag. 30

2.4 Approccio basato sull'ontologia del ciclo di vita del prodotto pag. 33

2.5 Strumenti di analisi dei costi: LCA e LCC pag. 36

CAPITOLO 3

3.1 Introduzione al Digital Twin pag. 43

3.2 Digital Twin nell'industria del cablaggio pag. 49

3.3 Vantaggi del Digital Twin pag. 51

3.4 Digital Twin per gli Asset Management pag. 53

3.5 Stato dell'arte degli Asset Management pag. 55

3.6 Modellazione di Gemelli Digitali pag. 56

CAPITOLO 4

4.1 Il ruolo del Prototipo Virtuale pag. 63

4.2 Introduzione pag. 63

4.3 Definizione pag. 65

4.4 Processi di Prototipazione Vituale pag. 67

4.5 Strumenti di Prototipazione Vituale pag. 68

4.6 Vantaggi della VP pag. 71

4.7 Sistemi 3D per la collaborazione PLM asincrona pag. 72

4.8 Realtà virtuale pag. 81

4.8.1 Realtà virtuale a supporto delle liste di controllo interattive immersive pag. 83

CAPITOLO 5

5.1 Holonic Manufactoring System pag. 89

5.1.2 Introduzione pag. 89

5.1.3 Stato dell'arte degli HMS pag. 92

5.1.4 Funzionamento del Sistema di Produzione Olonico pag. 95

5.1.5 Considerazioni pag. 101

6.1 CONCLUSIONI pag. 102

CAPITOLO 1

1.1 INTRODUZIONE

Il bisogno di conoscere il futuro è molto importante nel momento in cui l'avvenire è assai incerto e l'analisi del passato è fatta con lo scopo di individuare quelle relazioni costanti e capaci di aiutare la gestione del presente e di consentire qualche supposizione sul futuro.

Il mondo in cui viviamo è sottoposto ad una continua spinta evoluzionistica. Le mode, i bisogni dei consumatori variano in maniera rapida ed imprevedibile. Allo stesso modo, le scoperte scientifiche e le nuove tecnologie che si stanno sviluppando, con una sempre maggiore velocità, modificano ulteriormente il contesto economico e sociale con il quale ci confrontiamo quotidianamente. Le imprese, nella loro continua lotta alla sopravvivenza, sono costrette ad adattarsi celermente a questi cambiamenti, implementando strategie sempre nuove, elaborando modi per differenziarsi dai competitor e, soprattutto, riuscendo a prevedere, o almeno ad immaginare, ciò che andrà a succedere. Al giorno d'oggi quindi le aziende si trovano in un contesto economico moto competitivo e per tale ragione vi è spesso il confronto con i concorrenti. Bisogna perciò studiare le varie soluzioni che possano alimentare il vantaggio competitivo nel proprio settore. Ma quali strumenti si devono adoperare per raggiungere la differenziazione con i competitor? Sappiamo bene che le esigenze del cliente sono cambiate e sicuramente aumentate soprattutto in termini di qualità e servizi secondari. È richiesto il miglior prodotto, al prezzo più basso e nel minor tempo possibile. Al fine di ciò l'azienda o l'impresa deve investire in due campi fondamentali:

- Migliorare l'efficienza interna ed esterna, eliminando tutto ciò che non è a valore aggiunto per il prodotto
- Puntare all'innovazione del prodotto, del processo, della struttura e dell'organizzazione.

Secondo queste esigenze, le imprese devono concentrarsi sulle loro competenze distintive al fine di migliorare le efficienze, azzerare le inefficienze e ottenere una fidelizzazione col cliente. Di certo verranno enfatizzate le attività di ingegneria mentre le inefficienze nelle funzioni di produzione e distribuzione non saranno tollerate.

A questo proposito il lavoro di tesi sarà sviluppato sulla descrizione del ciclo di vita del prodotto e sulle tecniche che le imprese oggi adottano al fine di ottenere un "prodotto centrico" che possa portare l'impresa a raggiungere gli obiettivi di business auto prefissati, arrivando all'apice del proprio sviluppo.

1.2 DEFINIZIONE DEL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO

Il ciclo di vita del prodotto – anche noto come "PLC" (dall'inglese Product Lifecycle) è l'insieme delle fasi che caratterizzano la sua evoluzione nel tempo e la cui durata è determinata dall'andamento delle vendite. Queste sono quattro e sono identificabili in quattro principali momenti: lo sviluppo del prodotto con conseguente introduzione nel mercato, la sua crescita, la sua maturità e il suo declino. Il tempo di permanenza di un prodotto nel mercato non si può stabilire a priori, ma può essere più o meno veloce a seconda delle condizioni dell'ambiente esterno e della nascita di nuovi bisogni cui il prodotto non riesce a sopperire. Ciascuna delle fasi del ciclo di vita del prodotto è caratterizzata da strategie che riguardano gli indicatori della situazione del mercato, come il grado di concorrenza, il prezzo, i costi, le vendite, la distribuzione e i consumatori e nell'analisi del loro andamento possono essere rivalutate ed eventualmente modificate per cercare di prolungare nel tempo la presenza del prodotto sul mercato. [1]

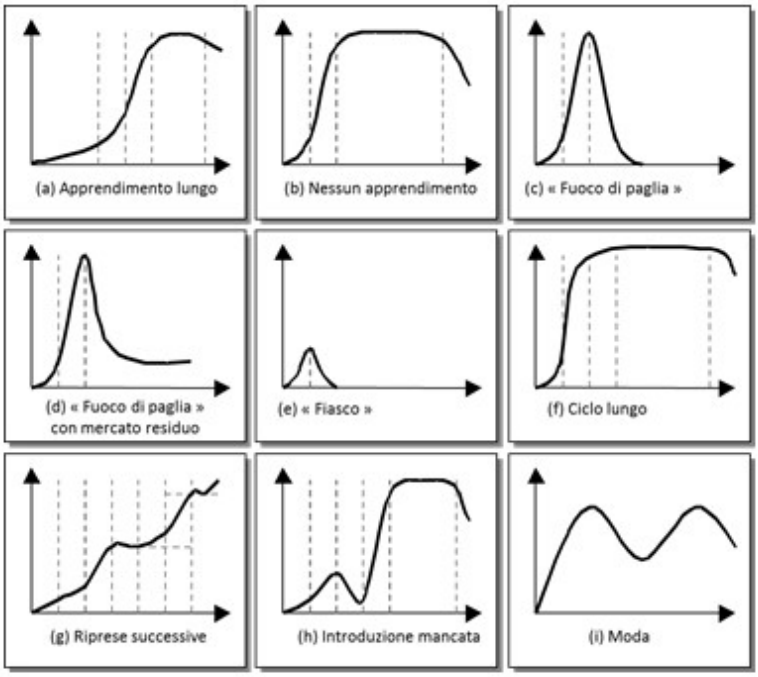
1.2.1 GRAFICO DEL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO[1]

Il modello di ciclo di vita del prodotto fu teorizzato per la prima volta nel 1965 da Theodore Levitt in un articolo della Harvard Business Review dal titolo "Sfruttare il ciclo di vita del prodotto". Secondo Levitt, il susseguirsi delle fasi di introduzione, crescita, maturità e declino implica l'adozione di diverse strategie di marketing e di posizionamento del prodotto. Il grafico con cui viene identificato deriva da una struttura che sull'asse orizzontale mette il tempo e in quello verticale la domanda, dando origine alla parabola delle vendite.

FIGURA 1

In base all'andamento nel tempo del prodotto e partendo dal modello di riferimento di Levitt, Chester Wasson ha invece identificato nove possibili variabili in cui la rappresentazione grafica derivante dalle due variabili ortogonali (il tempo nelle ascisse e la domanda nelle ordinate) descrive la natura della risposta del mercato di riferimento. È possibile allora così rintracciare modelli in cui è accentuato il livello di vendite raggiunto, che prendono il nome di "fuoco di paglia" e di "fiasco"; modelli in cui la scalabilità è rapida perché tra prodotto e cliente scatta un "colpo di fulmine"; modelli che garantiscono la sostenibilità economica secondo cicli lunghi.

Sempre Chester Wasson, nel 1974, ha rielaborato il modello di Levitt identificando cinque fasi: sviluppo del mercato, sviluppo veloce, turbolenza competitiva, saturazione/maturità e declino [1].



FUGURA 2

1.2.2 LE FASI DEL CICLO DI VITA DI UN PRODOTTO[1]

Il ciclo di vita di un prodotto esiste perché i bisogni e le preferenze dei consumatori cambiano nel tempo. Le fasi che lo caratterizzano sono quattro e a ciascuna di esse possono essere associati differenti comportamenti da parte dei consumatori e della concorrenza e conseguentemente diverse soluzioni e strategie di marketing.

- **INTRODUZIONE**

La prima fase del ciclo di vita del prodotto è quella relativa allo sviluppo dello stesso e alla sua introduzione nel mercato. La durata di questa fase dipende dalla predisposizione del mercato di riferimento ad accettare l'innovazione, ma visti gli scarsi profitti iniziali e i costi unitari di produzione e distribuzione elevati, la sua brevità è un bene per l'impresa. La lenta crescita delle vendite è legata a fattori quali la diffidenza del mercato nei confronti di un prodotto non ancora sperimentato, le difficoltà a modificare le abitudini di consumo degli acquirenti e la concorrenza indiretta nei confronti di prodotti sostituibili. Per sostenere l'accelerazione delle vendite l'impresa si serve di un piano di marketing in cui le campagne di promozione

sono volte a far conoscere il nuovo prodotto, le sue caratteristiche e i suoi benefici, al fine di far crescere la domanda. In questa fase si registrano perdite per l'impresa poiché vi sono entrate modeste e numerose spese per sostenere l'attività di commercializzazione e promozione che favoriscano la penetrazione del nuovo prodotto nel mercato.

Per quanto riguarda invece le politiche di prezzo, esso può essere elevato se si attuano strategie di scrematura che permettono un maggiore profitto alla luce del fatto che il bene non è imitabile nel breve periodo o molto basso se si attua una strategia di penetrazione del mercato data dalla facile sostituibilità del prodotto.

I consumatori sono in genere gli anticipatori, coloro che inseguono le novità per distinguersi dalla massa. Everett Rogers, nella sua teoria in cui individua l'atteggiamento mentale delle persone davanti a un prodotto innovativo, li identifica sia come *innovator* che come *earlyadopter*.

- **CRESCITA**

Quando la curva di vendita sale e raggiunge il *break even point*, nel mercato iniziano a entrare i concorrenti e comincia la fase di crescita. La disponibilità del prodotto conferisce visibilità e ne favorisce la diffusione, gli acquirenti soddisfatti ripetono i loro acquisti e influenzano altri potenziali acquirenti. Le vendite sono in aumento e i profitti raggiungono un picco massimo per poi diminuire. In questa fase diminuiscono anche i costi unitari di produzione e i costi di distribuzione grazie all'aumento dei volumi fabbricati e dell'effetto esperienza nei consumatori. Così come per la fase di introduzione, la politica dei prezzi è soggetta a strategie di scrematura o di penetrazione del mercato. Vengono aperti nuovi canali di distribuzione, le aziende più grandi cercano di guadagnare terreno acquisendo aziende più piccole già attive nel mercato e stringendo delle alleanze strategiche. Da un punto di vista comunicativo l'azienda punta a campagne pubblicitarie aggressive e non avendo più la necessità di far conoscere le caratteristiche del proprio prodotto può puntare a messaggi che inducano il consumatore a preferire la propria marca rispetto a quelle concorrenti. Le azioni di marketing sono finalizzate a consolidare ed estendere la posizione del

prodotto sul mercato, costruire un'immagine forte e promuovere la fedeltà nei confronti del brand.

- **MATURITÀ**

Una volta che il prodotto si è diffuso in tutto il potenziale mercato ci si avvicina alla sua saturazione, entrando nella fase di maturità. Il prodotto genera ancora profitti ma in misura inferiore rispetto alla fase di crescita e i prezzi sono inferiori ma stabili. Il volume di vendita è ridotto e i consumatori, molto esigenti, hanno una profonda conoscenza del prodotto. Non si acquisiscono nuovi clienti se non sottraendoli ai competitor attraverso strategie di prezzo più basso e i competitor offrono beni complementari e servizi collegati per potersi differenziare. Dal punto di vista comunicativo, le attività promozionali e pubblicitarie rimangono intense per conservare la posizione sul mercato, mentre il compito del marketing è esplorare nuove nicchie, ricercare vantaggi competitivi di costo e di differenziazione basandosi sulla catena del valore e puntare alla relazione ponendo l'accento sulla fidelizzazione del cliente.

- **DECLINO**

Nel momento in cui la domanda comincia a decrescere, l'azienda si trova a dover comprendere se il prodotto ha iniziato una fase di declino o vi è un arresto temporaneo delle vendite. Sul mercato cominciano ad apparire nuovi prodotti con migliori prestazioni, le preferenze e le abitudini di consumo si modificano, emergono cambiamenti nell'ambiente in cui si trova il mercato. La competizione commerciale si incentra sul prezzo e dove non è possibile ridurre, l'azienda decide di eliminare il prodotto o di rilanciarlo. In quest'ultimo caso si parla di mietitura del prodotto se si riducono al minimo gli investimenti sul prodotto e si riducono le spese sfruttandone comunque la redditività; si parla di rivitalizzazione invece quando migliorandolo si prova ad allungarne la vita per fare in modo che esso generi ancora dei profitti. I consumatori perdono l'interesse nei confronti del prodotto e gli investimenti in marketing e sviluppo di quest'ultimo diminuiscono.

CAPITOLO 2

2.1 PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT

2.1.1 INTRODUZIONE

In un mondo come il nostro, dove l'economia è diventata la base del sistema, le imprese devono fronteggiare sempre più clienti pretenziosi in quanto richiedono un prodotto che vada a soddisfare le loro aspettative in termini di qualità e tempi di consegna. Proprio per questo nell'ultimo decennio le aziende hanno investito in nuove tecnologie informatiche che hanno permesso per un breve periodo di ridurre i tempi di consegna in maniera imponente. Col passare del tempo questi strumenti informatici sono stati ritenuti non sufficienti per garantire risultati di una portata cosi ampia. A questo proposito le imprese hanno dovuto svilupparsi in un "sistema aperto" andando a considerare non solo il modo per migliorare gli strumenti già esistenti, ma considerando anche l'informatizzazione dell'intero processo per arrivare ad una gestione matura e qualificata dei dati del prodotto avendo a disposizione le tecniche più innovative e avanzate per garantire un'analisi del ciclo di vita del prodotto il più corretta possibile. In realtà al giorno d'oggi sono molti gli strumenti che permettono di rimediare a certi errori e di garantire una buona correttezza delle operazioni, come per esempio i sistemi CAD, CAM e CASE. Un difetto che frena gli ingegneri ad utilizzare questi strumenti è il fatto che ancora utilizzano troppo spesso documenti cartacei per il controllo e la validazione dei dati. A fronte di ciò, molte aziende che pensavano di essersi automatizzate, si trovano ancora sormontate da dossier e fascicoli con cui ogni giorno devono fronteggiarsi.

A questo proposito sono stati inseriti dal mondo dell'ingegneria sistemi che vanno completamente a risolvere questo problema in modo nuovo, rendendo le imprese totalmente informatizzate e autonome. Stiamo parlando di un nuovo mercato IT in rapida crescita: i sistemi PLM (Product Lifecycle Management, Gestione del Ciclo di Vita del Prodotto). Questa nuova tecnologia non solo è una risoluzione agli errori, ma anche una nuova strategia di business per le imprese in quanto permette una gestione dei dati di un progetto accessibile a tutti gli interessati e quindi non solo a tecnici o progettisti. Le soluzioni PLM sono ovviamente legate alle TIC, ma saranno adottate da

chi ha interesse ad avere una strategia globale di gestione del ciclo di sviluppo del prodotto in quanto saranno pienamente utili quando le imprese considereranno il processo totale di un prodotto a partire dalla progettazione fino alla sua sostituzione.
In questo capitolo viene proposta un'analisi della gestione del ciclo vita del prodotto, partendo dalla sua definizione, dalla descrizione dei suoi componenti e andando a vedere in che ambito è usato fino ad arrivare ad una sua ontologia.

2.2 STATO DELL'ARTE DEL PLM

Il PLM non nasce fin da subito come tale, ma è il risultato di un'evoluzione di processi.

- Per la gestione dei primi dati tecnici per lo sviluppo del prodotto gli ingegneri inizialmente possedevano un sistema chiamato EDM (Electronic Document Management). Era caratterizzato da un database con un relativo archivio elettronico di dati di progetto, dove ogni progettista possedeva la propria chiave di accesso per poter modificare i file. Un sistema EDM consentiva ad un'impresa di creare, archiviare, modificare, stampare, elaborare e gestire in modo elettronico i documenti, le immagini, i video e gli audio, nonché in forma di testo. Permetteva inoltre di gestire i dati e classificarli per prodotto o per funzione, codificare i dati, definire liste di distribuzione e documenti. L'EDM era integrato con i workflow ovvero la tecnologia che modifica, crea, esegue e gestisce i processi delle attività. In pratica è una tecnologia che permette di indicare il tipo di lavoro da fare all'utente incaricato, permettendogli di visualizzare i documenti di riferimento.

FIGURA 3

- Un'evoluzione dell'EDM è stato il PDM. Mentre il primo era più orientato verso l'area tecnica, il PDM si allargava verso altre aree soprattutto nell'area della supply chain che consiste nella gestione della catena di distribuzione riguardante diverse attività logistiche delle aziende, con l'obiettivo di controllare le prestazioni e migliorarne l'efficienza [4]. Grazie ad una tecnologia PDM si andava ad acquisire e a gestire automaticamente le informazioni sui prodotti facilitando la collaborazione all'interno dell'azienda e in tutta la catena del valore. I sistemi PDM potevano essere integrati anche con altre tecnologie come CAD, ERP, SCM e CRM, andando a sfruttare la conoscenza del prodotto derivanti da altre aree come quella della produzione, dell'assistenza post-vendita ecc..

  Quindi i sistemi PDM servivano per permettere una collaborazione efficiente tra persone e processi automatizzando e tenendo traccia dei workflows e della supply chain di un'organizzazione, aumentando il rendimento e la standardizzazione della gestione dei dati.

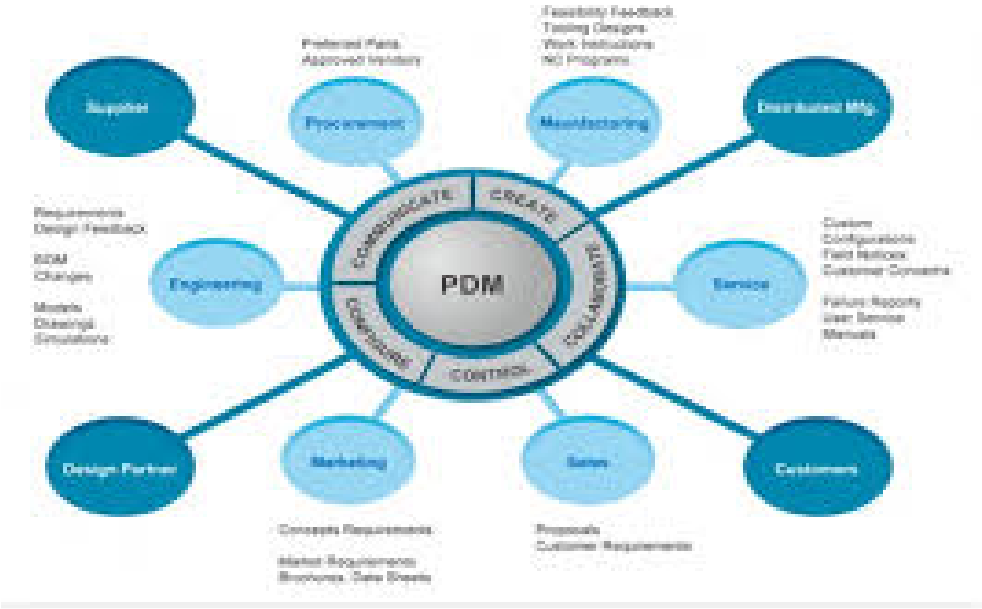


FIGURA 4

- L'acronimo di PLM venne utilizzato per la prima volta verso la fine degli anni 70', inizio anni 80', e andava a denotare quelli che erano gli studi di progettazione e produzione di compatibilità ambientale. In tali termini si andava ad indicare uno

studio di tutte le fasi dello sviluppo del prodotto in base al suo impatto ambientale, arrivando al fine vita del prodotto stesso e al suo riciclaggio. Successivamente il termine PLM ebbe un ulteriore sviluppo verso la fine degli anni ’90 e venne usato per indicare la gestione di tutte le attività relative al prodotto e alle sue fasi avendo una visione più globale in termini ambientali.

Di conseguenza questa nuova tecnologia ha spinto chi faceva uso dei sistemi PDM a fare un ulteriore passo in avanti andando a presentare i loro prodotti sotto nuove sembianze, funzionalità e prestazioni. I principali motivi per cui si passò ad un nuovo sistema di gestione di vita del prodotto erano: [5]

- La richiesta di ridurre continuamente i tempi di sviluppo dei prodotti
- La conseguente necessità di accelerare i tempi dall’idea del prodotto alla progettazione e realizzazione
- L’adozione generalizzata di strumenti avanzati e dedicati per lo sviluppo dei prodotti (CAD,CAM,CIM, MRP) che, essendo soluzioni indipendenti, richiedono un’ integrazione ed un coordinamento a livello aziendale
- L’enorme aumento del volume dei dati generati dai prodotti software e l’affermarsi dell’utilizzo di sistemi informatici a qualsiasi livello dell’azienda

Quindi quello del PLM è un nuovo approccio strategico alla gestione delle informazioni, dei processi e delle risorse a supporto del ciclo di vita del prodotto partendo da una gestione centralizzata di tutti i dati e di tutte le tecnologie utilizzate per accedere alle informazioni fondamentali per lo sviluppo del prodotto stesso. Di conseguenza al giorno d’oggi il PLM può essere visto come una tecnologia di altissimo livello.

A fronte di questa spiegazione gli obiettivi che le imprese potranno raggiungere adottando questa nuova tecnologia saranno: [5]

- Migliore qualità dei dati – Tutti i dati che si riferiscono allo stesso prodotto possono essere associati tra loro elettronicamente (anche se di tipi diversi)
- Maggiore congruenza dei dati – I dati divengono effettivi immediatamente dopo essere stati creati o aggiornati. Non vi sono più ritardi, eliminando così il rischio di

progettisti che lavorano contemporaneamente su diverse versioni dello stesso dato, senza sapere con certezza se stanno operando su quella corretta.

• Maggiore trasparenza dei dati – Anziché far esaminare i dati a turno ad un progettista/revisore, l'intero progetto/prodotto viene analizzato contemporaneamente dall' intero gruppo di lavoro. Ad esempio, i tecnici di produzione possono iniziare a studiare le caratteristiche progettuali del prodotto (apportando la propria esperienza) molto tempo prima che i disegni arrivino sul tavolo degli addetti alla produzione.

• Controllo e distribuzione dell'informazione – i dati possono essere resi disponibili agli utenti giusti al momento giusto, inibendo capacità di modifica a coloro non abilitati e fornendo automaticamente accesso alle nuove informazioni in base allo stato dei dati.

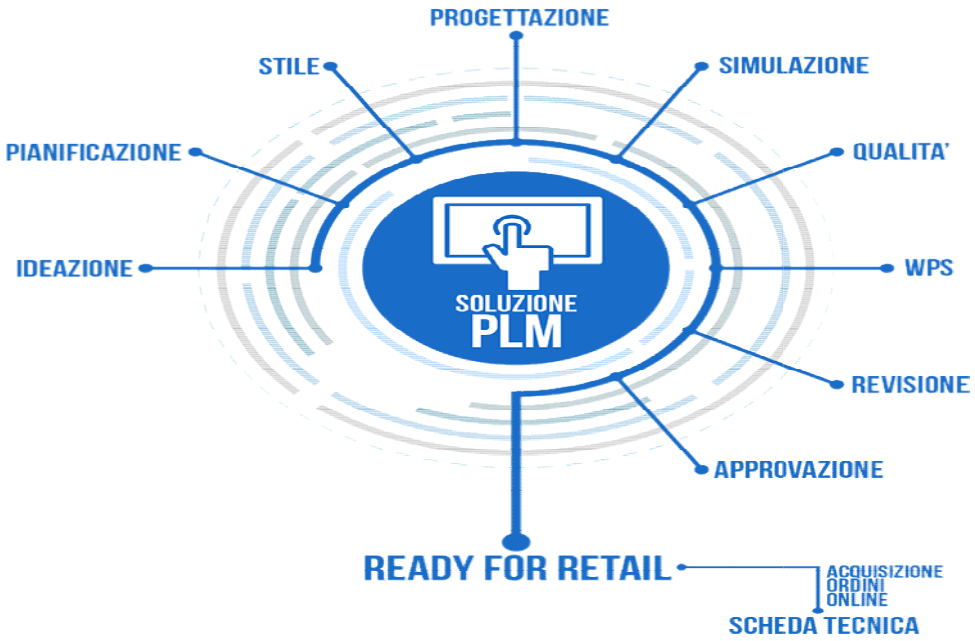


FIGURA 5

2.2.1 VANTAGGI DI UN SISTEMA PLM

Come è stato inteso precedentemente la gestione del ciclo di vita del prodotto è una strategia di business per la gestione delle informazioni, dei processi e delle risorse all'interno di un'azienda, partendo dall' ideazione del prodotto fino al suo ritiro.

Nelle imprese sussisteranno sempre problematiche legate al mancato controllo delle caratteristiche principali dei singoli prodotti, che a volte può portare l'azienda a prendere decisioni difficili come la revoca del prodotto stesso.

A questo proposito un buon sistema PLM può aiutare le aziende a mantenere saldo il proprio status nel mondo del business andando a controllare scrupolosamente quelle che sono le caratteristiche dei loro prodotti e tutte le informazioni relative ad essi.

Qualsiasi prodotto prima di "uscire" da un'azienda e raggiungere il mercato ha bisogno di controlli frequenti e approvazioni interne ed esterne, quindi la mancanza di un adeguato sistema PLM potrebbe comportare il rischio di immettere sul mercato prodotti che differiscono dalle richieste dei clienti o l'azienda stessa. Proprio per questo motivo chi adotterà un sistema PLM potrà sfruttare tutte le potenzialità dei suoi componenti di cui verrà discusso in seguito, e quindi trarne vantaggi e benefici.

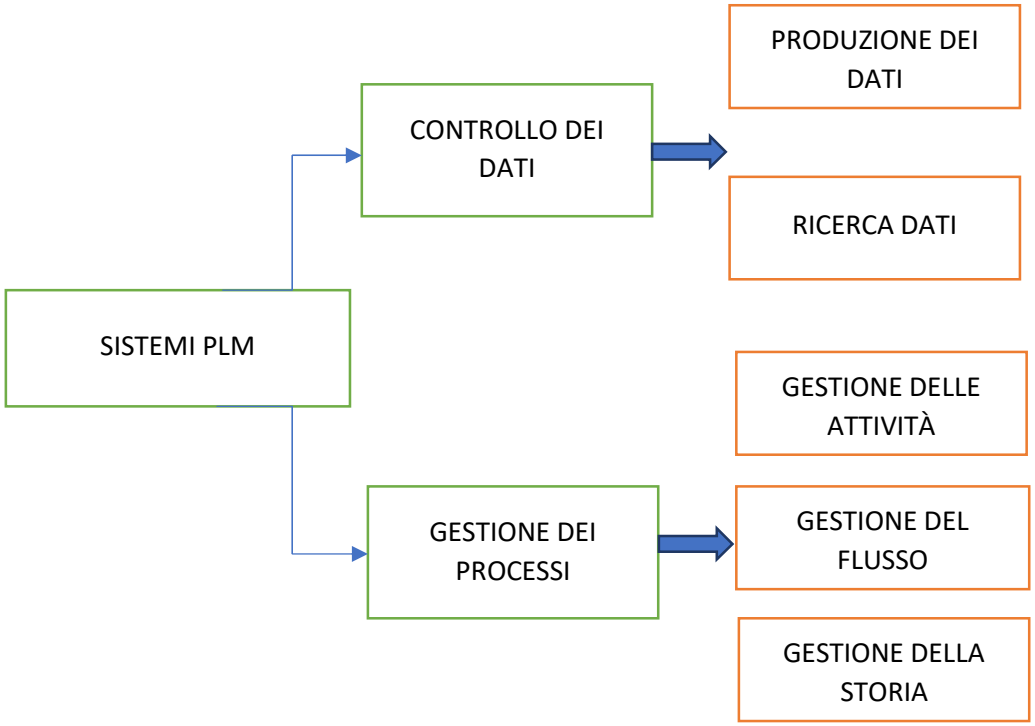
I miglior vantaggi nell'utilizzo di un software PLM sono: [6]

- Controllo in tempo reale su tutti i dati di prodotto
- Riduzione degli errori
- Miglioramento della qualità e dell'affidabilità del prodotto
- Aumento della produttività
- Ottimizzazione della collaborazione della supply chain
- Riduzione dei costi
- Migliore utilizzo delle risorse
- Migliori report e analisi
- Razionalizzazione della progettazione del prodotto e del processo di approvazione

ma anche: [5]

- Mantiene una traccia di tutti documenti e di tutti i risultati di collaudo relativi a modifiche al prodotto, riducendo al minimo i rifacimenti e i possibili errori di progetto;
- Incoraggia il gruppo di progetto alla risoluzione dei problemi consentendo a ciascuno di rilanciare le idee dei colleghi, grazie alle funzioni di trasferimento di fascicoli elettronici e distribuendo il medesimo set di informazioni (il "fascicolo di progetto") a tutti i partecipanti.
- È molto pratico da usare poiché la maggior parte è in grado di funzionare all'interno della struttura organizzativa esistente senza scostamenti significativi. Quando un utente ha bisogno di consultare le informazioni in un PLM, l'applicazione necessaria alla visualizzazione/modifica dei dati è automaticamente attivata, in modo da offrire all'utente un ambiente di lavoro completo.
- Protegge l'integrità dei dati ovvero oltre a rendere immediatamente accessibili a tutti gli stessi dati, garantisce la sicurezza e il mantenimento di tutte le informazioni storiche.
- Permette una gestione della struttura di prodotto, delle modifiche, del controllo della configurazione e della rintracciabilità dell'informazione.
- Permette di creare ed aggiornare diverse revisioni e versioni ovvero le iterazioni di progetto possono essere create senza rischiare che le versioni precedenti siano perdute o involontariamente cancellate.

2.2.2 STRUTTURA DELLE FUNZIONALITA' DEI SISTEMI PLM



L'obiettivo che si propongono i sistemi PLM è quello di accelerare il più possibile i cicli di sviluppo dei prodotti, mantenendo sempre un rigoroso controllo dei dati, assicurandosi che possano essere utilizzati facilmente da esperti autorizzati. Svolgono il loro compito andando a gestire i dati in un unico blocco costudito all'interno di un "deposito" protetto per garantire la correttezza dei dati documentando le modifiche che vengono attuate nel corso del tempo. I dati che provengono da queste operazioni poi sono nuovamente memorizzati tramite aggiornamenti.

- Quando si parla di **controllo dei dati** andiamo a spiegare come il PLM non deve limitarsi solo a contenere uno stato corrente del progetto, ma la storia del progetto, ovvero deve andare a registrare tutti gli stati che sono stati percorsi dal sistema a seguito di modifiche e aggiornamenti.

Si parla di un vero e proprio 'processo di auditing' che è un requisito fondamentale per assicurare il rispetto delle norme internazionali di Controllo della Qualità, secondo VISIO 2000, ISO 9000, EN 29000 o BS 5750: la gestione storica del progetto permette di tornare ad esaminare particolari punti del ciclo di sviluppo in cui è sorto un problema,

o di ritornare su un punto dal quale ripartire per un nuovo progetto. Altri sistemi permettono di registrare le modifiche sotto forma di “istantanee” scattate soltanto nei momenti in cui un dato cambia il proprio stato: lacune consistenti nella storia del progetto possono comunque rimanere, dato che è possibile che un utente abbia passato settimane a modificare un progetto senza mai modificarne lo stato. [5]

- Per **gestione dei processi** intendiamo i modi in cui gli addetti specializzati possano andare a creare e modificare i dati presenti nel sistema, andando a studiare e organizzare le attività sui dati che a loro volta vengono attribuite dal reparto di gestione del progetto.

Le principali operazioni svolte dalla gestione dei processi sono [5]:

- Gestire ciò che accade ai dati quando qualcuno li elabora (“gestione delle attività”)
- Gestire il flusso di dati tra le diverse persone o funzioni aziendali (“gestione del flusso”)
- Documentare tutti gli eventi e spostamenti che si verificano durante le fasi della vita di un progetto (“Controllo e Pianificazione”).

2.2.3 COMPONENTI DI UN PLM

Come è stato già detto, il PLM è un insieme di strumenti e metodi di software di lavoro integrati fra di loro che servono per fronteggiare e connettere le varie fasi del ciclo di vita del prodotto e per gestire l’intero processo. Le imprese possono permettere di compiere queste determinate operazioni grazie alla struttura interna del PLM, quindi grazie ai suoi componenti.

Le strutture principali all’interno del PLM sono: il data manager, il workflow manager, la BOM manager.

In ordine andremo ad esaminare i vari componenti.

1) **Data manager**: corrisponde alla gestione dei dati e opera creando una gerarchia. I dati devono essere prima classificati per poi essere implementati con una codifica e infine gestiti.

Un data manager può avere due strutture:

- struttura con “database unico” che può essere utilizzato sia per i dati tecnici che per quelli gestionali
- struttura con “database a ponte” dove si hanno dei database singoli per le varie arie tecniche e gestionali che poi verranno sincronizzate con un database generale.

Ogni file all’interno del PLM deve essere codificato per poter essere rintracciato dagli utenti specializzati; ci sono quattro tipi di codifica:

- Codice parlante
- Codice gerarchico
- Codice semiparlante
- Codice progressivo

Qui interviene il data manager che dà la possibilità di gestire qualsiasi codice come una cartella dove all’interno si può inserire tutta la documentazione relativa. Inoltre ha la capacità di gestire la cronologia delle revisioni e la memorizzazione delle note di modifica.

Di conseguenza sarà molto utile perché permette di avere un archivio organizzato per classi, ovvero classi merceologiche ognuna delle quali ha degli attributi specifici.

2) **Workflow manager:** è uno dei principali moduli del PLM perché se nel data manager avviene la gestione dei dati, qui avviene la gestione del processo per automatizzare le attività del ciclo di vita del prodotto.

   Secondo la W.M.Coalition il worflow è *“l’automazione di tutto o parte di un processo di business, durante il quale documenti, informazioni o attività sono passati da un partecipante all’altro per essere elaborati in accordo ad un insieme di regole procedurali”.*

Il WF quindi aggiunge delle regole per poter automatizzare i processi, regole che derivano da conoscenze aziendali.

È formato principalmente da 2 elementi:

- Workflow designer: è un modulo che si occupa di disegnare il vero e proprio flusso dei dati tramite schede standard.

- Workflow Engine: è il motore che manda il run al flusso precedentemente costruito. Fornisce tutto ciò che serve per andare dall'avvio alla conclusione del processo.

2.2.3.1 COME SI APPLICA UN WORKFLOW

Una volta definito quello che sarà il processo del ciclo di vita del prodotto, si va a focalizzarsi sulla creazione e sulla successiva esecuzione del workflow in modo che il sistema gestisca tutte le attività. Ovviamente possono esserci uno o più motori di workflow. La fase successiva sarà quella di interagire con i partecipanti ovvero si vanno a fornire tutte le specifiche della relativa documentazione necessaria. Ci si affida quindi a degli strumenti software che permettono di avviare automaticamente applicazioni di supporto al partecipante specifico. Vi sono diversi operatori/partecipanti finalizzati all'implementazione del workflow; di seguito andremo ad elencarli:

1) Istanza di processo: è l'attività vera e propria del workflow, ovvero comprende le varie azioni ed operazioni che sono state effettuate per il trattamento di un caso dato.
2) Attore: è una risorsa ed è colui che svolge le attività. Può essere una persona fisica o un programma software automatico).
3) Buono di lavoro (work item): sono quelli che ogni singolo attore riceve quando si reca della propria home page. Va ad indicare quindi quello che devono fare gli attori delle attività in cui sono coinvolti. Può essere attivo se è in fase di esecuzione ed è presente un buono di lavoro, oppure inattivo se non ci sono buoni da lavoro.
4) Lista di lavoro: è l'insieme dei buoni di lavoro
5) Amministratore della lista di lavoro (worklist handler): è colui che distribuisce i vari work item. Può essere fisico o un software guidato da regole.
6) Base dei buoni di lavoro (work item pool): è l'insieme di tutti i buoni di lavoro accessibili
7) Ruoli (roles): sono utili per le assegnazioni da parte dell'amministratore ai vari attori. È importante perché permette di generalizzare il workflow.

8) Dati: ne esistono di tre tipi e sono:
   - Applicabili
   - Di controllo
   - Pertinenti

Abbiamo quindi definito il WF come uno strumento all'interno del PLM, ma in realtà può essere utilizzato anche esternamente senza utilizzare sistemi PLM. In questo caso l'implementazione avviene da un database già esistente.

2.2.3.2 ARCHITETTURA DI UN SISTEMA WORKFLOW

Il cuore del WF è il *workflow engine* che si occupa delle esecuzioni di tutte le istanze. All'interno vi sono quindi tutte le varie API. Successivamente abbiamo i *process definition tools* che consentono la modellazione del WF in un linguaggio comprensibile dal motore. Ci sono dei *tool* per il controllo, che permettono di far svolgere varie funzioni e permettono di distribuire i diversi work item ai partecipanti interessati, e, allo stesso tempo, questi tools permettono di monitorare i KPI (Key performance indicator) per il controllo dei processi del WF. Vi è un modulo di *invoked application* che permette di richiamare altri strumenti software utili nello svolgere le attività.

Si può suddividere il sistema in **Build-time** e **Run-time**.

- Il primo comprende la definizione del processo e la modellazione delle attività che le compongono quindi la creazione di tutti i link.
- Il secondo invece riguarda la gestione dei processi di workflow durante l'esecuzione.

Da un'analisi dettagliata dei principali workflow utilizzati si è evidenziato come gli svantaggi di questi sistemi siano la scarsa conoscenza e la scarsa adattabilità a cambiamenti dinamici. In caso di cambiamenti o di eccezioni, difficilmente si riesce ad implementare un WF in maniera automatica, infatti, il loro utilizzo è consigliato quando vi sono delle regole idonee e i processi siano ben definiti e chiari tra loro; tuttavia vedremo nel paragrafo successivo come in alcuni sistemi di WF più complessi e più avanzati vi siano all'interno dei moduli che permettono l'adattamento a cambiamenti dinamici.

2.2.3.3 GESTIONE DELLE ECCEZIONI NEI WORKFLOW

Il limite maggiore è gestire i cambiamenti che avvengono durante il Run-time. Per ovviare questa problematica spesso è l'amministratore che deve "imbrogliare" il sistema cioè deve andare ad effettuare modifiche manualmente al fine di far proseguire il processo senza inceppi. L'amministratore quando imbroglia trasferisce la propria *conoscenza* per modellare un problema. Quando viene modellato un WF, oltre a definire le situazioni di processo, devono essere previste anche quelle situazioni particolari che portano a delle eccezioni.

Quest'ultime si dividono in:

- Expected: sono quelle previste da chi ha modellato il WF.
- Unexpected: sono quelle mai previste prima. Sono dovute ad eventi infrequenti e mai avvenute prima. Si devono individuare delle azioni da eseguire per ripristinare il flusso. Si utilizzano delle regole ECA in presenza di un'eccezione per classificarle. Il software individua l'evento, associa a questo evento una determinata condizione eccezionale rispetto a quanto modellato e individua l'azione da applicare per risolvere il sistema.
- Eventi: si verifica un'eccezione in caso di *manipolazione dati* (incongruenza con valori/dati attesi), *eventi esterni* (accordi diversi presi telefonicamente rispetto ad accordi presi tramite software, quindi decisioni previste ma non ufficializzate attraverso WF), *eventi di workflow* (generalmente quando vi è un errore nell'attivazione o terminazione di un task), *eventi temporali*.
- Condizione: si occupa di individuare la causa dell'evento. Il sistema reagirà eventualmente applicando o meno delle azioni, allo stesso tempo verificherà gli agenti coinvolti
- Azione: sono operazioni informative che inviano messaggi di task o azioni correttive andando a cambiare la direzione di flusso o andando a terminare una determinata attività.

2.2.3.4 COME FUNZIONA UN WORKFLOW DINAMICO

In presenza di un'eccezione si dovrà capire se si tratta di un'eccezione ***expected*** o ***unexpected***, quindi si dovrà capire se è conosciuta, individuabile e risolvibile. (se non è risolvibile il sistema manda una notifica all'amministratore). Attraverso i workflow dinamici, che sono dotati di un motore di gestione di eccezione, si riesce a stabilire il se è expected o unexpected.

Se è ***expected*** attiva le azioni per renderla risolvibile e la risolve.

Nel caso in cui si tratta di un'eccezione ***unexpected*** si richiama un ulteriore modulo per la risoluzione. L'eccezione viene estratta in modo da essere interpretata per poi cercare soluzioni simili; si ricercano tutte le eccezioni simili caratterizzate da alcuni attributi. A questo punto si cercano tutte le soluzioni possibili valutando anche gli eventuali impatti sul WF in modo da intraprendere la soluzione migliore. La soluzione viene registrata all'interno delle regole e messa in esecuzione. Si riesce quindi a classificare l'eccezione "anomala" per poi risolverla.

Il sistema agisce come un SELF-LEARNING perché registrando la soluzione per eccezioni mai incontrate in precedenza, permette di ampliare la conoscenza e allo stesso tempo permette al WF di essere più adatto a cambiamenti dinamici.

2.2.3.5 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL WORKFLOW

In conclusione il workflow va ad automatizzare le informazioni definendo le attività elementari che devono essere compiute. Coordina l'iterazione tra le attività del processo e gli strumenti che creano e modificano gli oggetti delle attività. Vi è però un limite anche nel WF perché affinché funzioni bisogna creare tutti i collegamenti tra attività e documenti di cui ho bisogno. Generalmente si è molto generici nel definirlo in modo da essere adattabile anche per altri prodotti.

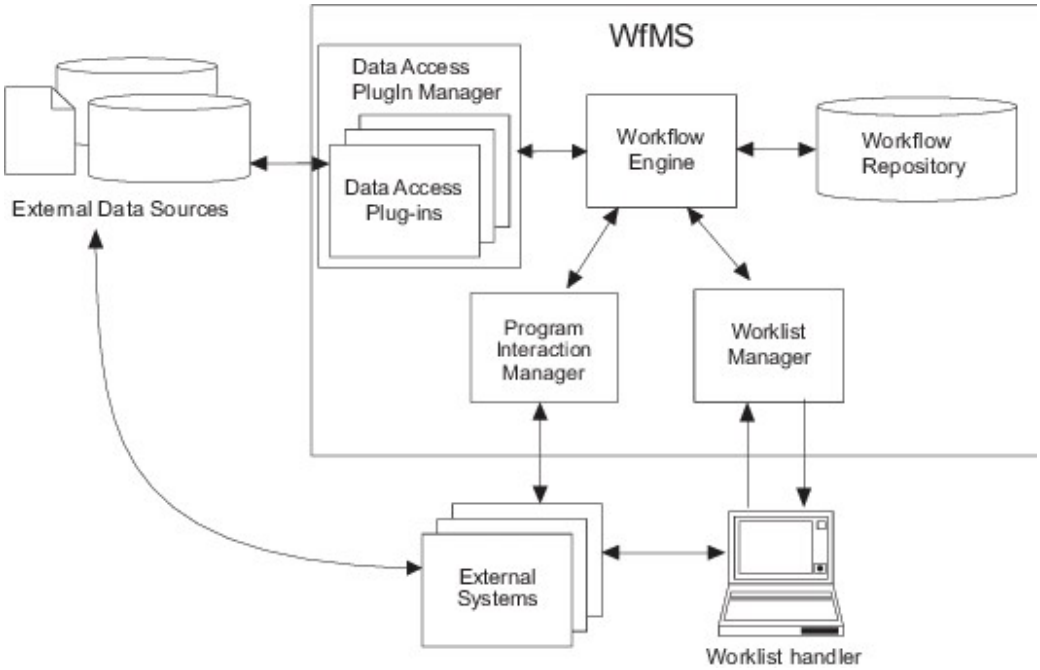


FIGURA 6

2.2.4 BOM MANAGER

Il BOM (Bill of Materials) è una tecnica di rappresentazione della struttura del prodotto. Si presenta come un albero formato da sotto assiemi, parti e materiali costruttivi che integrati realizzano l'assieme completo del prodotto/sistema. Ciascuna parte e ciascun materiale costruttivo (item) è descritto con la quantità di materiale necessario per produrlo. I componenti del BOM si strutturano attraverso relazioni padre-figlio. Ciascun item del BOM è indicizzato a mezzo di un insieme di campi descrittivi, che comprendono il codice del componente e codici degli "item parenti": sono campi che consentono di generare i legami tra due o più items. Dato un generico

componente, il BOM consente di definire a quale albero di prodotto il componente appartiene, a quale livello dell'albero e qual è la sua esatta posizione nella struttura dei prodotti a cui è legato. Quanti più attributi riusciamo ad inserire nella BOM tanto più sarà completa e dettagliata la BOM stessa. Da questo riusciremo ad estrapolare più facilmente le distinte base.

Il BOM è un report elettronico che contiene la completa descrizione del prodotto; esso può essere strutturato in modi diversi a seconda del tipo di informazione mostrata dal BOM: può essere strutturato come livello singolo, multi-livello, modulare, a matrice e di costo. La struttura delle informazioni contenute nel BOM di prodotto viene generata automaticamente dal sistema in cui il modello di prodotto è stato creato, generalmente con sistema CAD parametrici. Dentro al CAD, nella rappresentazione dei vari componenti, è riportato il BOM. È quindi molto utile per strumenti PLM perché se il prodotto è costituito da dieci parti o da dieci milioni, per avere successo è essenziale gestire e configurare efficacemente le distinte base.

BOM Manager

BOM Manager

3. Vessel Assembly (Hierarchical)

Mechanical component | Component description

Vessel Assembly

No.	Component	Physical material	Material density, kg/m³	Volume, cm³	Mass, kg	Quantity
1	CONNECTION H	ASTM-A276-316L	7900.00	80.28	0.63	1
1.1	ACTUATOR VALVE	ASTM-A276-316L	7900.00	32.76	0.26	1
1.2	TRANSITION PIECE	ASTM-A276-316L	7900.00	47.52	0.38	1
2	CONNECTION J	ASTM-A276-316L	7900.00	80.28	0.63	1
2.1	ACTUATOR VALVE	ASTM-A276-316L	7900.00	32.76	0.26	1
2.2	TRANSITION PIECE	ASTM-A276-316L	7900.00	47.52	0.38	1
3	FLANGE			2416.26		2
4	GASKET					1
5	HAND HOLE			4523.51		1
6	HIGHT SPEED MIXER			9762.24		1
7	HOMOGINIZER			10235.08		1
8	ISO 4033			6.03		60
9	LEG			1646.02		4
9.1	EURO-CHAN 24-62			1106.52		1
10	MIXER_A			13592.99	34.59	1
10.1	ANCHOR STIRRER			3949.21	30.66	1
10.1.1	AGITATOR SHAFT	ASTM-A276-316L	7900.00	1507.30	11.91	1

Bill of materials properties

Title	<NAME>
Type	Hierarchical
Property set	Mechanical only
Filter	
Sorting mode	Automatic order
Counting mode	Count instances in parent component
Footer title	TOTAL:

FIGURA 7

La descrizione del prodotto in ambito tecnico-produttivo avviene quindi attraverso la distinta base, dove i vari componenti sono legati con relazioni padre-figlio formando una struttura ad albero. Ciascun elemento della distinta può essere caratterizzato da una serie di priorità il cui tipo e numero dipendono dallo spazio in cui la distinta è utilizzata e letta.

La distinta risulta descritta da due tipi di dato:

-gli elementi di distinta

-legami di distinta.

In ambito produttivo essa è descritta oltre che da elementi e legami anche dal *un ciclo di lavorazione*, dal *costo della lavorazione*, se interna o esterna all'azienda, e dal *tipo di risorsa* impiegata. Da qui prende il nome di distinta di produzione.

È stato detto che nel BOM sono presenti anche multi-viste del BOM, ovvero delle rappresentazioni differenti del prodotto che consentono di vedere solo alcune informazioni organizzate in maniera differente a seconda dell'ambito aziendale in cui vengono utilizzate.

È evidente che assicurare l'esistenza e la compatibilità delle informazioni contenute le rappresentazioni differenti non è banale. In questo i database relazionali e i sistemi PLM sono fondamentali nella garanzia di uniformità di dati, codici e modelli.

2.2.5 IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA PLM

Nell'industria manifatturiera odierna c'è un dibattito vivace e acceso sul fatto che l'implementazione del Product Lifecycle Management (PLM) debba essere affrontato come un **progetto di Ingegneria o come un'iniziativa IT**.

Quale approccio è risultato essere il più vincente? La risposta è: nessuno dei due. O meglio: entrambi.

Benché sia il COO (**Chief Operating Officer)** che il CTO (**Chief Technology Officer)** siano due protagonisti chiave del progetto, essi dovrebbero operare in modo indipendente per poter trarre il **maggior vantaggio e valore dal ROI del PLM in tutti i dipartimenti aziendali**: Produzione, Acquisti, Progettazione, Controllo qualità, Gestione della

garanzia e IT. Il Dipartimento di Engineering ha un profondo interesse nel successo del progetto e nella rapida realizzazione per soddisfare i nuovi requisiti di progettazione del prodotto. Da parte sua, il CIO (**Chief Information Officer)** è anche responsabile del successo dell'implementazione, della manutenzione e del supporto dell'applicazione PLM. Entrambi dovrebbero essere consapevoli fin dall'inizio dell'importanza della loro collaborazione e della responsabilità che si assumono, come team, nei confronti delle altre business unit. [7]

Molte imprese affrontano questo dilemma ogni giorno quando integrano nel loro sistema il PLM.

Il PLM, che prima veniva più usato per processi di ingegneria e per i dati CAD, ora è diventato soluzione IT aziendale dove tutti i sistemi delle aziende sono collegati. È diventato il "cuore" aziendale che racchiude in sé tutte le più complesse sinergie e iterazioni come Produzione, Acquisti, IT, Ingegneria, Controllo qualità e Gestione delle garanzie.

Tutti coloro che hanno come obiettivo una riduzione del Time-to-market e dell'efficienza dei costi utilizzano un sistema PLM, e proprio per questo sarà importante compiere con successo l'implementazione di un sistema PLM. I passi fondamentali che ogni azienda dovrebbe compiere sono: [7]

- **Iniziare con un obiettivo, una missione: "one Goal, one Mission"**, prima di sviluppare una strategia è importante nominare le figure esecutive che guideranno l'iniziativa in ciascun reparto poiché il PLM raggiungerà tutti gli ambienti dal punto di vista di persone, processi e sistemi.
- **Formare un Core Team per la gestione del programma:** un errore commesso ripetutamente dalle imprese è quello di considerare il reparto IT capace di gestire tutto autonomamente e da solo. È necessario invece creare un team composto da stakeholders interni e da consulenti esterni con esperienza qualificata in modo da poter definire insieme una visione accurata del progetto e per mantenere un equilibrio durante l'intera fase di implementazione.
- **Valutare i vantaggi del software PLM per tutte le business unit:** scegliere il PLM significa dare un investimento maggiore all'impresa che è fondamentale per avere

un rendimento massimo. Nella valutazione di un buon PLM bisogna includere criteri che riguardano la produttività, l'efficienza della produzione, la riduzione della responsabilità di garanzia e la validazione del percorso di qualità.

- **Comunicare lo scenario futuro al team:**Importante è ipotizzare e far toccare con mano lo scenario futuro in termini di miglioramento e beneficio del lavoro quotidiano, delineando l'ambiente As-Is e lo stato futuro di tutti i sistemi IT aziendali che saranno interessati dal sistema PLM aziendale. Individuare i requisiti completi della soluzione consentirà agli stakeholders non solo di comunicare in modo più efficace tra team, ma anche di pianificare un budget e prendere decisioni migliori insieme.

In conclusione l'impresa per ottenere un rendimento massimo da un sistema PLM dovrà quindi considerare quelli che sono gli aspetto **tecnologici** e **metodologici**, partendo quindi da una scelta del fornitore e del team, arrivando a studiare il processo aziendale per valutare il suo impatto, studiando il processo As-Is e To Be.

2.2.5.1 FASI DELL'IMPLEMENTAZIONE DEL PLM

1) **Analisi:**

- dal punto di vista del processo si va a studiare i processi aziendali identificando quelli che sono i punti critici
- dal punto di vista del prodotto/risorse ci sarà una classificazione che comprenderà la codifica di quelli che saranno gli utenti, gli import, e l'integrazione con i sistemi CAD 2D e 3D.

2) **Sviluppo**: implica la scelta del fornitore e l'avvio di un progetto pilota per capire se può funzionare sul mercato. Facendo una simulazione di implementazione attraverso un progetto pilota si cerca di capire se l'operazione avrà esisto positivo e quindi a quel punto potrà essere immessa sul mercato.

3) **Installazione-configurazione:** si definiscono delle strutture di classi e di attributi del database e quindi si vanno a definire delle regole di codifica per avere un'interfaccia chiara del sistema.

4) **Importo dati:** si importano dati delle anagrafiche, del BOM e dello storico del CAD

5) **Definizione integrazioni software:** si attua un'integrazione con il CAD 2D e 3D, ma anche con tutti gli altri software utili all'azienda.
6) **Gestione dei link interni al PLM:** si attua una gestione dell'import/export delle anagrafiche e del BOM.

Per non arrivare al fallimento l'impresa dovrà capire quali potrebbero essere i problemi di implementazione e capire se si tratterà di un problema tecnologico o metodologico. Ovviamente nel caso dovessero incontrare ostacoli di questo tipo, per l'azienda sarà più facile risolvere un problema tecnologico che metodologico poiché quest'ultimo risulta essere un mancato studio di configurazione o un mancato studio preliminare dei processi.

2.3 PLM E PROGETTAZIONE CAD 2D/3D

Come è stato trattato precedentemente la collaborazione e la comunicazione sono fattori molto importanti all'interno di un'impresa, entrambi devono essere fluidi, snelli e automatizzati al massimo per poter accelerare il time to market e gestire l'intero flusso di lavoro senza commettere errori umani. Gestire contemporaneamente i modelli, i campioni, ma anche i costi, è un'operazione difficile e che deve essere svolta in maniera molto accurata se si vuol arrivare ad una resa massima dello sviluppo aziendale.
A questo proposito l'impresa non adopererà da sola, ma implementeranno sistemi di progettazione assistita 2D e/o 3D. la progettazione CAD è una grandissima risorsa in quanto va a facilitare la rappresentazione del prodotto finale, andando a facilitarne la comprensione e permettendo agli utenti di poter apportare modifiche durante tutta la fase di ideazione e sviluppo.

Progettazione 2D: [5]
Storicamente la prima necessità aziendale è stata la gestione dell'archivio di disegni bidimensionali, che ha subito modifiche rilevanti, dipendentemente dalle possibilità

tecnologiche: si è passati dall'archiviazione cartacea mista (archivio "storico" cartaceo e nuovo in formato elettronico), fino a quella completamente elettronica.

In quest'ultimo caso si può tuttora distinguere tra:

- Archiviazione su file-system locale o centralizzato
- Gestione dei file CAD di disegno (utilizzando strumenti interni e memorizzazione su server
- Gestione documentale (check repository centralizzata)
- Gestione integrata della memorizzazione e recupero del disegno dal database centrale (PDM/PLM)

All'aumentare della centralizzazione e dell'integrazione della gestione derivano maggiori benefici:

- Migliore reperibilità e controllo sul disegno
- Automatizzazione di ricerche e procedure di ricerche
- Controllo di archivio
- Gestione semplificata delle problematiche di backup

Progettazione 3D[5]

La progettazione 3D è più sofisticata e potente di quella 2D: la rappresentazione virtuale dell'oggetto fornisce capacità di controllo e di ispezione avanzate e complesse.

La distinzione tra i vari sistemi di modellazione esistenti sul mercato è basata sostanzialmente sulla filosofia di approccio al problema, dalla quale derivano alcune delle peculiarità tecniche dei sistemi. Una classificazione possibile distingue tra:

- Sistemi di modellazione parametrici
- Sistemi di modellazione "history-based"
- Sistemi di modellazione dinamica "feature-based"

L'esperienza di mercato è che i fornitori di sistemi CAD stanno inserendo, nelle ultime versioni, tecnologie derivate dai prodotti concorrenti, ove esse si siano dimostrate valide e produttive: nel futuro è lecito aspettarsi un sostanziale livellamento dei prodotti in ordine a capacità e caratteristiche.

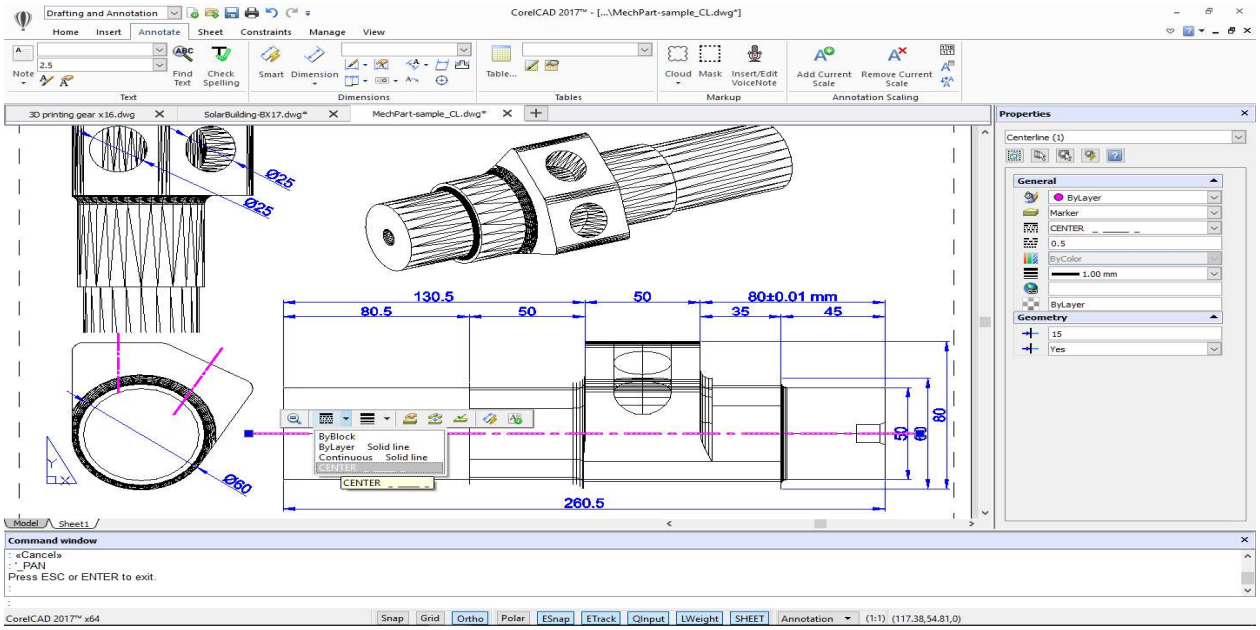


FIGURA 8

2.4 APPROCCIO BASATO SULL'ONTOLOGIA DEL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO

Come viene descritto nell'articolo [8] una nuova tendenza nei campi di ricerca è quella di far uso delle ontologie, ovvero vengono convertiti i modelli esistenti in ontologie. In questo articolo l'attenzione è mirata ai sistemi PLM in quanto è stato sviluppato un nuovo modello ontologico a oggetti semantici di Product Data e Knowledge Management per PLM, con l'obiettivo di implementare i vantaggi e le funzionalità dell'ontologia del modello. Viene descritto in dettaglio uno sforzo iniziale di sviluppo del modello in un'ontologia utilizzando Web Ontology Language-Description Logic (OWL-DL) e vengono forniti lo sfondo e le motivazioni per convertire i modelli PLM esistenti in ontologie.

Come si è già specificato l'obiettivo del Product Lifecycle Management è quello di gestire tutti i processi aziendali e i relativi dati del ciclo di vita del prodotto. Un requisito fondamentale che ogni sistema PLM deve avere è quello di garantire la tracciabilità del prodotto garantendo l'acquisizione di tutte le informazioni necessarie lungo il ciclo di vita del prodotto. Inoltre rendere queste informazioni "intelligenti" è un aspetto chiave di sistemi futuri che mirano a migliorare le prestazioni nella gestione dei dati e nella loro trasformazione in informazione e conoscenza. Purtroppo una grande quantità di conoscenza delle informazioni è stato perso a causa della mancanza di capacità di ragionamento e a causa della mancanza di interoperabilità e integrazione di elementi dei sistemi PLM. Un primo passo per colmare queste lacune è la definizione gerarchica comune. Il controllo completo e la distribuzione delle informazioni tra i diversi agenti e fasi del ciclo di vita è l'obiettivo fondamentale per l'approccio PLM. Inoltre, utilizzando nuovi strumenti con capacità di ragionamento aggiuntive si dimostrano molto promettenti per facilitare i futuri sistemi PLM. È stato sviluppato un modello di ontologia dei dati e della conoscenza del prodotto, ovvero il Management Semantic Object Model (SOM), con l'obiettivo di implementare i vantaggi dell'ontologia e le caratteristiche del modello. La decisione per uno sviluppo di un file ontology è stata ispirata dalle capacità di questa nuova tecnologia combinando il layout della struttura dei dati, il ragionamento logico di descrizione e le regole della semantica del web.

I modelli di ontologia supportano diverse utili caratteristiche dove le principali sono:

- condividere la comprensione comune della struttura delle informazioni tra agenti umani e/o software
- consentire il riutilizzo della conoscenza del dominio
- formulare ipotesi di dominio esplicito
- separare la conoscenza del dominio dalla conoscenza operativa
- fornire un'analisi formale dei termini e, sulla base di esse, analizzare la conoscenza del dominio

L'analisi formale dei termini è estremamente preziosa quando si tenta sia di riutilizzare che di estendere le ontologie. Questo lavoro quindi mira ad implementare questi vantaggi in un modello esistente in modo efficiente e semplice.

La decisione di utilizzare OWL-DL è stata ispirata dal ragionamento sulle capacità del DL, che va a fornire il controllo della coerenza, realizzazione e recupero.

In accordo con Horrocks "DLs are a family of logic-based knowledge representation formalisms creating an object orientend model".

Le istanze, le classi e le relazioni tra le classi sono l'edificio a blocchi utilizzati dall'ontologia per descrivere il dominio. Un'ontologia costituita da questi termini ed essendo sviluppata in DL, è estensibile poiché DL consente la composizione delle descrizioni delle classi e delle relazioni, esprimendo che una classe è una sotto-classe o un'equivalente di un'altra classe. Inoltre, DL supporta il ragionamento supportando il progettista del modello con informazioni sulle incongruenze, sui sinonimi e sulle relazioni di classificazione implicite alle regole. Queste sono usate dal ragionatore per aggiornare la gerarchia delle classi.

Nel campo del PLM ci sono diversi lavori recenti che si occupano di ontologie. Fiorentini*(X. Fiorentini, I. Gambino, V.-C. Liang, S. Foufou, S. Rachuri, C. Bock, M. Mani, Towards an Ontology for Open Assembly model, in: Proceeding of the International Conference on Product Lifecycle Management—PLM 07, 2007, 445–456*9 ha tradotto il prodotto principale del NIST model e ha proposto un'ontologia per il Open Assembly

Modem (OAM) che implementa diverse funzionalità OWL. Inoltre Fiorentini ha dimostrato come implementare le ontologie nei modelli di prodotti già esistenti.

J.H.Lee*(J.-H. Lee, H.-W. Suh, Owl-based product ontology architecture and representation for sharing product knowledge on a web, in: 2007 Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, DETC2007; 2 Part B, 2007, pp. 853–861*) ha sviluppato invece un modello per condividere la conoscenza del prodotto di Beginning Of Life su un web. S.C.Brandt(*S.C. Brandt, J. Morbach, M. Miatidis, M. Theißen, M. Jarke, W. Marquardt, An ontology-based approach to knowledge management in design processes, Computers and Chemical Engineering 32 (1-2) (2007) 320–342*)applica ontologie alla gestione della conoscenza nei processi di progettazione con l'obiettivo di rendere comprensibile la conoscenza dei processi di progettazione e allo stesso tempo accessibile a tutti gli ingegneri. Zhang e Yin *(W.Y. Zhang, J.W. Yin, Exploring semantic web technologies for ontology-based modeling in collaborative engineering design, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36 (9-10) (2007) 833–843*)fanno un tentativo di applicare ontologie in un ambiente di progettazione multi-agente distribuito. Sun *(S.-H. Suh, S.-J. Shin, J.-S. Yoon, J.-M. Um, UbiDM: a new paradigm for product design and manufacturing via ubiquitous computing technology, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 21 (5) (2008) 540–549)* utilizza ontologie per l'interoperabilità e presenta un modello dove si usano come input i dati dell'intera vita dei prodotti per la progettazione e la produzione di nuovi prodotti. Jun*(H.-B. Jun, D. Kiritsis, P. Xirouchakis, A primitive ontology model for product lifecycle meta data in the closed-loop PLM, in: R.J. Gonzalves, J.P. Mu¨ller, K. Mertins, M. Zelm (Eds.), Enterprise Interoperability II: New Challenges and Approaches, Springer Verlag London Limited, 2007, pp. 729–740)* ha sviluppato un modello ontologico per i metadati dei ciclo di vita del prodotto per un PLM Closed-Loop.

In questi lavori sono dimostrati i vantaggi del modello ontologico che aiuta a raggiungere modelli di interoperatività, necessari ad abilitare il pieno potenziale del PLM. Quindi sviluppando regole DL, questo modello si è esteso ancor di più andando

ad incorporare capacità di ragionamento che rendono il PLM più affidabile, più sicuro e quindi più accurato.

2.5 STRUMENTI DI ANALISI DEI COSTI: LCC E LCA

- LCC [2]

Ufficialmente, il costo del ciclo di vita è stato coniato nel 1965 in un rapporto intitolato Life Cycle Costing in Equipment Procurement pubblicato negli Stati Uniti da Logistics Management Institute (Logistics Management Institute, 1965; Okano, 2001). Successivamente, nel 1974, il concetto di costo del ciclo di vita è stato formalmente adottato dal Dipartimento della salute, dell'istruzione e del benessere degli Stati Uniti in Florida in un progetto intitolato Life Cycle Budgeting and Costingas an Aid in Decision-Making.

In Europa, la metodologia LCC è stata introdotta dagli anni '70. LCC è utile per effettuare una valutazione economica delle alternative che consideri tutti i costi e benefici rilevanti associati a ciascuna attività o progetto nel corso della sua vita. LCC è stato sviluppato sulla base della vista principale del ciclo di vita (Hoogmartens et al., 2014; Hunkeler et al., 2008).

Da un punto di vista generale, esistono diverse definizioni di LCC. Ad esempio, secondo la Commissione Europea, LCC è "Un approccio che valuta i costi di un bene durante il suo ciclo di vita" (EU DG Ambiente, 2008). Mentre secondo ISO15686 — Life planning — building and construction assets, LCC è definito come “Una metodologia per la valutazione economica sistematica dei costi del ciclo di vita nel periodo di analisi, come definito nello scopo concordato” (ISO15686, 2011). In breve, il Life Cycle Costing è una tecnica che permette di valutare tutti i costi associati all'intero ciclo di vita di un prodotto.

Quindi per calcolare i costi lungo il ciclo di vita del prodotto si adotta un metodo che opera attraverso un’analisi approfondita dei costi. Questa nuova metodologia è chiamata Life Cycle Costing (L.C.C). LCC è un metodo che

consiste nella stima del costo totale di un prodotto, tenendo conto dell'intero ciclo di vita del prodotto, nonché dei costi diretti ed esterni. In realtà la stima del costo di un prodotto insieme al suo ciclo di vita o al ciclo di vita del consumo di risorse ambientali e dei rilasci nell'ambiente può fare riferimento allo stesso quadro concettuale. Gli obiettivi e l'ambito devono essere definiti adeguatamente e l'inventario dei dati, inclusi i problemi di allocazione, deve essere considerato. Non è necessario considerare la valutazione dell'impatto attraverso modelli di caratterizzazione nel caso di LCC, poiché tutte le stime sono nella stessa unità monetaria. Tuttavia, è possibile definire concetti di costo del rischio allineati agli impatti midpoint ed endpoint. Infine, la fase di interpretazione è rilevante anche nel caso di LCC.

Il costo del ciclo di vita (LCC) combina i costi di capitale e operativi per determinare l'effetto economico netto di un investimento e valuta la performance economica degli investimenti aggiuntivi che possono essere richiesti per gli edifici verdi. LCC rende possibile quantificare in modo intelligente costi e benefici e confrontare alternative in base allo stesso criterio economico o dollaro di riferimento. Il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) ha recentemente pubblicato uno studio che suggerisce che gli attori chiave nel settore immobiliare e delle costruzioni spesso valutano erroneamente i costi ei benefici degli edifici verdi.

l costo del ciclo di vita (LCC) aiuta le aziende a essere consapevoli di dove si trovano i loro prodotti nei loro cicli di vita, perché oltre agli effetti sulle vendite, il ciclo di vita di un edificio può avere un enorme impatto su costi e profitti.

Ciò rende possibile quantificare in modo intelligente costi e benefici e confrontare alternative in base allo stesso criterio economico o dollaro di riferimento. Inoltre, gli edifici sostenibili possono essere valutati come convenienti attraverso il metodo LCC, che è un modo per valutare il costo totale.

Consiste in:

- Costi iniziali (progettazione e costruzione).

- Costi operativi (energia, acqua / fognature, rifiuti, riciclaggio e altri servizi).
- Costi di manutenzione, riparazione e sostituzione.
- Altri costi / benefici ambientali o sociali (impatti su trasporti, rifiuti solidi, acqua, energia, infrastrutture, produttività dei lavoratori, emissioni nell'aria esterna, ecc.).

In breve, l'*LCC* di un progetto è definito come la somma del costo iniziale totale (*I*) più la somma dei costi annuali di esercizio e manutenzione (*O* & *M*) e dei costi di decomposizione (*D*) alla fine del progetto su la vita del progetto (*n* anni). Quindi:

$$LCC = I + \sum_{t=1}^{T1} \frac{\Delta I}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^{T} \frac{O\&M}{(1+r)^t} + \frac{D}{(1+r)^N}$$

può anche essere scritto come:

$$LCC = \sum_{t=1}^{T} \frac{C_n}{(1+r)^t}$$

Per semplificare, si può presumere che non vi sia alcun investimento incrementale (Δ *I*) in qualsiasi momento durante la durata (T1) del progetto e nessun costo di decomposizione quindi:

$$LCC = I + \sum_{t=1}^{T} \frac{O\&M}{(1+r)^t}$$

Tra i vantaggi, in primo luogo, *LCC* è un mezzo decisionale manageriale utilizzato nella scelta del miglior progetto tra diverse alternative. In secondo luogo, *LCC* è utile per l'analisi della sensibilità dei compromessi tra l'*ICC* di un investimento specifico e i costi operativi futuri per ottenere i costi totali minimi durante la durata di un progetto. In terzo luogo, *LCC* fornisce informazioni per ridurre l'*ICC* e progettare apparecchiature per ridurre al minimo i costi di *O*&*M*.
Tra gli svantaggi c'è il periodo di tempo utilizzato in *LCC* che potrebbe essere troppo lungo perché la nuova tecnologia emergente renderà la vecchia tecnologia obsoleta prima della fine della loro vita economica. In questo caso, molto probabilmente sarebbe stato investito nel progetto più del necessario. La

tecnologia emergerebbe prima della fine di questo periodo che rende l'attrezzatura obsoleta. Ciò richiede un'attenta stima di *LCC*. Un secondo grande svantaggio di *LCC* è lo sviluppo di un modello per descrivere l'*O&M* nel corso della vita di un progetto. Database disponibili e strumenti predittivi per la stima di *O&M* sono generalmente inadeguati; quindi, *LCC* è spesso molto difficile, se non impossibile, da applicare a problemi reali.

Quando dovrebbe essere applicato l'LCC?

L'analisi con LCC può essere utile in fasi diverse: [3]

NELLA FASE PREPARATORIA	PRIMA DELL'AGGIUDICAZIONE	DURANTE L'AGGIUDICAMENTO	DOPO L'AGGIUDICAMENTO
Per valutare il LCC della situazione attuale	Per valutare in modo generico soluzioni differenti per supportare attività di dialogo con il mercato, oppure per restringere le differenti soluzioni tecnologiche da considerare.	Per confrontare le offerte durante la fase di valutazione ed aggiudicazione	Per valutare il rendimento della soluzione selezionata in rapporto alla situazione precedente, ad altre offerte e di comunicarne i risultati.

- LCA [2]

L'LCA (Life Cycle Assessmen) è uno strumento di analisi economica ingegneristica (EA) utile per confrontare il merito relativo delle alternative di progetto concorrenti. George Paul Demos, ingegnere di stima presso CDOT, fa eco a questo e osserva che, "Il primo componente di un'equazione LCC è il costo. Ci sono due principali categorie di costi in base alle quali i progetti devono essere valutati in un LCA: spese iniziali e spese future. Le spese iniziali sono tutti i costi sostenuti prima dell'occupazione della struttura. Le spese future sono tutti i costi sostenuti dopo l'occupazione della struttura. La definizione dei costi esatti di ciascuna categoria di spesa può essere alquanto difficile al momento dello studio LCC. Tuttavia, attraverso l'uso di ipotesi ragionevoli, coerenti e ben documentate, è possibile preparare un LCA "credibile". Secondo Demos, i seguenti sono considerati passaggi principali essenziali per eseguire una corretta analisi dei costi:

1. Stabilire gli obiettivi
2. Identificare i vincoli e specifica le ipotesi
3. Definire il caso base e identifica le alternative
4. Impostare il periodo di analisi
5. Definire il livello di impegno per lo screening delle alternative
6. Analizzare gli effetti del traffico
7. Stimare benefici e costi relativi al caso base
8. Valutare il rischio
9. Confrontare i vantaggi netti e classifica le alternative
10. Dare consigli

Sieglinde Fuller del National Institute of Standards and Technology (NIST) afferma: "L'LCA è particolarmente utile quando le alternative di progetto che soddisfano gli stessi requisiti di prestazione, ma differiscono rispetto ai costi iniziali e ai costi operativi, devono essere confrontate per selezionare uno che massimizza il risparmio netto. Ad esempio, "LCA aiuterà a determinare se

l'incorporazione di un sistema HVAC o di vetri ad alte prestazioni, che può aumentare il costo iniziale ma portare a costi operativi e di manutenzione drasticamente ridotti, sia conveniente o meno." Ma quando si tratta di allocazione del budget, l'utilizzo di LCA non è vantaggioso.

L'obiettivo principale della LCCA è calcolare i costi complessivi delle alternative di progetto e selezionare il design che salvaguardi la capacità della struttura di fornire il più basso costo totale di proprietà in linea con la sua qualità e funzione. L'LCCA deve essere eseguito nelle prime fasi del processo di progettazione per consentire eventuali perfezionamenti o modifiche del progetto necessari prima della finalizzazione per ottimizzare l'LCC.

Un altro compito molto importante e impegnativo di un LCCA (o di qualsiasi metodo di valutazione economica per quella materia) è valutare e determinare gli effetti economici di progetti ed essere in grado di quantificare questi effetti e rappresentarli in soldi.

LCA è particolarmente adatto alla valutazione di alternative di progettazione che soddisfano un livello di prestazioni richiesto, ma che possono avere costi di investimento, funzionamento, manutenzione o riparazione diversi; e forse diverse durate di vita.

L'esecuzione di un LCA aumenta notevolmente la capacità e la probabilità di decidere un progetto che può far risparmiare denaro a lungo termine. Tuttavia, questo non allevia parte della potenziale incertezza associata ai risultati LCC, principalmente perché gli LCA vengono generalmente condotti nelle prime fasi del processo di progettazione quando sono disponibili solo stime di costi e risparmi. Questa incertezza nei valori di input significa che i risultati effettivi possono differire dai risultati stimati.

Eseguendo una LCA, gli analisti possono:

- sviluppare una valutazione sistematica delle conseguenze ambientali associate a un determinato prodotto;

- analizzare i compromessi ambientali associati a uno o più prodotti/processi specifici per aiutare gli stakeholder (stato, comunità, ecc.) a ottenere l'accettazione di un'azione pianificata;
- quantificare i rilasci ambientali nell'aria, nell'acqua e nel suolo in relazione a ciascuna fase del ciclo di vita e/o ai principali processi contributivi;
- assistere nell'identificazione di cambiamenti significativi negli impatti ambientali tra le fasi del ciclo di vita e i mezzi ambientali;
- valutare gli effetti umani ed ecologici del consumo di materiale e delle emissioni ambientali per la comunità locale, la regione e il mondo;
- confrontare gli impatti sulla salute e sull'ambiente tra due o più prodotti/processi concorrenti o identificare gli impatti di un prodotto o processo specifico;
- identificare gli impatti su una o più aree ambientali specifiche di interesse.

Tuttavia, la maggior parte dei ricercatori disponibili non è in grado di garantire il raggiungimento di una soluzione ottimale; piuttosto, nella maggior parte dei casi, LCC e LCA vengono utilizzati solo per valutazioni semplici.

CAPITOLO 3

3.1 INTRODUZIONE AL DIGITAL TWIN

Il Digital Twin è un concetto molto importante all'interno delle aziende in quanto sta a rappresentare una nuova era dell'Industria 4.0 poiché va di pari passo con tutto il ciclo di vita del prodotto. La NASA fu la prima a dilettarsi con la "tecnologia di abbinamento", vero e proprio precursore del Digital Twin fin dai primi giorni dell'esplorazione spaziale, passando per Apollo 13. Oggi la **NASA** utilizza il Digital Twin per sviluppare nuove roadmap, veicoli ed aerei di nuova generazione.

Il concetto di Digital Twin risale a una presentazione dell'Università del Michigan nel 2002 per la creazione di un centro di **Product Lifecycle Management (PLM)**. La diapositiva della presentazione, creata dal Dr. Michael Grieves, era semplicemente chiamata "Conceptual Ideal for PLM" e descriveva il tutto come uno specchio (o un gemellaggio) di ciò che esiste nel mondo reale e virtuale. Contiene tutti gli elementi del Digital Twin: spazio reale, spazio virtuale, il link per il flusso di dati dallo spazio reale allo spazio virtuale, il collegamento per il flusso di informazioni dallo spazio virtuale allo spazio reale e ai sub-spazi virtuali. Di recente il Prof. Martin Eigner dell'Università di Kaiserslautern in Germania ha ampliato il Digital Twin nel contesto dell'IoT, Industria 4.0 e nell'Industrial Internet of Things, dicendo *"I prodotti intelligenti richiedono un ripensamento delle strutture e dei processi del prodotto: digitalizzazione, integrazione, interdisciplinarietà e federazione. Il modello di sistema deve supportare il prodotto, la sua produzione e il funzionamento*." [16]

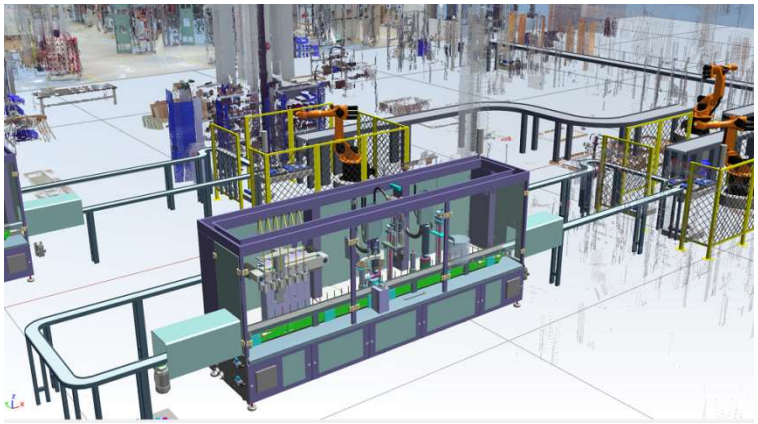


FIGURA 9

Il Digital Twin o anche “gemello digitale”, è una rappresentazione virtuale di un prodotto o processo, utilizzata per comprendere e prevedere le caratteristiche prestazionali della relativa controparte fisica. I Digital Twin vengono utilizzati lungo tutto il ciclo di vita del prodotto per simulare, prevedere e ottimizzare il prodotto e il sistema di produzione, prima di investire in prototipi fisici e asset.

Incorporando funzionalità di simulazione multi-fisica, analisi dei dati e machine learning, i Digital Twin consentono di dimostrare l'impatto di modifiche alla progettazione, scenari di utilizzo, condizioni ambientali e un'infinità di altre variabili, eliminando il ricorso ai prototipi fisici, riducendo i tempi di sviluppo e migliorando la qualità del prodotto o processo finalizzato.

Per assicurare una modellazione accurata nell'intero ciclo di vita di un prodotto o della relativa produzione, i gemelli digitali utilizzano i dati dei sensori installati negli oggetti fisici per determinare le prestazioni in tempo reale, le condizioni operative e i cambiamenti nel tempo di tali oggetti. Grazie a tali dati, il Digital Twin si evolve e si aggiorna continuamente in modo da rispecchiare le modifiche alla controparte fisica in tutto il ciclo di vita del prodotto, creando un ciclo di feedback a circuito chiuso in un ambiente virtuale, che permette alle aziende di continuare a ottimizzare prodotti, produzione e prestazioni a un costo minimo.

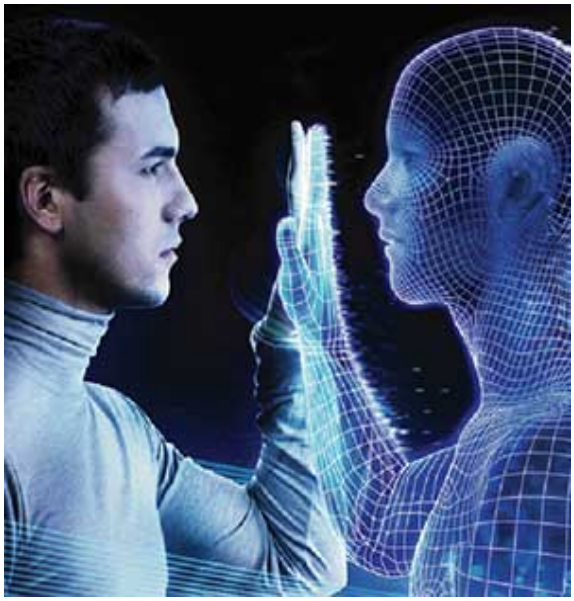


FIGURA 10

Le potenziali applicazioni di un gemello digitale dipendono dalla fase del ciclo di vita del prodotto che modella. In linea generale, esistono tre tipi di gemelli digitali, ovvero **di prodotto**, **di produzione** e **di prestazioni,** che vengono illustrati di seguito. La combinazione e l'integrazione di questi Digital Twin, a mano a mano che si evolvono insieme, prende il nome di Digital Thread (letteralmente, filo digitale). Si utilizza termine "thread" per indicare un percorso che si snoda attraverso tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto e della produzione e ne ricava e aggrega i dati [10].

Gli ambiti del digital twin sono: [11]

- il **modello di dati**; descrizione digitale, attraverso dati geometrici e alfanumerici, di un oggetto reale (di un componente, di un sistema o, per l'AEC, di un intero edificio) e dei processi che lo riguardano (progettazione, produzione, impiego, gestione e manutenzione);
- le **analitiche**; algoritmi di analisi del comportamento dell'oggetto reale (sensori, IoT, ecc.) e dell'ambiente in cui è prodotto od opera. Previsione attraverso il gemello virtuale del funzionamento e della gestione e manutenzione nel ciclo di vita utile. Simulazione delle interazioni con l'utente finale;
- la **conoscenza**; raccolta strutturata e continuata nel tempo di dati storici, esperienze, migliori pratiche, ecc. al fine del miglioramento continuo.

Il **controllo di produzione** impiega il gemello digitale (modello BIM di progetto) per verificare il corretto avanzamento della costruzione secondo le previsioni progettuali e l'esperienza accumulata, nelle produzioni precedenti e nell'uso.

Il **controllo di gestione** impiega il gemello digitale (modello BIM di asset) per verificare il corretto comportamento del fabbricato, e dei suoi componenti, e prevedere il mantenimento della qualità originaria e delle performance nell'uso quotidiano.

Il **controllo strategico** impiega il gemello digitale (modello BIM/GIS) per garantire nel tempo e prevedere la risposta alle mutevoli esigenze dell'utente. Smart city (territorio e ambiente).

Il **modello BIM**, con i suoi oggetti digitali, nel loro insieme di geometrie e dati alfanumerici (modello grafico, elaborati, CDE, ecc.), costituisce, quindi, il gemello

digitale di un edificio o di una infrastruttura, e dei suoi componenti, opportunamente digitalizzata e sensorizzata, sia in fase di produzione, sia in fase di utilizzo.

Andando a classificare i tre tipi di gemelli digitali diremo che: [10]

1) **Gemello digitale di prodotto**: È possibile utilizzare i gemelli digitali per convalidare virtualmente le prestazioni dei prodotti, mostrando al tempo stesso il comportamento effettivo dei prodotti nell'ambiente reale. Questo "gemello digitale di prodotto" fornisce una connessione tra prodotto virtuale e prodotto fisico, che consente di analizzare le prestazioni del prodotto in varie condizioni e apportare modifiche nell'ambiente virtuale per assicurare che il prodotto fisico successivo si comporterà esattamente come previsto. Per quanto complicati possano essere sistemi e materiali, i Digital Twin di prodotto permettono di destreggiarsi in tale complessità per prendere le migliori decisioni possibili. Tutto questo elimina il ricorso a più prototipi, riduce il tempo complessivo di sviluppo, migliora la qualità del prodotto finito e accelera le iterazioni in risposta al feedback del cliente.
2) **Gemello digitale di produzione**: Un Digital Twin di produzione consente di convalidare l'efficacia e l'efficienza di un processo di fabbricazione nel reparto produzione, prima di iniziare effettivamente la produzione. Simulando il processo tramite un gemello digitale e analizzando i motivi dei vari eventi tramite il Digital Thread, le aziende possono definire una metodologia di produzione che garantisce livelli di efficienza costanti in una vasta gamma di condizioni.

   La produzione può essere ulteriormente ottimizzata creando Digital Twin di prodotto per tutte le attrezzature di fabbricazione. Utilizzando i dati dei gemelli digitali di prodotto e produzione, le aziende possono prevenire costosi tempi di inattività delle attrezzature e persino prevedere quando sarà necessaria la manutenzione preventiva. Questo flusso costante di informazioni accurate garantisce operazioni di fabbricazione più rapide, più efficienti e più affidabili.
3) **Gemello digitale di prestazioni**: Prodotti e impianti industriali intelligenti generano enormi quantità di dati relativi all'utilizzo e all'efficienza degli stessi. Il

Digital Twin di prestazioni registra tali dati dai prodotti e dagli impianti in funzione e li analizza in modo da fornire dettagli utilizzabili per un processo decisionale consapevole. Sfruttando i gemelli digitali di prestazioni, le aziende possono:

- Creare nuove opportunità di business
- Ottenere informazioni dettagliate per migliorare i modelli virtuali
- Acquisire, aggregare e analizzare i dati operativi
- Migliorare l'efficienza di prodotti e sistemi di produzione

Non c'è dubbio che il Digital Twin sia il modello di riferimento per tutte le aziende che desiderino essere competitive, ma la sua implementazione richiede alcuni prerequisiti, come disporre delle risorse necessarie in termini di infrastruttura IT e personale qualificato, così come avere un'idea chiara di quali dati è necessario raccogliere e di come proteggerne la riservatezza.

Fatta questa premessa necessaria, vediamo in concreto in che modo il Digital Twin è in grado di creare flussi di entrate supplementari per l'azienda che decide di adottarlo.

Progettazione e miglioramento dei prodotti – Un Digital Twin può aiutare i progettisti di prodotti a prevedere meglio le prestazioni dei prototipi nel mondo reale, in modo che sia possibile apportare modifiche di progettazione rapidamente, realizzare meno prototipi, accelerare la produzione e ridurre i costi di produzione. Nella fase successiva al lancio del prodotto, il Digital Twin degli stock nei punti vendita può aiutare a raccogliere informazioni sui clienti per formulare strategie di posizionamento del prodotto.

Analisi delle prestazioni del prodotto – Una Digital Twin può permettere al rivenditore di riprogettare o persino creare un nuovo processo "end-to-end" per migliorare lo sviluppo e la produzione del prodotto, promuovere la collaborazione tra funzioni diverse e migliorare l'esperienza e il coinvolgimento del cliente.

Offerta di prodotti come servizi – Le aziende possono creare un Digital Twin di un ambito territoriale, come ad esempio una città, e fornirlo come servizio per assistere i responsabili delle politiche di pianificazione urbana. Inoltre è possibile creare un Digital

Twin di un'area, comprendente strade e punti di riferimento, per attivare servizi di prova per auto senza conducente.

Offerta di analisi dei dati come servizio – Nel settore dei servizi, i dati del Digital Twin possono consentire a un'azienda di sostituire componenti prima della loro rottura, per minimizzare i ritardi e le perdite negli introiti. Nella vendita al dettaglio, il Digital Twin può aiutare a prevenire situazioni di esaurimento delle scorte. I rivenditori possono persino utilizzare il Digital Twin di un consumatore-tipo, per raccogliere dati sui suoi modelli di acquisto e di consumo, prevedere le sue esigenze future e proporgli tempestivamente offerte di cross-sell o up-sell.

Offerta di consegna dei dati come servizio – Un produttore può sviluppare un Digital Twin delle prestazioni di una macchina, per rendere disponibili ai clienti i suoi stati critici e i dati operativi tramite il cloud, in modo che i clienti stessi possano visualizzare i dati, monitorare i loro macchinari ed evitare i tempi di fermo.

Offerta di servizi basati sulla raccolta sul campo dei dati di un prodotto – I Digital Twin possono aiutare istituzioni, come ad esempio gli ospedali, a raccogliere dati operativi. Grazie a questo tipo di analisi, gli ospedali possono riprogettare il modo in cui diagnosticano, trasportano e trattano i pazienti, aumentando a loro volta la qualità dell'assistenza e riducendo i tempi di attesa, il costo delle cure e persino la mortalità dei pazienti.

Monitoraggio delle risorse sul campo e manutenzione predittiva – Un'azienda può creare un Digital Twin per ogni apparecchiatura e risorsa chiave sul campo, per raccogliere dati sulle prestazioni e da eventi come le sostituzioni e le riparazioni. Combinando e analizzando tali set di dati, un'azienda può ottimizzare i piani di manutenzione e implementare la manutenzione predittiva, al posto di quella basata sulla pianificazione, prolungando la durata del proprio patrimonio.

Ottimizzazione dell'uso dell'energia – Nelle industrie ad alta intensità di consumi elettrici, un Digital Twin può aiutare a progettare e testare le reti elettriche, per migliorare l'efficienza energetica.

Automazione dei dispositivi e gestione e sistemi – Con il Digital Twin di un sistema di controllo di dispositivi connessi, un'azienda può proteggere tali dispositivi dagli

attacchi informatici, rilevando e isolando eventuali anomalie per ulteriori indagini e mantenere il sistema in funzione. Inoltre, il Digital Twin di un sistema di controllo o di sistemi multipli può aiutare un ingegnere di processo a mettere a punto, ottimizzare e monitorare centinaia di loop di controllo, evitando così problemi dovuti a manipolazioni manuali, oscillazioni del sistema o problemi meccanici [12].

3.2 DIGITAL TWIN NELL'INDUSTRIA DEL CABLAGGIO

Il cablaggio, ovvero l'insieme di dispositivi elettrici e collegati in modo tale da consentire una determinata operazione, presenta un livello di complessità che varia dalla semplice lampadina collegata ad una batteria fino alla composizione dell'impianto che fa funzionare una caffettiera, un'autovettura o, perfino, un aereo.

La tendenza attuale per quanto riguarda i cablaggi elettrici è l'aumento della loro complessità. Come affermato da Siegmar Haasis, CIO presso Daimler AG: "L'80% dell'innovazione e differenziazione dei prodotti riguarda l'elettricità, l'elettronica ed i software''. È per questo che si tende ad aggiungere delle nuove funzionalità al cablaggio, in modo da **diventare più competitivi nel mercato**, come confermato da Simone Treccani, responsabile dell'ufficio tecnico presso l'italiana "El.com": "Alcuni clienti rinnovano il cablaggio elettrico dei propri prodotti ogni anno, altri gli lasciano immutati per decenni. Lì la "differenza qualitativa si sente parecchio".

Sia dovuto alle esigenze di produrre sistemi ogni volta più sofisticati, sia per il bisogno di evitare gli errori durante i processi di progettazione e produzione, l'adozione di programmi che aiutino a gestire questi processi diventano una necessità. A questo punto, entra in gioco il **digital twin**, che permette di fare fronte a questa sfida con un maggiore successo, rispondendo alle domande su:

- Gestione di impianti elettrici complessi
- Come produrre i cablaggi
- Costi
- Interscambio di dati

Generare un gemello digitale significa di avere un appoggio durante la progettazione, la produzione e l'analisi del cablaggio.

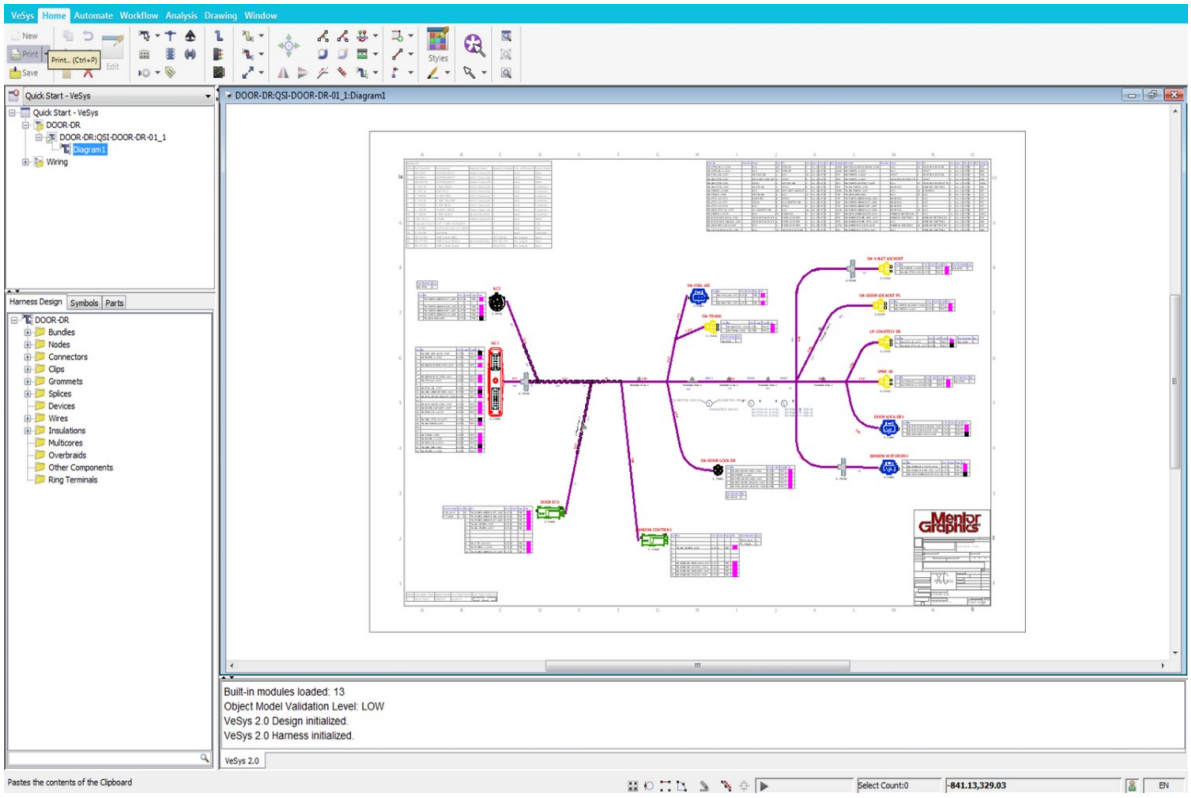


FIGURA 11

Due dei software che **facilitano lo sviluppo e la gestione delle fasi del processo** sono **VeSys** e **Capital**, soluzione avanzata utilizzata da importanti aziende di vari settori. Entrambi i software -con diversi livelli di usabilità, flessibilità e costo- seguono l'intero ciclo di vita del prodotto (PLM) sin dalla progettazione fino alla produzione, favorendo l'automatizzazione dei processi e guidando la progettazione e la gestione di richieste complesse di moderni impianti elettrici, reti e cablaggi, per via dell'integrazione e della continuità dei dati. In questo modo si crea, ad esempio, un flusso di dati diretto tra il progettista di sistemi elettrici e la fabbrica che produce il cablaggio di una determinata macchina, evitando l'inserimento manuale di dati e, dunque, **riducendo sia gli errori, sia i tempi**. I due software sono, inoltre, compatibili tra di loro, in maniera da consentire alle aziende di operare in un ambiente di lavoro customizzato in base alle loro esigenze. [12]

3.3 VANTAGGI DEL DIGITAL TWIN

Dal concept al post-vendita, passando per l'ideazione, l'engineering, il processo, la produzione, la logistica: con il digital twin un prodotto/processo può essere validato interamente nello spazio digitale, con una riduzione significativa dei costi e dei tempi di consegna, nonché un aumento della qualità dei prodotti/processi stessi.

Tra i maggiori punti di forza del digital twin troviamo:

- Il **Virtual Commissioning**, la "messa a servizio virtuale", cioè la simulazione del funzionamento di un macchinario o impianto che testa tutti gli elementi progettati e lo sviluppo software prima della messa in produzione reale. La simulazione può essere: "software-in-the-loop" o "hardware-in-the-loop". In entrambi i casi, il digital twin comunica con un altro software di controllo. Tra i vantaggi del Virtual Commissioning: l'individuazione di eventuali colli di bottiglia nel processo, la riduzione dei costi, l'analisi sull'efficienza e sulla sicurezza dell'impianto, il supporto sia lato vendita (poter mostrare come l'impianto funziona davvero) che lato cliente (in caso di assistenza, grazie all'archivio dati c'è una maggiore facilità di verifiche).
- Il **PLC** (Controllore a Programmazione Logica) che è l'elemento base del sistema di controllo di macchine e processi industriali.

La General Electric da qualche anno associa a ogni turbina venduta un digital twin, che riceve da quella fisica i dati di consumo e permette all'azienda di fornire monitoraggio e assistenza, nonché di continuare a testare il prodotto anche post-vendita e proporre eventuali aggiornamenti a pagamento. Anche le automobili Tesla inviano in tempo reale alla centrale operativa dati che consentono di verificarne funzionalità e utilizzo. Un produttore di compressori, la Kaeser, ha usato i digital twin per passare dalla vendita del prodotto alla vendita di un servizio: monitora le proprie apparecchiature h24 così come i livelli di consumo d'aria su cui applica le tariffe, tagliando i costi delle materie prime del 30%. [13]

Questa nuova tecnologia offre al giorno d'oggi alle aziende di arrivare sul mercato più velocemente e in maniera accurata in quanto permette di: [14]

- **risolvere problemi comuni** con largo anticipo rispetto ai prodotti rilasciati sul mercato;
- **ridurre difetti del prodotto e dei costi di produzione** per eliminare quasi tutti i rischi nei prodotti futuri;
- **spostare dei processi di convalida nel mondo virtuale**, pur mantenendo comunque una connessione virtuale-fisica che consente di analizzare il rendimento di un prodotto in una serie di condizioni e apportare le modifiche necessarie nel mondo virtuale per garantire che il prodotto fisico funzioni esattamente come previsto sul campo;
- **verificare il processo di produzione**, che agisce prima che qualcosa entri effettivamente in produzione. Perfezionando questa caratteristica, l'azienda può impedire costosi tempi di inattività alle macchine e ai robot in fabbrica. È anche possibile prevedere quando sarà necessaria una manutenzione preventiva per evitare tempi di fermo non necessari;
- **accorciare il time-to-market**: arrivare sul mercato più velocemente della concorrenza è un problema che tutte le aziende devono affrontare;
- **risparmiare tempo e denaro** nella simulazione, nelle prove e nelle analisi;
- **fare affidamento non solo sul fisico**: si possono includere informazioni dalle loro prestazioni fisiche nei gemelli digitali per mantenere una versione fedele del mondo virtuale.

Le simulazioni preliminari, permesse dalla replica virtuale di un prodotto reale, nel tempo abbassano i costi dei comparti delle imprese che si occupano di ricerca, grazie alle condizioni operative ottimali, durante le quali testare i consumi, e alle caratteristiche quantitative e qualitative dell'oggetto; al tempo stesso, aumentano le possibilità di effettuare modifiche anche minime ai processi. La simulazione offline dei robot consente, ad esempio, di controllare in modo esatto l'evoluzione del pezzo lavorato dalla macchina, potendo minimizzare completamente la comparsa di anomalie di realizzazione e assicurando così un risultato quanto più vicino alla perfezione.

È importante stare al passo delle innovazioni, come testimoniano anche le parole di Thomas Kaiser, vice presidente di SAP: "I Digital Twin stanno diventando un imperativo aziendale che coprono l'intero ciclo di vita di un bene o di un processo e costituiscono la base per prodotti e servizi connessi. **Le aziende che non risponderanno saranno indietro rispetto alle altre**." [14]

3.4 DIGITAL TWIN PER GLI ASSET MANAGEMENT

Come è stato già spiegato, il ruolo del Digital Twin a supporto del ciclo di vita del prodotto è una risorsa importante per le aziende in quanto consiste in una replica virtuale del prodotto fisico rendendo i cicli di sviluppo più snelli e andando a prevenire eventuali guasti meccanici, riducendo inefficienza e costi.

Nell'articolo [15] si parlerà di come il ruolo dei gemelli digitali siano indispensabili per la gestione del ciclo di vita del prodotto degli Asset Management. Lo studio va ad evidenziare l'attuale convergenza delle esigenze di supporto decisionale da AM e delle potenzialità di supporto decisionale offerte dalla modellazione DT.

Al giorno d'oggi, l'Asset management ha acquisito notevole slancio e interesse sia nel mondo accademico che nell'industria sia come processo aziendale che come disciplina (El-Akruti et al,2013). Il consenso consolidato è che AM possa contribuire a garantire una corretta gestione degli asset lungo il ciclo di vita (Schuman e Brent 2005; El-Akruti et al.,2013): gli asset vengono portati al centro del processo di gestione per creare valore lungo il loro ciclo vitale. Altri processi, come la gestione della manutenzione, contribuiscono all'AM, poiché sono visti come attività chiave parte del più ampio processo AM (Hastings 2010; CSN EN 16646 2014; Amadi-Echendu e Brown 2010). In AM, il processo decisionale relativo agli asset è una questione chiave (El-Akruti et al., 2013; Komonen et al., 2006): richiede strumenti adeguati per supportare il processo decisionale e dovrebbe essere costruito sulla base di principi che affrontano la visione olistica associata all'AM (Schuman e Brent 2005). Una sfida a tal fine è consentire un processo decisionale e una gestione informati (Ouertani, Parlikad e McFarlane 2008).

L'informazione è sempre stata una questione rilevante ben discussa all'interno del corpo di conoscenza AM (Ouertani, Parlikad e McFarlane 2008; Borek et al.2014, Kans

e Ingwald 2008; Koronios, Lin e Gao 2006). Oggi, l'interesse nel discutere di un'informazione rilevante per AM è stato rinnovato poiché il recente respiro dei progressi tecnologici sta avendo un profondo impatto. Le tecnologie relative ai sensori consentono una raccolta dati estesa, mentre i controlli avanzati promettono il "tempo di inattività zero/non pianificato" delle risorse, con una gestione conveniente. Queste opportunità meritano uno studio che esamini le potenzialità dell'AM derivanti dalla digitalizzazione. La digitalizzazione è correlata al concetto di Internet of Things (IoT) e allo sviluppo convergente di molte altre tecnologie discusse nella Quarta rivoluzione industriale (nota anche come Industria 4.0). Come concetto fondante, l'IoT vede tutti i dispositivi, con sensori incorporati, elettronica e capacità di connessione agli altri, come "cose". Tali cose consentono di raccogliere e scambiare dati attraverso Internet (Ashton 2009; Sarma, Brock e Ashton 2000) e, in generale, attraverso reti di dispositivi, denominati oggetti intelligenti (Atzori, Iera e Morabito 2010).

L' analisi dei Big Data, che accede ai dati e promette di fornire un rapido processo decisionale con l'uso di strumenti di analisi intelligenti (Davis et al.2012; Lee, Kao e Yang 2014), completa l'IoT con ulteriori funzionalità utili a supporto del processo decisionale. La simulazione avanzata è anche discussa tra gli strumenti rilevanti per la previsione dei processi stocastici che avvengono nel mondo fisico (Negri, Fumagalli e Macchi 2017). In un tale panorama tecnologico, viene spesso sottolineato un concetto importante: il Digital Twin (DT), inteso come controparte digitale di un sistema lungo il suo ciclo di vita. Il DT può essere considerato come un'entità virtuale, che si affida ai dati rilevati e trasmessi dell'infrastruttura IoT nonché alla capacità di elaborare dati mediante tecnologie Big Data, con lo scopo di consentire ottimizzazioni e decisionali. In questo ambito, il DT è spesso sovrapposto alla simulazione avanzata. Nel complesso, il DT, in quanto entità virtuale, può considerare tutto il mondo fisico, quindi le risorse fisiche possono anche essere prese direttamente come ambito di destinazione della modellazione DT. Sorgono alcune domande: cosa significa veramente avere un DT per una risorsa fisica? Qual è il ruolo dei DT in AM? A partire da queste domande, lo scopo di questo documento è fornire un'esplorazione per discutere il ruolo dei DT nell'AM, in particolare nel processo decisionale relativo agli

asset. Pertanto, questo è un documento concettuale che mira a gettare le basi per la ricerca per contribuire a una più ampia comprensione dei vantaggi dell'applicazione dei DT nella gestione del ciclo di vita degli asset. Grazie alle conoscenze raccolte dagli autori nell'ambito di diversi progetti in cui hanno sperimentato il concetto di DT nel suo utilizzo, viene adottato un focus che consente di collegare le nuove tecnologie alle loro applicazioni in contesti industriali dove è richiesto il processo decisionale relativo agli asset.

3.5 STATO DELL'ARTE DEGLI AM [15]

I principi fondamentali che sono alla base di un corretto processo decisionale correlato agli asset all'interno di un sistema AM sono di seguito (Roda e Macchi 2016):

- orientamento al ciclo di vita, che porta a incorporare obiettivi e prestazioni a lungo termine per guidare il processo decisionale;
- orientamento al sistema, motivando l'importanza di una considerazione olistica dei sistemi di asset nella loro interezza e non solo delle singole componenti;
- orientamento al rischio, relativo alla rilevanza di considerare il rischio in quanto le attività normalmente soffrono di incertezze nel raggiungimento degli obiettivi dichiarati, quindi, vi è la conseguente necessità di approcci di gestione del rischio;
- orientamento incentrato sulle risorse, che porta a concentrarsi sui dati e sulle informazioni delle risorse, per prendere decisioni aziendali sane.

In base a questi principi, ogni volta che deve essere presa una decisione relativa a un asset, l'azienda dovrebbe considerare due aspetti principali: (El-Akruti et al.2013; Roda e Macchi 2016)

-il ciclo di vita dell'asset, da cui l'effetto di tale decisione sul lungo termine durante il ciclo di vita degli asset;

-il livello di controllo gerarchico degli asset, assicurando quindi che, indipendentemente dal fatto che la decisione sia presa a livello strategico,

tattico o operativo all'interno dell'azienda, vengano intraprese azioni adeguate per assicurare l'allineamento anche degli altri livelli.

Sia i principi che gli aspetti delle decisioni sono, nel loro insieme, le ragioni che determinano le esigenze specifiche di supporto decisionale.

3.6 MODELLAZIONE DI GEMELLI DIGITALI[15]

Dalla letteratura, il DT non ha ricevuto una definizione univoca, probabilmente perché non sempre era legato ad un settore specifico: è stato prima proposto in campo aerospaziale, poi è stato utilizzato nella robotica e solo di recente è stato adottato anche nel settore manifatturiero (Negri, Fumagalli e Macchi 2017). La sua prima definizione formale è stata fornita dalla NASA come "una simulazione multi-fisica, multi-scala e probabilistica integrata di un veicolo o sistema che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, aggiornamenti dei sensori, cronologia della flotta, ecc., per rispecchiare la vita del suo gemello volante. È ultra-realistico e può considerare uno o più sistemi di veicoli importanti e interdipendenti "(Shafto et al. 2010).

Emergono due aspetti necessari, alla base del paradigma di modellazione DT: il Data Modeling e il Data Analytics.

- Da un lato, è importante definire un corretto modello di dati / informazioni del sistema da rappresentare virtualmente. Si tratta di standard per la rappresentazione dei dati/sistemi, mentre è anche collegata alla possibilità di simulare il sistema. Per strutturare adeguatamente i modelli di dati, la letteratura cita modelli di dati semantici, come le ontologie come buoni candidati. Sono rappresentazioni esplicite, condivise, formali di concetti comprensibili da sistemi software e utilizzabili per includere intelligenza per l'integrazione e la condivisione di grandi quantità di dati, come i dati generati dai sensori in un sistema (Garetti, Fumagalli e Negri 2015; Negri et al.2016; Gruber 1995; Borgo 2014; Heymans et al.2008).
- D'altra parte, è impossibile avere una rappresentazione virtuale coerente di un sistema reale senza l'uso di dati rilevati in tempo reale dal sistema

stesso. È un compito ingombrante, senza un'adeguata analisi dei dati che lo supporti.

Basandosi su tali prerequisiti, si possono allora comprendere il concetto e le funzionalità del DT. Il contributo di (Negri, Fumagalli e Macchi 2017) aiuta infatti a inquadrarli proponendo un'accurata revisione della letteratura su questo argomento.

Il DT è stato originariamente creato in campo aerospaziale come specchio stocastico della vita dell'aereo che ha replicato, attraverso simulazioni, la storia temporale continua del veicolo, utilizzando dati storici, dati di sensori, informazioni di manutenzione e simulando anche interazioni con il mondo esterno. Era inteso a comprendere a fondo ciò che il veicolo sperimentava e a prevedere guasti e bisogni (Wang et al.2015; Bazilevs et al.2015; Bajaj, Zwemer e Cole 2016; Ríos et al.2016). La traduzione del concetto DT per l'ambiente robotico ha significato un altro obiettivo per il DT, che è stato visto come lo "strumento" per ottimizzare gli algoritmi di controllo dei robot durante la fase di sviluppo (Schluse e Rossmann 2016). Quando adottato nella produzione, il DT ha assunto un nuovo obiettivo: simulare il comportamento complesso dei sistemi di produzione, inclusi anche fattori esterni, come presenza umana e vincoli tecnici (Rosen et al.2015; Gabor et al.2016; Arisoy et al. 2017). Complessivamente, sono riportate in letteratura alcune funzionalità per l'utilizzo DTS, tra cui:

- miglioramento del processo decisionale relativo alla manutenzione (previsione di danni / crepe; deformazione geometrica / plastica del materiale e modellazione dell'affidabilità dei sistemi fisici) (Cerrone et al. 2014; Schroeder et al.2016; Fourgeau et al.2016; Yang, Zhang e Liu 2013; Bazilevs et al.2015);
- mirroring del ciclo di vita del sistema, supportando il processo decisionale in diversi modi tra cui
    1) predire il comportamento delle prestazioni del sistema a lungo termine (Bielefeldt, Hochhalter e Hartl 2015; Grieves e Vickers 2016; Fourgeau et al.2016)

2) garantire continuità digitale dei dati lungo le fasi del ciclo di vita del sistema (Abramovici, Gobel e Dang 2016; Rosen et al.2015)
3) verifica della fattibilità e ottimizzazione del software di controllo del sistema (Schluse e Rossmann 2016)
4) simulazione dell'orchestrazione dei dispositivi IoT (Canedo 2016).

- processo decisionale e ottimizzazione su base statistica (Kraft 2016), come l'ottimizzazione del comportamento / prestazioni del sistema, simulandolo durante la fase di progettazione (Gabor et al. 2016; Ríos et al. 2016; Arisoy et al. 2017; Abramovici ,Gobel e Dang 2016; Bajaj, Zwemer e Cole 2016) o durante altre fasi del ciclo di vita, conoscendone lo stato passato e presente (Ríos et al 2015; Smarslok, Culler e Mahadevan 2012).

È evidente che la modellazione DT è piena di promesse per quanto riguarda la gestione del ciclo di vita degli asset. Quindi, può essere assunto come un mezzo rilevante per rispondere esplicitamente alle relative esigenze di supporto decisionale.
Questa ricerca intende contribuire a una migliore comprensione dei vantaggi che i DT possono portare quando vengono applicati nella gestione del ciclo di vita degli asset. Pertanto, l'analisi dello stato dell'arte è solo un primo passo per fornire le basi dello studio in merito ai bisogni generati dall'AM, nonché ai benefici per soddisfarli, sulla base del concetto DT. L'esperienza sul campo è anche considerata un complemento allo stato dell'arte con l'esperienza pratica: alcuni progetti selezionati, sperimentati dagli autori, vengono discussi per evidenziare alcuni casi d'uso di DT. Serve per esplorare l'uso del concetto di DT per il processo decisionale relativo agli asset.
La logica alla base dell'indagine può essere motivata in termini di uno scopo di trasferimento tecnologico. Da un lato c'è la ricerca che sviluppa le Key Enabling Technologies (KETS come il citato IoT, Big Data, simulazione avanzata e altre), rendendole disponibili per le esigenze industriali. Dall'altro ci sono le applicazioni per risolvere problemi pratici in ambito industriale, in processi e discipline aziendali, nel caso di questa ricerca lo scopo è AM. Per consentire il trasferimento tecnologico, la

ricerca mira quindi a indagare come le funzionalità e le caratteristiche del DT siano disponibili attraverso varie KET con il processo decisionale AM. L'obiettivo finale è quello di collegare le aree di ricerca di modellazione DT e AM, al fine di facilitare l'uso di nuove tecnologie e metodologie sviluppate a livello KET in ambito industriale AM. I progetti selezionati possono essere considerati una manifestazione di tale legame.

Viene fornita un'analisi esplorativa dei casi d'uso dell'applicazione per facilitare la comprensione delle funzionalità e delle caratteristiche dei DT a supporto dell'AM. Il framework (Roda e Macchi 2016) è, infatti, utilizzato per organizzare diversi tipi di decisione in base alle fasi del ciclo di vita dell'asset (Beginning of Life (BOL), Middle of Life (MOL) e End of Life (EOL)) e ai livelli di controllo degli asset (Livelli strategico, tattico e operativo).

Sono stati scelti cinque casi e di seguito vengono forniti pochi dettagli per ciascuno di essi, evidenziando come il processo decisionale relativo agli asset possa essere supportato dalla modellazione DT.

1) Configurazione asset - Il DT viene utilizzato per modellare e simulare una linea di produzione, per valutarne le prestazioni sistemiche di Affidabilità, Disponibilità, Manutenibilità (performance RAM), per infine prevedere il suo costo totale di proprietà (TCO). Consente di valutare la scelta della migliore soluzione progettuale per la linea di produzione.

2) Riconfigurazione delle risorse - Analogamente al primo caso d'uso, il DT viene utilizzato per modellare e simulare un impianto di produzione di processo complesso, per valutare le prestazioni della sua RAM sistemica, per prevedere infine il suo TCO. Permette di valutare la scelta della migliore alternativa di riconfigurazione per aumentare la disponibilità dell'impianto.

3) Riconfigurazione e pianificazione delle risorse: il DT viene utilizzato come modello di dati semantico all'interno di un sistema di controllo basato su servizi Web per i sistemi di produzione. Costituisce la base per un'architettura di Manufacturing Execution System aperta e basata sulla conoscenza, che consente la riconfigurazione del sistema.

4) Asset commissioning: il DT viene utilizzato come modello di dati semantico, analisi dei dati e simulazione avanzata, per effettuare la messa in servizio virtuale del sistema

di produzione. La simulazione del sistema si basa su un modello dati semantico e su una struttura software in grado di analizzare i dati in runtime. Consente un rapido avvio del sistema

5) Monitoraggio delle condizioni degli asset e valutazione dello stato di salute: il DT viene utilizzato per la diagnosi degli asset, aiutando a valutare il suo stato di salute in base alle condizioni monitorate. Il DT fornisce l'analisi dei dati al fine di estrarre le funzionalità richieste per la diagnosi. Permette di limitare le situazioni di inaffidabilità.

I casi d'uso mettono in evidenza l'ampia varietà di decisioni supportate da DT in diverse fasi del ciclo di vita degli asset e a diversi livelli di controllo degli asset in un'azienda. Come meglio dettagliato di seguito, l'uso dei DT è risultato coerente con i benefici generalmente discussi in letteratura.

A tal proposito, vengono presentati due casi d'uso con ulteriori informazioni, per discutere le funzionalità dei DT utilizzati a supporto del processo decisionale relativo agli asset.

Caso 1: Questo caso è stato sviluppato all'interno di un impianto di produzione di processo di un'azienda operante nel settore alimentare. La sfida principale identificata con l'azienda è stata un supporto decisionale per le attività di progettazione presso il BOL di uno stabilimento Greenfield. È stata inoltre individuata una sfida secondaria considerando la possibilità di utilizzare ulteriormente tale supporto per le attività nella fase MOL dell'asset. Di fronte a tali sfide è stata richiesta la realizzazione e l'utilizzo del DT dell'impianto industriale, soprattutto basato sui principi di orientamento al rischio e orientamento al sistema. A tal fine, i dati storici, raccolti da impianti esistenti simili funzionanti in condizioni operative simili, nonché le informazioni di manutenzione fornite dagli OEM sono stati utilizzati per creare un modello di dati. È stata quindi adottata la simulazione stocastica, integrando l'orientamento al rischio, ed eseguita sulla base del modello di affidabilità dell'impianto (stabilito per tecnica) integrando l'orientamento del sistema, ovvero per consentire di valutare l'impatto delle interazioni tra i componenti del sistema. Il modello ha consentito, in primo luogo, la valutazione delle soluzioni alternative progettuali considerate per l'impianto e, in secondo luogo, una corretta valutazione del TCO, attraverso un modello costruito sulle

prestazioni raggiunte dall'intero impianto come sistema di asset (Roda, Garetti 2015) . Le funzionalità del DT dell'impianto sono state fondamentali per supportare il processo decisionale relativo agli asset, affrontare la sfida primaria attraverso un processo decisionale statisticamente basato che utilizza la simulazione del comportamento del sistema la sfida è affrontata dalla possibilità di utilizzare riutilizzare il modello di sistema dell'impianto, ereditato dalla progettazione al funzionamento al fine di ottenere un sistema lifecycle mirroring, per consentire finalmente di prevedere le prestazioni della RAM e il comportamento a lungo termine del sistema in base allo stato progressivo raggiunto dal sistema lungo la fase MOL. In particolare a tal fine, non solo i dati storici, ma anche i dati effettivamente registrati e quelli dei sensori non dovrebbero essere integrati per ottenere la piena funzionalità durante tali prestazioni del diagramma a blocchi di affidabilità. Durante tale estensione, verrà migliorato anche l'orientamento al ciclo di vita, incorporando ulteriori prestazioni a lungo termine al fine di guidare il processo decisionale durante la MOL.

Caso 2: il caso studio è stato sviluppato all'interno di un impianto di produzione di processo di un'azienda operante nel settore siderurgico (Fumagalli et al., 2016). La sfida principale era la necessità di un supporto decisionale per gestire le attività di manutenzione nella fase MOL di un asset critico. Di fronte a tale sfida, è stata richiesta la realizzazione e l'utilizzo del DT dell'asset, soprattutto sulla base dei principi dell'orientamento al rischio dato il problema della sicurezza nell'industria siderurgica e dell'orientamento asset-centric. A tal fine, i dati dei sensori sono stati modellati e analizzati attraverso analisi avanzate al fine di estrarre le caratteristiche necessarie per la diagnosi dello stato di salute dell'asset. In particolare, è stato implementato uno strumento di monitoraggio delle condizioni cercando le opportunità fornite dall'automazione degli impianti. Le funzionalità del DT dell'impianto sono state essenziali per supportare il processo decisionale relativo all'asset, affrontando la sfida primaria, supportando il miglioramento del processo decisionale di manutenzione basato su statistiche a livello operativo, consentendo di rilevare i guasti incipienti attraverso il monitoraggio dell'asset; migliorando così le operazioni evitando tempi di inattività che possono portare a rischi di conseguenza per la sicurezza delle persone.

In conclusione la digitalizzazione è un processo di trasformazione che porta a molte opportunità. Sta consentendo di introdurre nuove KETS in varie applicazioni di ingegneria e gestione. Considerando l'AM come applicazione specifica, attraverso casi d'uso derivati da progetti di ricerca, è stato possibile dimostrare che esiste una convergenza tra le esigenze di supporto decisionale dell'AM e i benefici forniti dalle funzionalità dei DT lungo un ciclo di vita del sistema/asset. In particolare, i casi d'uso mettono in evidenza l'ampia varietà di decisioni supportate dai DT nelle diverse fasi del ciclo di vita degli asset e i diversi livelli di controllo degli asset in un'azienda. In questo contesto si ha che:

1) il ciclo di vita del sistema, prevede le prestazioni e il comportamento a lungo termine del sistema garantendo la continuità digitale dei dati lungo le diverse fasi del ciclo di vita del sistema.

2) un miglioramento del processo decisionale in materia di manutenzione. La principale evidenza che emerge è che i DT possono essere considerati un concetto con un alto potenziale per la gestione del ciclo di vita degli asset. Inoltre, nuovi approcci metodologici per progettare DT per il processo decisionale relativo alle risorse saranno necessari per lo sviluppo di nuovi strumenti di supporto decisionale. Ultimo ma non meno importante, ci si aspetta che i DT arricchiscano il sistema di informazioni sugli asset esistenti, migliorando così il processo decisionale informato in AM.

CAPITOLO 4

4.1 IL RUOLO DEL PROTOTIPO VIRTUALE IN PLM

4.2 INTRODUZIONE

Esistono tecnologie molto innovative per sviluppare dei prodotti e gestire, nello sviluppare il prodotto, l'integrazione di tutte le possibili informazioni del modello. L'obiettivo è quello di raccogliere e formalizzare la conoscenza tecnica evitando la perdita di informazioni e minimizzare errori. Questi concetti riescono a determinare il successo di un'azienda rispetto ad un'altra. Un possibile strumento è l'utilizzo di PROTOTIPI VIRTUALI, ovvero modelli 3D.

La prototipazione virtuale è una metodologia operativa che impiega le tecniche di modellazione e di simulazione numeriche per sviluppare un prodotto in modo da ridurre (o addirittura evitare) la costruzione di prototipi fisici e quindi risparmiare tempi e costi.

In sostanza, il prototipo virtuale di un generico sistema meccanico è un modello numerico che contiene il maggior numero possibile delle informazioni di prodotto e di processo necessarie alla sua realizzazione e anche, ricorrendo a tecniche di realtà virtuale, alla sua valutazione estetica e, se del caso, ergonomica [16]. Questi prototipi mi permettono quindi di anticipare, simulando un oggetto fisico, le fasi iniziali della progettazione; allo stesso tempo, mi permettono di formalizzare le informazioni attraverso una serie di attributi (codici, materiali, test, parametri geometrici, vincoli) che si collegano al prototipo stesso. Il prototipo si arricchisce di dati e ad ogni fase successiva si dettaglia.

La realtà virtuale in generale è sfruttabile in diverse aree: settore militare (simulazione di volo), settore medico (telemedicina, telechirurgia), settore automotive, progettazione industriale (per ottimizzarli e applicare modifiche in diretta), settore cultura (musei virtuali). I vantaggi del prototipo sono molteplici: migliorare qualità progetto, condividere dati aggiornati di prodotto e processo, eventuali semplificazioni nell'assemblaggio e riduzione dei costi.

La differenza rispetto ai sistemi tradizionali è che con un prototipo virtuale ho una percezione diversa e concreta del modello e allo stesso tempo posso interagire con il

modello stesso. Negli strumenti tradizionali invece l'unica interazione possibile è con il mouse e quindi si ha una visione più limitata. Queste tecnologie sono formate da quattro categorie di elementi:

- INPUT: si attuano spostamento, manipolazione attraverso tracciatori, interfacce di manipolazione, al fine di valutare la presa, il comfort, la maneggevolezza e la raggiungibilità.
- OUTPUT: tutti output che mi permetto di valutare rumori, peso, caratteristiche di contatto, punto di vista, profondità, senso del realismo, senso di profondità (ombra).
- HARDWARE: Servono per mandare il software ma anche per sincronizzare i segnali da mandare agli input ed agli output.
- SOFTWARE: serve per effettuare calcoli evitando ritardi di interazione.

In questo capitolo verranno date delle definizioni di prototipazione virtuale, verranno elencati e spiegati i suoi componenti, verrà spiegato il loro ruolo del PLM e si vedrà come può essere applicato alla realtà virtuale.

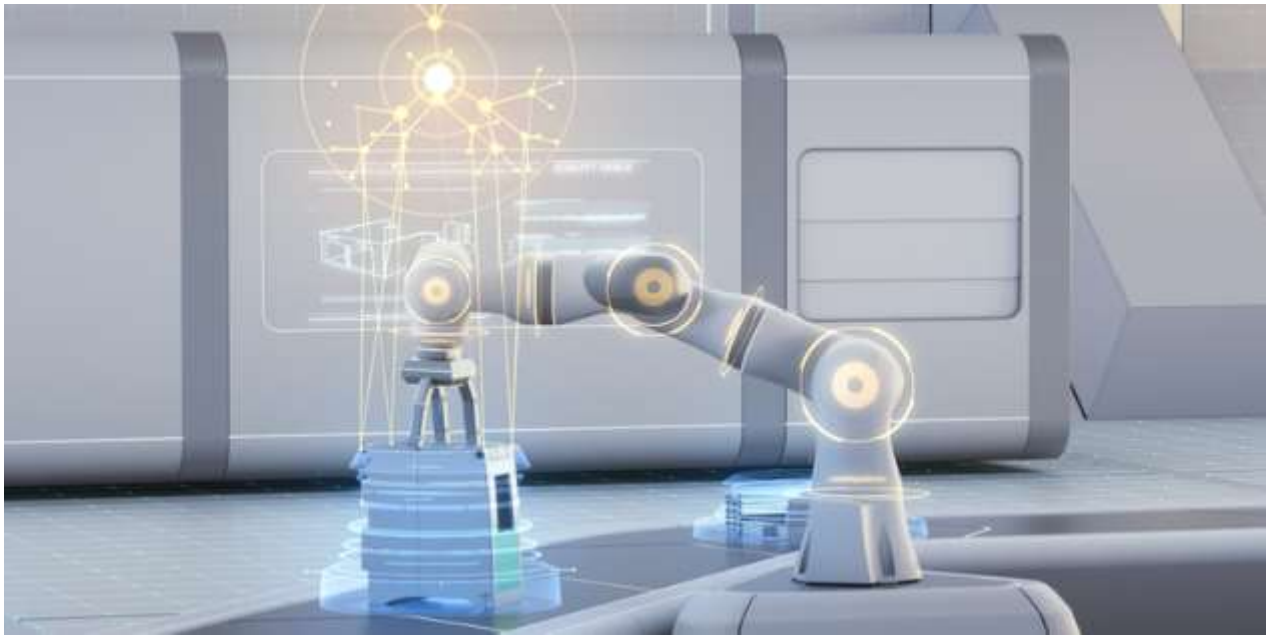


FIGURA 12

4.3 DEFINIZIONE

Con il termine prototipo [17] si intende il primo esempio di un prodotto che deve essere sviluppato e che consente di poter effettuare considerazioni preliminari prima che venga rilasciato in produzione. La sua costruzione, detta prototipazione, costituisce quindi una fase importante del processo di sviluppo di nuovi prodotti.

La definizione di prototipo contiene tre aspetti di interesse:

• L'implementazione del prototipo, dal prodotto nel suo complesso ai suoi componenti e sub-assemblati;

• La forma del prototipo, dalla sua versione virtuale a quella fisica;

• Il grado di approssimazione del prototipo, ovvero quanto la rappresentazione del prodotto sia più o meno prossima a quella del prodotto finale.

- Il primo aspetto comprende la prototipazione del prodotto globale o di un suo componente. Nel prototipo completo è possibile valutare la pressoché totalità delle caratteristiche del prodotto, questo compito è svolto da un focus group che identifica ed esamina i problemi per poi passare allo studio delle varianti che permettano di ovviarli. Nel caso in cui non sia il prodotto nel suo complesso a destare problemi, si concentra l'attenzione sui componenti
- Il secondo aspetto riguarda la forma del prototipo. Si può avere il modello fisico costruito per test ed esperimenti oppure una semplice rappresentazione virtuale, utile qualora il prototipo fisico fosse troppo grande oppure quando fossero necessari solo test al computer
- Il terzo aspetto considera il grado di approssimazione o rappresentatività del prototipo. Esso può essere una rappresentazione grezza, se per lo studio del prodotto sono sufficienti solo valutazioni su forma e dimensioni, mentre la rappresentazione completa del prodotto è richiesta qualora fossero necessarie valutazioni più precise e specifiche come la preparazione della fase di produzione e dei problemi produttivi che possono emergere.

Considerando il punto di vista dell'impiego, un prototipo può essere destinato a vari utilizzi:

• Sperimentazione ed apprendimento: nella fase di sviluppo del prodotto possono spesso insorgere problematiche e dubbi risolvibili costruendo un prototipo e analizzandolo;

• Test e prove;

• Comunicazione ed interazione: all'interno di un team di sviluppo prodotto niente è più chiaro di una rappresentazione fisica del prodotto per dissipare dubbi e divergenze;

• Sintesi ed integrazione: le componenti e i sub-assemblati di un prodotto devono essere montati ed aggregati assieme per poter verificare il funzionamento del prodotto nel suo complesso, oppure per decidere le modifiche da apportare nel caso in cui ci siano problemi funzionali;

• Pianificazione ed indicatori: il prototipo serve per la pianificazione del processo produttivo del prodotto ed è usato come indicatore per l'inizio e la fine delle varie fasi del processo.

Al giorno d'oggi ci sono più definizioni per indicare la Prototipazione Virtuale:

1) Gowda [18] definisce la prototipazione virtuale come "una tecnologia relativamente nuova che coinvolge l'utilizzo della realtà virtuale ed altre tecnologie computerizzate per creare prototipi digitali" andando a specificare che la VP viene usata come strumento per creare un prototipo.
2) Song [19] di che VP indica "il processo di simulare l'interazione fisica tramite software nelle diverse fasi della progettazione del prodotto e l'analisi quantitativo del rendimento di esse" specificando come la VP evidenzia l'iterazione uomo-prodotto.
3) Wang [20] definisce la VP come "una simulazione tramite il computer, di un prodotto fisico nel quale si possono presentare, analizzare e testare aspetti che riguardano al ciclo di vita del prodotto come la progetta-zione/ingegnerizzazione, fabbricazione, servizi e riciclaggio, come in un modello fisico reale. La costruzione ed il testing di un prototipo virtuale viene chiamato

prototipazione virtuale" dando una definizione più dettagliata e andando a rispecchiare completamente i canoni di quella che la VP è oggi.

4.4 PROCESSI DI PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

Ci sono tre principali processi di costruzione dei prototipi:

- processi sottrattivi: dove il punto di partenza è un blocco solido di materiale dal quale si ottiene il componente per progressiva rimozione di materiale
- processi formativi: dove la costruzione del pezzo è dovuta all'applicazione di forze meccaniche che formano il particolare desiderato.
- processi additivi: prevedono che la costruzione del pezzo avvenga per progressiva aggiunta di materiale e proprio in questa categoria troviamo le tecnologie di prototipazione rapida.

I primi due processi produttivi appartengono le cosiddette tecnologie tradizionali di fabbricazione, tra le quali troviamo fresatura, tornitura, foratura, taglio, rettifica, piegatura, stampaggio, ecc. La tecnologia tradizionale di fabbricazione dei prototipi è affidata ai modellisti che sulla base delle indicazioni dei progettisti li realizzano con operazioni manuali incompatibili con le esigenze aziendali, visti i tempi e costi elevati richiesti.

4.5 STRUMENTI DI PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

Come è stato già spiegato la prototipazione virtuale consiste nella creazione di modelli 3D al fine di creare un modello digitale sulla base di un modello fisico, passando quindi da un modello reale ad uno virtuale. Sulla base di ciò la VP si baserà su degli strumenti che dovranno essere ben integrati tra di loro: [16]

- sistema CAD con modellatore geometrico tridimensionale;
- sistema di simulazione del prodotto;
- sistema di simulazione dei processi.

In ordine li andremo a descrivere.

- Il CAD 3D [16]

  Il CAD tridimensionale consente di definire il modello geometrico che è alla base di tutte le attività successive.

  Un modellatore efficiente deve soddisfare almeno questi requisiti fondamentali:

  - consentire la descrizione, senza ambiguità, della geometria dell'oggetto;
  - catturare, in maniera non ambigua, l'intento dell'operatore CAD;
  - consentire la modellazione guidata da variabili (variable driven modeling), in maniera tale che dopo ogni modifica introdotta sia possibile rigenerare automaticamente il modello;
  - supportare il concetto di associatività, ciò che consente la propagazione automatica delle modifiche apportate in un dato stadio di sviluppo (es. nel CAD) a tutte le altre fasi (es. fabbricazione) costituenti il ciclo di sviluppo del prodotto.

- GLI STRUMENTI DI SIMULAZIONE DEL PRODOTTO [16]

  Questi strumenti, che consentono di simulare il comportamento fisico del modello geometrico realizzato con il CAD 3D, nel caso specifico del sistema meccanico oggetto di benchmark sono:

  - simulatore cineto-dinamico;
  - software Elementi Finiti.

  L'analisi cineto-dinamica multibody di un meccanismo è basata sulla formulazione e soluzione di un sistema di equazioni differenziali accoppiate a equazioni

algebriche vincolari di cui generalmente non è possibile trovare la soluzione in forma chiusa.

Il codice di calcolo, noti i vincoli, le proprietà di massa e i carichi esterni, consente di valutare le reazioni vincolari e le forze di inerzia agenti sui membri del meccanismo.

Appare chiaro che per soddisfare i requisiti della prototipazione virtuale, il simulatore deve fornire non solo la soluzione numerica delle equazioni di moto, ma deve anche essere in grado di:

- realizzare le analisi senza necessità di ricostruire il modello;
- supportare, mediante la ricognizione della geometria del modello CAD, l'automazione delle attività di scrittura delle equazioni di moto (masse, momenti di inerzia, ecc.);
- supportare, mediante la ricognizione dei vincoli posti nel CAD durante l'assemblaggio, l'automazione delle attività di scrittura delle equazioni vincolari o comunque permetterne la definizione mediante approccio grafico;
- supportare il concetto di associatività e variable driven modeling;
- realizzare analisi di collisioni;
- fornire i risultati come simulazione realistica.

I risultati delle simulazioni cineto-dinamiche definiscono, insieme ai vincoli ed alle forze esterne, le condizioni al contorno per le analisi agli Elementi Finiti sui componenti del meccanismo.

Per essere usati come strumenti di prototipazione virtuale anche questi software devono avere, oltre alle caratteristiche classiche (qualità del solutore, tipi possibili di analisi, metodi di convergenza, algoritmi di generazione di elementi (mesh), possibilità di sotto-modellazione o ottimizzazione, ecc.), requisiti specifici per:

- realizzare le analisi senza necessità di ricostruire il modello;
- supportare la possibilità di importare le condizioni al contorno dal simulatore cinematico;
- supportare il concetto di associatività e variable driven modeling.

- GLI STRUMENTI DI SIMULAZIONE DEI PROCESSI [16]

Gli strumenti di simulazione dei processi sono tutte quelle applicazioni che consentono di modellare i procedimenti tecnologici necessari alla realizzazione del prodotto: ad esempio per un gruppo composto da parti ottenute per fusione di leghe metalliche, per stampaggio di materie plastiche e per asportazione di truciolo, sarà necessario disporre di software che consentano di realizzare analisi di castability, moldability e di generare percorsi utensili e programmi NC. Anche tali applicazioni devono essere in grado di:

- realizzare le analisi senza necessità di ricostruire il modello;
- supportare il concetto di associatività e variable driven modeling

4.6 VANTAGGI DELLA VP

La società di ricerca Aberdeen Group [21] ha pubblicato un rapporto dal quale emerge che le aziende manifatturiere al top della propria categoria ricorrono ai metodi della **prototipazione virtuale** in tutte le fasi di sviluppo e realizzazione del prodotto, riuscendo a perseguire al meglio i propri obiettivi in termini di qualità, costo e tempistica di produzione. Il tasso di raggiungimento degli obiettivi qualitativi interessa l'86% dei prodotti.

- Le aziende che ricorrono alla prototipazione virtuale per progetti complessi riescono a lanciare il prodotto mediamente 158 giorni prima delle altre, con un risparmio di 1,9 milioni di dollaro.
- Per i progetti più semplici, il risparmio di tempo è di 21 giorni e quello di soldi di 21.000 dollari.

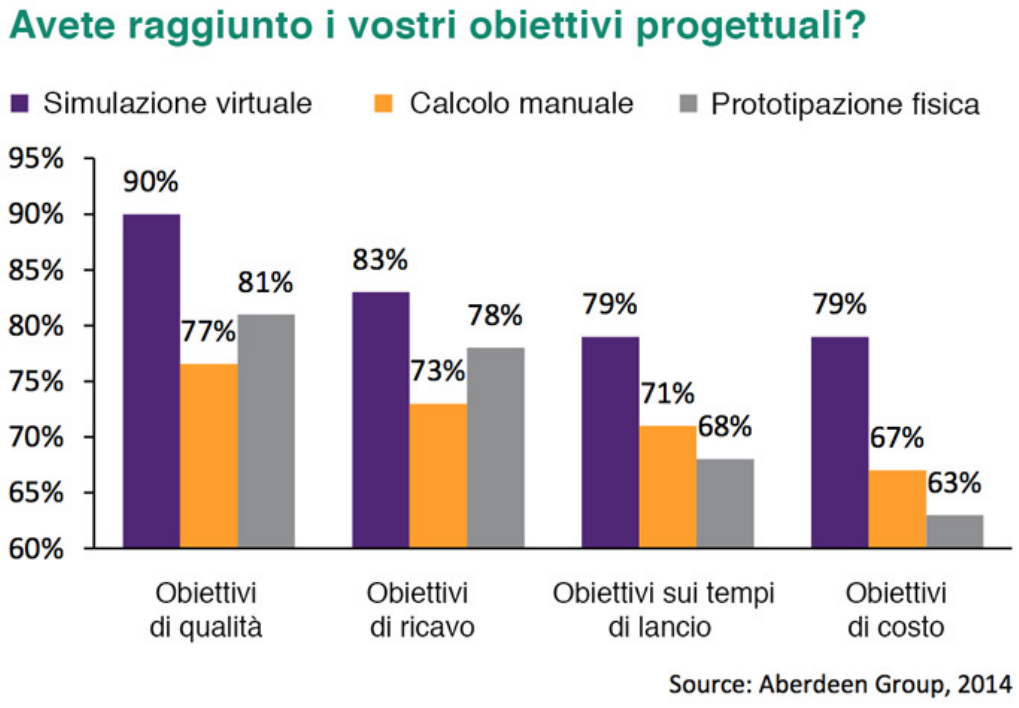


FIGURA 13

I vantaggi e benefici degli strumenti per la prototipazione virtuale saranno:

- Riduzione del time-to-market
- Possibilità di effettuare test precoci
- Possibilità di effettuare test altrimenti impossibili o troppo costosi
- Minore necessità di realizzare prototipi fisici

- Maggiore sicurezza e confort per gli operatori
- Rimozione delle barriere geografiche
- Disponibilità di standard comuni di progettazione e di linguaggio
- Protezione dei margini di profitto
- Maggiore agilità dell'azienda
- Riduzione dei costi di sviluppo
- Riduzione della di scala dei cambiamenti a livello d'ingegneria
- Generazione di un'attitudine a "prenderci al primo colpo"
- Semplificazione dei progetti
- Possibilità di partecipazione al processo di sviluppo del prodotto da parte di tutte le parti interessate

4.7 SISTEMI 3D PER LA COLLABORAZIONE PLM ASINCRONA

Come è riportato nell'articolo [22] la condivisione sicura e pervasiva del modello CAD 3D tra tutti i partecipanti collaborativi è fondamentale per il successo delle applicazioni PLM (Product Lifecycle Management). Tuttavia, le soluzioni esistenti di gestione dei dati di prodotto (PDM) forniscono solo un rigido meccanismo di controllo dell'accesso ai dati 3D come lo scenario "tutto o niente" e quindi impedisce alle aziende di condividere efficacemente i propri dati 3D. La condivisione dei dati 3D può essere facilitata se sono disponibili tecnologie adeguate per suddividere il precedente schema a due gradi (concedere o negare) in più livelli e presentare a un utente un modello 3D con un adeguato livello di riduzione dei dettagli. Pertanto, un collaboratore può lavorare sui suoi dati 3D come modello completo mentre visualizza altri modelli con una visualizzazione più chiara come mesh o riquadri di delimitazione. Questo documento quindi propone la visualizzazione basata sui ruoli per realizzare il concetto di cui sopra e un sistema prototipo viene sviluppato per convalidare l'approccio proposto nelle applicazioni CAD / PDM commerciali. Vengono discussi diversi problemi chiave e il lavoro futuro.

Con l'intensa concorrenza globale e la crescente complessità dei prodotti nell'industria manifatturiera, le aziende fanno sempre più affidamento su soluzioni PLM

collaborative per ottimizzare lo sviluppo dei prodotti ei processi di produzione. Computer Aided Design (CAD) e Product Data Management (PDM) sono due tecnologie essenziali per soddisfare l'incentivo PLM e un'efficace integrazione tra di loro è fondamentale per le pratiche PLM di successo. Attualmente ci sono due livelli di integrazione CAD / PDM:

(1) integrazione dell'applicazione

(2) integrazione dei dati.

Nell'integrazione dell'applicazione, un'applicazione CAD viene registrata in un'applicazione PDM per gestire tipi specifici di modelli CAD. Quando un modello in un formato registrato sta per essere caricato per la visualizzazione e la modifica, l'applicazione PDM avvia la corretta applicazione CAD. Poiché l'applicazione CAD funziona come un programma al di fuori dell'applicazione PDM, il modello non può essere memorizzato nel database PDM dall'interno dell'applicazione CAD senza strumenti manuali aggiuntivi o funzionalità software. Nel frattempo, con l'integrazione dati, CAD e PDM sono integrati a un livello più stretto (principalmente, in un modo che consente la chiamata API reciproca) in modo che le attività chiave del PDM (come il check-in, il check-out e il rilascio) possano essere condotte dal lato CAD. A causa della limitazione della modalità di integrazione dell'applicazione, la maggior parte delle soluzioni PLM commerciali esistenti adotta la modalità di integrazione dei dati in modo da fornire importanti funzioni PDM nelle applicazioni CAD. In uno scenario applicativo comune, un progettista crea un modello e lo salva nel database PDM senza uscire dall'ambiente CAD. Successivamente, il progettista può recuperare il modello dal database per la visualizzazione e la modifica. Se il modello è un'associazione, il recupero comporta il trasferimento di tutti i componenti relativi alla sede del progettista e quindi implica un problema quando alcuni componenti non appartengono a lui secondo le norme sul controllo degli accessi. Se il trasferimento di questi componenti riservati viene semplicemente bloccato dal sistema PDM, l'utente otterrà un assieme rotto con alcuni componenti mancanti. Apparentemente, un assieme rotto non fornisce un contesto di progettazione completo per il progettista che lavora su un componente dell’assieme. È ragionevole concepire un approccio di

visualizzazione basato sui ruoli che presenti un utente con un modello ridotto ai dettagli (in molti casi il modello è un assieme in un ambiente collaborativo). Quindi, l'utente ottiene un contesto 3D completo, mentre il proprietario dei dati può garantire il controllo di accesso necessario sui modelli 3D.

Con vantaggi come:

- presentazione più onnipresente dei dati 3D a tutti gli utenti partecipanti
- gestione dei dati 3D più sicura
- maggiore fiducia dei proprietari dei dati nella condivisione di dati 3D completi tra i collaboratori
- i produttori sono più vicini alle applicazioni PLM efficaci.

Questo documento discute la principale metodologia della visualizzazione 3D basata sui ruoli e la sua applicazione sulle piattaforme CAD/PDM esistenti. La misura fondamentale è compilare modelli CAD originali in diverse forme di visualizzazione per tutti i ruoli partecipanti. Per dimostrare diverse funzionalità chiave e la procedura di applicazione dell'approccio proposto, viene sviluppato un sistema prototipo su applicazioni SolidWorks / SmarTeam.

A differenza del tradizionale schema di visualizzazione 3D che fornisce modelli completi per la visualizzazione “client side”, la visualizzazione basata sui ruoli intende fornire modelli 3D con dettagli ridotti agli utenti in base ai privilegi specificati nella collaborazione. Apparentemente, questo concetto può essere applicato in un gran numero di domini, oltre alla visualizzazione di modelli 3D. Ad esempio, la presentazione del contenuto web personalizzata mostra pagine personalizzate a utenti che hanno effettuato l'accesso in base ai loro ruoli di registrazione. Ad ogni modo, la logica della visualizzazione basata sui ruoli non è stata studiata con successo nel dominio della gestione dei dati 3D. La maggior parte delle soluzioni PLM commerciali esistenti supporta la visualizzazione di formati 3D leggeri. Sebbene questi formati supportino la compressione del modello CAD per una trasmissione più veloce su Internet (3DXML per Enovia e JT per TeamCenter, ctc.), non differenziano gli utenti di visualizzazione per sfruttare la possibile riduzione delle informazioni nella consegna e

visualizzazione del modello. Pertanto, le soluzioni attuali **non** deducono vantaggi come:

- trasferimento, caricamento e rendering efficienti del modello
- controllo dell'accesso ai dati 3D migliorato

  mentre queste funzionalità sono fortemente desiderate per applicazioni PLM di successo. Per applicare la visualizzazione basata sui ruoli nella visualizzazione CAD 3D, ci sono due problemi principali:

  (1) controllo dell'accesso sicuro per impedire l'accesso non autorizzato a modelli 3D riservati

  (2) riduzione dei dettagli nella visualizzazione per differenziare i requisiti degli utenti sulle visualizzazioni basate sul loro ambito lavorativo e i privilegi di accesso.

Un argomento ben studiato nella disciplina della gestione delle informazioni è il controllo degli accessi che è stato ampiamente applicato a sistemi software come i sistemi operativi (OS) e i sistemi di gestione delle informazioni (IMS). Le principali politiche di controllo degli accessi esistenti includono DAC (Discretionary Access Control), MAC (Mandatory Access Control) e RBAC (Rolc-based Access Control). Nelle collaborazioni sincrone di riconciliazione che stanno coinvolgendo il dominio, i dati sono spesso condivisi da collaboratori simultanei ed è importante regolare il controllo dell'accesso ai dati condivisi. Un metodo usuale per affrontare la situazione sopra citata è basato sul concetto di "token", che indica il controllo esclusivo dei dati condivisi da parte di un partecipante corrente. Gli altri partecipanti privi di token sono solo osservatori. Questo concetto di "token" è stato soddisfatto in applicazioni come gli scheduler del sistema operativo e le funzioni di coordinamento nelle collaborazioni multiutente. Prima di discutere la visualizzazione 3D basata sui ruoli, è necessario rivedere la ricerca sulla semplificazione geometrica e il livello di dettaglio (LOD) dei modelli 3D. Sviluppata nel dominio della computer grafica, la semplificazione geometrica è una tecnologia di riduzione dei dettagli per il modello 3D. Grazie al suo sforzo di mantenere la fedeltà visiva, la semplificazione geometrica può ridurre le dimensioni di grandi modelli 3D (solitamente oggetti scansionati) supportando una

buona visualizzazione. Esistono numerosi metodi, sebbene non siano particolarmente adatti per i modelli CAD meccanici a causa della loro incapacità di elaborare la geometria a livello di feature. Pertanto, vengono proposti alcuni approcci per migliorare l'aspetto visivo dei modelli CAD semplificati. Ad esempio, l'approccio sviluppato da Qiu spiega linee di taglio nei modelli CAD tassellati per identificare le caratteristiche del design ed eseguire la semplificazione proporzionale su tutti i bordi delle superfici tagliate.

Per la visualizzazione 3D basata sui ruoli, la ricerca esistente non è sufficiente. Un pezzo di ricerca su questo fatto è stato riportato da Cera. Il loro approccio combinava il controllo degli accessi e la semplificazione geometrica multi-risoluzione nel loro sistema prototipo "FACADE" per realizzare una visualizzazione basata sui ruoli in un processo di progettazione collaborativo sincrono. Il loro approccio genera più viste di un modello CAD (parte o assieme), con l'aiuto della riduzione del genere e della semplificazione geometrica generale. A causa della limitazione della tecnologia di semplificazione generale, il sistema FACADE ha difficoltà a preservare la fedeltà visiva sulle geometrie del modello relative alle caratteristiche del progetto. Inoltre, il sistema FACADE funziona per la progettazione collaborativa sincrona in cui i partecipanti simultanei lavorano con la stessa applicazione CAD, che non gestisce l'ambiente di lavoro aperto ed eterogeneo. Tuttavia, l'attuale pratica di collaborazione favorisce un ambiente di elaborazione eterogeneo e asincrono in cui un sistema PDM centrale regola i dati, che sono generati da client di progettazione distribuita in momenti diversi. Pertanto, sono necessari nuovi sforzi per colmare il divario tra la capacità del sistema FACADE e le attuali pratiche PLM.

Per illustrare come realizzare la visualizzazione basata sui ruoli in ambienti PLM reali, è stato sviluppato un sistema prototipo su piattaforme CAD/PDM commerciali.

Il sistema prototipo è costruito su SolidWorks (CAD) e SmarTeam (PDM).

- SolidWorks crea modelli 3D
- SmarTeam gestisce questi modelli.

SolidWorks e SmarTeam sono integrati a livello di dati in modo che gli utenti possano eseguire attività del ciclo di vita dei dati PDM dall'interno di SmarTeam. Basato su API

SmarTeam / SolidWorks, è stato sviluppato un componente plug-in sul SolidWorks per la definizione della mappatura dell'accesso ai ruoli e la generazione di configurazioni per ruoli diversi. Queste configurazioni vengono salvate come file locali e archiviate nel database SmarTeam. Un file di configurazione contiene visualizzazioni personalizzate e ruolo associato. Quando un utente richiede un modello, il suo ruolo viene inviato allo script hook che recupera in sottoscrizione la configurazione corretta dal database SmarTeam e lo mostra all'utente. In particolare, il plug-in SolidWorks esegue i seguenti Lasks per generare e archiviare le configurazioni:

- Selezionare un ruolo
- Creare un modello vuoto “C”
- Assegnare la funzionalità di cache del modello corrente con un livello di accesso
- Salvare “C” come file locale e archiviare il file nel database di SmarTeam.
- Ripete il processo sopra citato per altri ruoli.

Alcune attività vengono eseguite sul lato SmarTeam quando un utente richiede un modello “A” nel database SmarTeam. Poiché “A” è associato a diverse configurazioni, il sistema PDM determina la configurazione corretta in base al ruolo dell'utente. L'utente può anche selezionare direttamente la configurazione corretta in base al suo nome che indica il ruolo corrispondente. Al momento, il prototype system adotta la fornitura di dati statici per semplificare gli sviluppi dal lato SmarTeam. Se la fornitura di dati dinamici deve essere supportata, sono necessarie utilità software aggiuntive sul lato SmarTeam per agire come proxy per tradurre i modelli al volo. Nel frattempo, l'attuale visualizzatore integrato SmarTeam (eDrawings) dovrebbe essere migliorato per supportare formati di visualizzazione più leggeri, come 3DXML, XVL, U3D, JT Open, ctc.

Il seguente esempio illustra l'applicazione della visualizzazione basata sui ruoli su un assieme di motore a combustione. Dopo che i progettisti hanno completato la progettazione sulle loro parti, il manager di progetto avvia SolidWorks per creare le

configurazioni per tutti i progettisti (o più esattamente, i loro ruoli) e salvarli nel database di SmarTcam PDM.

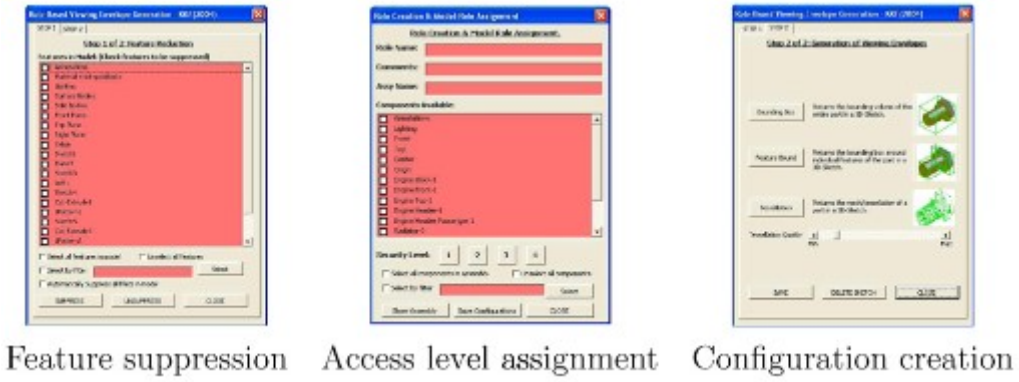


FIGURA 14

Il primo passaggio consiste nel sopprimere le funzionalità riservate prima di generare le configurazioni. Successivamente, l'amministratore assegna la funzione di cache con un livello di accesso per tutti i ruoli. L'ultimo passaggio consiste nel creare più visualizzazioni del modello sottostante per tutti i livelli di accesso.

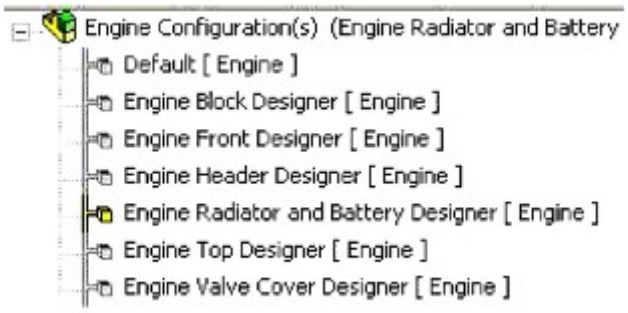


FIGURA 15

Tutti i progettisti (progettista di blocchi, progettista di frontali, progettista di intestazioni, progettista di alto livello, progettista di coperture valvole, progettista di radiatori/batterie) possono condurre una collaborazione asincrona sulla piattaforma Smar-Team. Un designer può lavorare sul modello assegnato con accesso completo mentre visualizza altri modelli a un livello di accesso inferiore. Al progettista è consentito modificare localmente i modelli assegnati e salvarli nel database SmarTeam PDM. Se viene rilevata una modifica del modello sul lato SmarTeam, i progettisti

interessati e il project manager verranno avvisati da un'istanza del flusso di lavoro che coordina tutte le attività dei progettisti. Le viste di tutta la configurazione sono elencate nella Fig. 16.

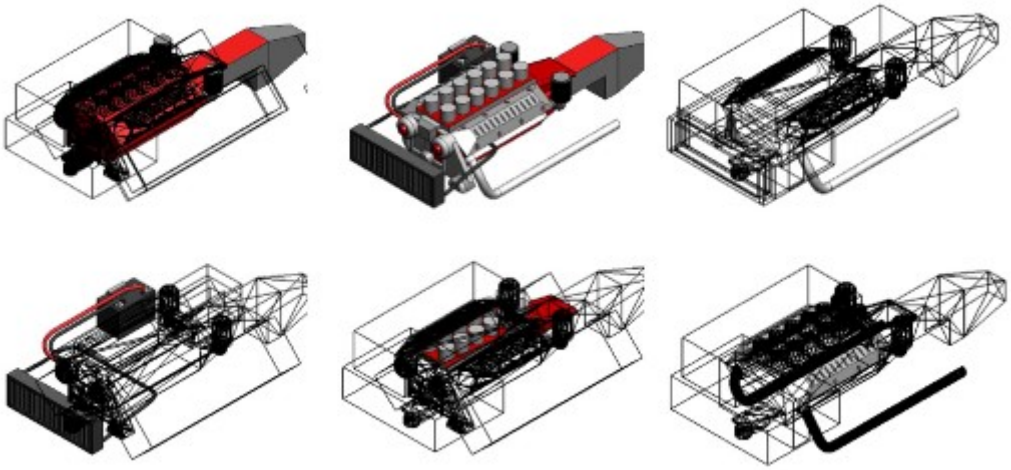


FIGURA 16

Una volta archiviate nel database SmarTeam, queste configurazioni sono collegate a un progetto specifico che può ospitare altre informazioni relative al progetto. Le figure 17 e 18 illustrano le viste del gruppo motore per diversi ruoli. Tutte le visualizzazioni sono generate da cDrawings, il vicwer 3D integrato in SmarTeam.

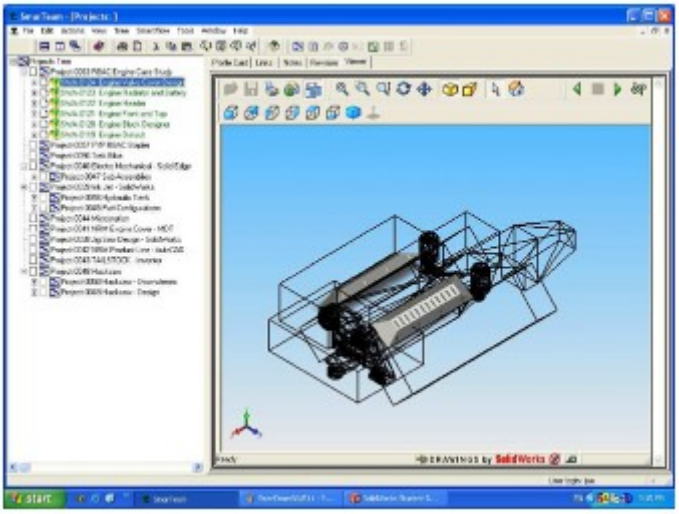


FIGURA 17

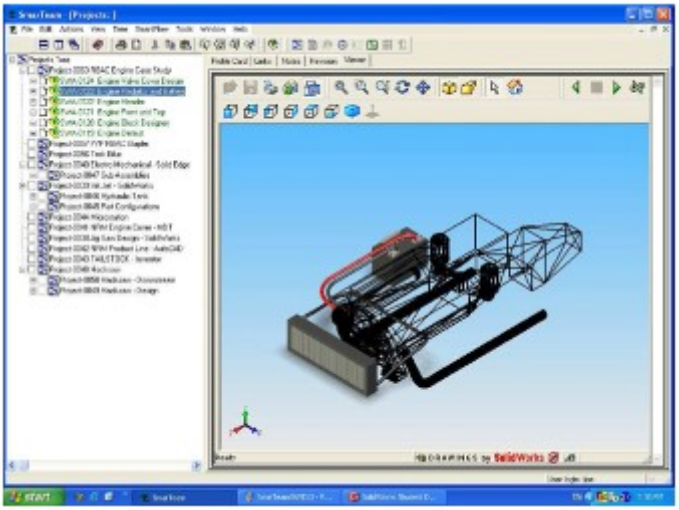


FIGURA 18

In conclusione questo documento propone la visualizzazione 3D basata sui ruoli per il PLM collaborativo. Con più configurazioni visive di un modello CAD, un utente può ottenere una vista personalizzata del modello in base al ruolo dell'USCR. La personalizzazione basata sui ruoli introduce diversi vantaggi:

- l'utente può lavorare sul modello principale a livello di accesso completo mentre ne visualizza gli altri con visualizzazioni più leggere
- il controllo dell'accesso sui modelli 3D è applicato in modo ellittico poiché l'utente non ha accesso completo al modello di altri
- un meccanismo di gestione dei dati 3D così flessibile rende le aziende manifatturiere più sicure di condividere i modelli di prodotto tra i collaboratori e quindi aumenta il livello di collaborazione.

Alcune caratteristiche chiave dell'approccio (più livelli di visualizzazione, paradigma thin-client, fornitura di dati statici, ecc.) sono realizzate in un sistema prototipo su piattaforme CAD/PDM commerciali per dimostrare l'utilità dell'approccio in un ambiente di progettazione collaborativa asincrona e il risultato mostra che è possibile sviluppare funzionalità di visualizzazione basata sui ruoli in applicazioni PLM reali. Nella sua forma attuale, il sistema prototipo presenta diversi limiti. All'inizio, con un assemblaggio che coinvolge più di cinque co-designer, il lavoro del project manager diventa laborioso e soggetto a errori poiché il project manager deve intraprendere

azioni manuali quando qualsiasi componente dell'assieme cambia. Inoltre, il sistema prototipo utilizza uno schema primitivo (e eccessivamente conservativo) per evitare il trasferimento non autorizzato del modello dal database PDM, al prezzo di una visualizzazione interrotta dell'assieme sul “client side”.

Pertanto, in futuro saranno apportati i seguenti miglioramenti:

- intervento umano ridotto al minimo
- clonazione dei componenti basata sui ruoli sul lato client, invece del trasferimento dei componenti dell'assieme completo sul “client-side”.

Il primo miglioramento potrebbe essere basato su tecnologie del flusso di lavoro, mentre il secondo richiede la fornitura di dati dinamici per facilitare la creazione immediata di un assieme personalizzato per un ruolo.

4.8 REALTÀ VIRTUALE

La definizione di realtà virtuale deriva dalla semplice unione delle due parole "virtuale" e "realtà". Quindi il termine "realtà virtuale" significa fondamentalmente "quasi realtà". Questo potrebbe, naturalmente, significare qualsiasi cosa ma di solito si riferisce a un tipo specifico di emulazione della realtà nato con l’obiettivo di replicare situazioni altresì impossibili da vivere: la realtà virtuale. [23]

L’uomo è dotato di cinque sensi: gusto, tatto, olfatto, vista e udito, sono questi i sensi che ci aiutano nella scoperta del mondo.

Tutto ciò che sappiamo della nostra realtà arriva attraverso i nostri sensi, in altre parole, la nostra intera esperienza della realtà è semplicemente una combinazione di informazioni sensoriali e dei nostri cervelli che creano meccanismi per elaborare questa informazione. È ovvio quindi che, se riesci a ingannare i tuoi sensi con informazioni inventate, anche la tua percezione della realtà cambierà in risposta ad essa.

Quindi, in sintesi, la realtà virtuale è la capacità di ingannare i nostri sensi con un ambiente, appunto, virtuale generato dai computer, solitamente questi ambienti generati da programmazione sono location che possiamo esplorare e scoprire. Il potenziale valore di intrattenimento è ovvio. Per questo motivo questa tecnologia è

diventata famosa con i videogiochi con l'obiettivo di renderli immersivi, ma la realtà virtuale ha anche molte altre applicazioni, potenzialmente molto utili. Ci sono una vasta gamma di applicazioni per la realtà virtuale che includono:

Architettura, Medicina, Arte e Sport ad esempio, ovunque sia troppo pericoloso, costoso o poco pratico fare qualcosa nella realtà, la realtà virtuale potrebbe essere la risposta. Per questi motivi la realtà virtuale è utilizzata moltissimo nei training di varia natura e genere, dai piloti di aerei ai primi voli, alle applicazioni per giovani chirurghi (qui molto utile è anche la realtà aumentata), la realtà virtuale ci consente di prendere rischi virtuali. Poiché il costo della realtà virtuale diminuisce e diventa più accessibile (leggi qualcosa sulle tecnologie esponenziali), ci si può aspettare che applicazioni di realtà virtuale vengano sempre più adottate in futuro per diminuire i costi dei training e minimizzare i pericoli.

Esistono molti tipi diversi di sistemi di realtà virtuale, ma tutti condividono le stesse caratteristiche, come la capacità di consentire alla persona di visualizzare immagini tridimensionali che abbiano all'occhio dell'osservatore una grandezza naturale e la capacità di muoversi all'interno di quella realtà virtuale che stiamo esplorando muovendo la testa e cambiando quindi la direzione dello sguardo. Un ambiente virtuale dovrebbe fornire le risposte appropriate in tempo reale, più la risposta è immediata e più la realtà virtuale sarà immersiva.

Alcuni problemi nascono, infatti, quando c'è un ritardo tra le azioni della persona nella vita reale e la risposta del sistema o la latenza nella realtà virtuale che poi interrompe l'esperienza. La persona diventa consapevole di trovarsi in un ambiente artificiale e adatta il proprio comportamento di conseguenza, vanificando il tutto e in molti casi evidenziando "nausea".

La realtà virtuale e la realtà aumentata potrebbero cambiare sostanzialmente il modo in cui ci interfacciamo con le nostre tecnologie digitali.

Ma che differenze ci sono, quindi, tra la realtà virtuale e la realtà aumentata?

La realtà aumentata (AR) aggiunge elementi digitali a una vista dal vivo spesso utilizzando la fotocamera su uno smartphone. Esempi di esperienze di realtà aumentata includono gli obiettivi Snapchat e il famoso gioco Pokemon Go.

La realtà virtuale (VR) implica un’esperienza di immersione completa che chiude il mondo reale. Usando dispositivi VR come HTC Vive, Oculus Rift o Google Cardboard, gli utenti possono essere trasportati in una serie di ambienti reali e immaginari come il centro di una colonia di pinguini in Antartide o anche la coda di un drago [23].

FIGURA 19

4.8.1 REALTÀ VIRTUALE A SUPPORTO DELLE LISTE DI CONTROLLO INTERATTIVE IMMERSIVE

Come viene descritto nell’articolo [29] nelle diverse fasi del PLM, le aziende sviluppano numerose procedure basate su elenchi di controllo che coinvolgono l'ispezione e il collaudo dei prototipi. Inoltre, le tecniche di CAD, imaging 3D, animazione e realtà virtuale costituiscono ora un insieme maturo di strumenti per applicazioni industriali. Il lavoro presentato in questo articolo sviluppa un framework unico per revisioni di progetti basate su elenchi di controllo immersivi che si applicano a tutte le fasi del PLM. Combina una navigazione immersiva nella checklist, esperimenti virtuali quando necessario e aggiornamento multimediale della checklist. Fornisce uno strumento generico, indipendente dalla checklist considerata, si basa sull'integrazione di vari

strumenti e concetti di realtà virtuale, in modo modulare, e utilizza un riconoscimento dei gesti originale.

I metodi e gli strumenti per l'imaging 3D e le simulazioni interattive nella realtà virtuale (VR) sono ormai penetrati nelle attività industriali. Sono utilizzati in particolare per revisioni di progetti (es. Progettazione) o per l'implementazione di modelli CAD (Computer Aided Design) nelle industrie manifatturiere. Questo è particolarmente vero per le attività legate all'industria aerospaziale e automobilistica. Parallelamente, i mezzi dedicati alla verifica delle procedure legate ai processi di qualità e controllo, progettazione, ingegneria, fabbricazione, fanno appello alla logica delle liste di controllo, in formato digitale (foglio di calcolo), ma che sono archiviate essenzialmente in forma testuale. Diverse liste di controllo vengono utilizzate nel Product Lifecycle Management (PLM) riguardanti requisiti, progettazione, manutenzione, ecc. Sono principalmente caratterizzate dalla necessità di condividere le informazioni in modo efficiente in un lavoro collaborativo e da una gerarchia di domande su base testuale. Richiedono in successione una navigazione nella check list, un'ispezione dell'articolo e/o una sperimentazione della funzionalità e un aggiornamento delle informazioni correnti relative all'articolo. Sebbene sia sempre più forte la necessità di strumenti numerici integrati che possano essere utilizzati in tutte le fasi del Product Lifecycle Management (PLM) industriale, gli studi all'avanguardia che rivendicano un'integrazione VR-PLM in letteratura, si concentrano sempre su un particolare passaggio o aspetto del PLM. In risposta a queste esigenze, proponiamo uno strumento generico per revisioni di progetti basate su elenchi di controllo immersivi che si applicano a tutte le fasi del PLM. Permette di collegare l'esperimento virtuale della visualizzazione e navigazione 3D, la manipolazione di modelli digitali 3D e l'aggiornamento interattivo di una checklist industriale che descrive una procedura fornita da un partner industriale. Quindi, per ciascuna delle domande elencate nella checklist, all'utente vengono date le seguenti possibilità:

- condividere con altri operatori o siti industriali la visualizzazione immersiva del modello digitale 3D del sistema da controllare;

• interagire in modo intuitivo con il modello 3D al fine di eseguire virtualmente i test elencati nella check list;

• salvare simulazioni o istantanee relative a ciascuna fase delle procedure elencate nella check list;

• aggiornare la checklist (es. Allegare commenti testuali o simulazioni multimediali 3D ai test corrispondenti elencati nella checklist). Queste azioni sono rese possibili dall'implementazione di una piattaforma di realtà virtuale composta da un display 3D immersivo, strumenti per il motion capture, un braccio tattile, un guanto dati e un livello software che consente l'implementazione e l'esecuzione di scenari in tempo reale che consentono l'associazione delle proprietà di manipolazione al modello 3D di un sistema industriale. Il contributo è triplice:

1) uno strumento generico per elenchi di controllo basati su esperimenti virtuali che si applica a tutte le fasi del PLM.
2) l'integrazione di vari strumenti e concetti di realtà virtuale in un quadro industriale.
3) un nuovo paradigma di protocollo 3D immersivo per la progettazione, la qualità, il controllo, l'ingegneria, ecc. di parti o sistemi industriali, basato sul riconoscimento del gesto originale.

Cosi viene presentato per la prima volta uno stato dell'arte degli strumenti virtuali per l'industria e il contesto industriale di questo lavoro. Quindi, si ha un paradigma di revisione VR nuovo e generico, concentrandosi sugli strumenti VR per le liste di controllo e su un protocollo immersivo 3D basato sulla postura della mano e sul riconoscimento della posizione.

Con la nascita di strumenti CAE (Computer-Aided Engineering) sempre più potenti, c'è una necessità sempre più forte di strumenti numerici integrati che possano essere utilizzati in tutte le fasi del PLM. In una rara revisione delle applicazioni VR nella simulazione del processo di produzione, Mujber propone una classificazione per le applicazioni VR e la divide in tre gruppi: progettazione, gestione delle operazioni

(pianificazione, simulazione e formazione MC) e processi di produzione (lavorazione, assemblaggio, ispezione).

Sebbene ciò dimostri un'ampia gamma di applicazioni industriali per la realtà virtuale, l'uso della realtà virtuale è ben lungi dal raggiungere tutte le fasi del PLM (la convalida dei requisiti dei prodotti e l'accettazione del prodotto, ad esempio, non sono realmente affrontate dalle applicazioni VR). Infatti, se guardiamo in letteratura studi che propongono un'integrazione VR-PLM, essi si concentrano sempre su una fase o aspetto particolare e possiamo distinguere lavori che si occupano di applicazioni di montaggio o smontaggio:

- Bordegoni coinvolge due interfacce 6-DOF (un dispositivo tattile e un controllo Wiimote)
- Li propone strumenti VR per l'addestramento allo smontaggio e alla manutenzione, la sequenza delle azioni di smontaggio viene generata automaticamente dalle geometrie assemblate che descrivono il sistema da utilizzare.
- Loock e Schomer si concentrano sulla modellazione di oggetti rigidi e deformabili per simulazioni di assemblaggio e per un’analisi ergonomica
- Moreau si occupa della progettazione di un dispositivo per studiare l'ergonomia di un pulsante, con la modellazione e l'animazione di mani virtuali per la manipolazione di oggetti 3D utilizzando un'interfaccia.
- Di Gironimo presenta una metodologia innovativa per valutare l'usabilità di un prodotto, concentrandosi sulla definizione di un indice sintetico di usabilità.
- Marc mostra come la realtà virtuale possa essere uno strumento per una migliore considerazione dell'usabilità di un prodotto, evidenziando i contributi di approcci ingegneristici e psico-ergonomici per integrare salute e sicurezza sin dalla fase di progettazione in poi.
- Chedmail presenta un'architettura multi-agente per convalidare un pianificatore di percorso per un manichino o un robot manipolatore per attività di accesso e visibilità e per consentire all'utente di prendere in

considerazione (tra le altre cose) i vincoli ergonomici per il manichino o le articolazioni e i limiti meccanici per il robot. Più in generale, i requisiti ergonomici sono spesso espressi in una lista di controllo e possono trarre vantaggio dalle tecniche di realtà virtuale destinata a designer o scultori; lo sviluppo si basa sull'osservazione di designer professionisti durante la modellazione per riprodurre nel mondo virtuale le tecniche di modellazione utilizzate nel mondo reale;

- Bourdot ePicon si occupano dell'integrazione delle classiche tecniche di modellazione CAD in VR arricchite da feedback tattile.
- Meyrueis definisce e utilizza la procedura D3 per il design immersivo:
  1) Draw (selezione delle superfici da modificare)
  2) Deform (definizione e apportare modifiche)
  3) Design (trasferimento delle modifiche apportate al CAD Modelli).
- Raposo integra VR e CAD in progetti di ingegneria (manutenzione) per grandi e complessi progetti di ingegneria petrolifera.

  Ulteriori lavori propongono approcci per accoppiare sistemi VR e PLM riducendo il carico di creazione, come Noon (progettazione e valutazione rapida di veicoli di grandi dimensioni) o Makris (che coinvolge la tassonomia basata sulla semantica per la progettazione di prodotti immersivi), mentre Dangelmaier utilizza tecniche di realtà virtuale e aumentata per i processi di produzione e propongono una soluzione generica per l'interfaccia utente e la struttura dei dati, e Lee coinvolge la realtà aumentata per la progettazione di officine e le simulazioni di aggiornamento.
- Dijkstra e Timmermans sviluppano uno strumento di ricerca per l'analisi congiunta, ovvero l'analisi dei parametri che hanno un'influenza sulla decisione di un consumatore di acquistare un prodotto.
- Eddy e Lewis propongono una rappresentazione cloud dei dati per aiutare il processo decisionale.
- Kieferl usa la realtà virtuale e aumentata per la pianificazione di progetti in architettura o urbanistica.

In conclusione questo articolo ha spiegato come si può sviluppare un nuovo paradigma per la revisione 3D immersiva del progetto su base modulare utilizzando un ambiente VR.

È stato testato con successo per la fattibilità su un caso di sviluppo di un prodotto industriale reale ed è naturalmente adattato a una varietà di situazioni che coinvolgono liste di controllo (ad es. Valutazione di una nuova procedura di manutenzione, aggiornamento di un prodotto, riorganizzazione di una fabbrica, ecc.). Questo lavoro non pretende di fornire uno strumento commerciale. Fornisce un *proof-of-concept* di un nuovo modo di utilizzare i dati numerici e la simulazione interattiva in una procedura industriale diffusa. Questo lavoro esplora come le aziende potrebbero migliorare in modo significativo la tracciabilità delle revisioni del progetto, delle decisioni e della documentazione in tutte le fasi del PLM. La modularità dell'architettura è tale che altri mezzi di interazione sono concepibili senza drastici cambiamenti dell'intero schema. Nuovi mezzi interattivi sono facilmente "inseribili" nell'architettura a seconda della loro crescente efficienza: in particolare, la digitazione da tastiera delle risposte sarà vantaggiosamente sostituita da strumenti di riconoscimento vocale. Ciò apre la strada a una checklist collaborativa a mani libere basata su esperimenti virtuali con la capacità di memorizzare dati numerici relativi alle domande e alla procedura sperimentale. Esperimenti preliminari di fattibilità sono stati condotti con ingegneri. Dimostrano l'utilità dell'approccio e il rapido adattamento dell'utente allo schema di navigazione e selezione. Gli ingegneri che hanno testato lo strumento proposto prevedono miglioramenti rispetto ai metodi convenzionali. Ora, la valutazione di tali vantaggi richiederebbe esperimenti a medio termine da parte degli utenti finali industriali. Naturalmente, la chiave per una diffusione ampia e professionale di questo approccio è l'ergonomia dell'intero ambiente 3D sia dal punto di vista software che hardware.

CAPITOLO 5

5.1 HOLONIC MANUFACTORING SYSTEM

5.1.2 INTRODUZIONE

Il quinto capitolo va ad analizzare un nuovo ambito di ricerca relativo al ciclo di vita del prodotto, in particolare alla pianificazione e al controllo della produzione. Stiamo parlando della Holonic Manufactoring System. Si tratta di un sistema di produzione controllato in modo distributivo secondo il paradigma del sistema olonico. I componenti della SM sono modellati come entità (agenti) autonome e collaborative, chiamate oloni. L'holon dell'ordine di produzione richiede le risorse richieste (holon delle risorse) e l'esperienza di produzione (holon del prodotto) e pianifica le fasi di produzione consecutive. [30]

Il termine olone è una combinazione del greco "ὅλος", col significato di tutto con il suffisso "ὄν" che significa entità o parte; dunque il tutto è formato da parti che, a differenza degli atomi, sono anche entità. Per Koestler, l'olone si intende come un intero che è parte di un più ampio tutto e che comprende, simultaneamente, gli elementi o sottoparti, che lo costituiscono e gli attribuiscono il significato strutturale e funzionale. Gli oloni agiscono come entità autonome e, allo stesso tempo, cooperano alla formazione di gerarchie (chiamate olarchie), apparentemente auto-realizzanti, di sistemi e subsistemi. Una olarchia può essere dunque definita come: una gerarchia di oloni auto-regolanti che funzionano come interi autonomi sopra ordinati rispetto alle proprie parti o come parti dipendenti in subordinazione al controllo dei livelli superiori e comunque sempre coordinati con il proprio ambiente. [31]

Mella (2005) sottolinea che l'olone non corrisponde ad alcuna struttura osservata o ipotizzata, esso non è la struttura ma è della struttura quale centro di relazioni con altre strutture componenti (sotto ordinate) e composte (sopra ordinate) come mostra la figura seguente [31]:

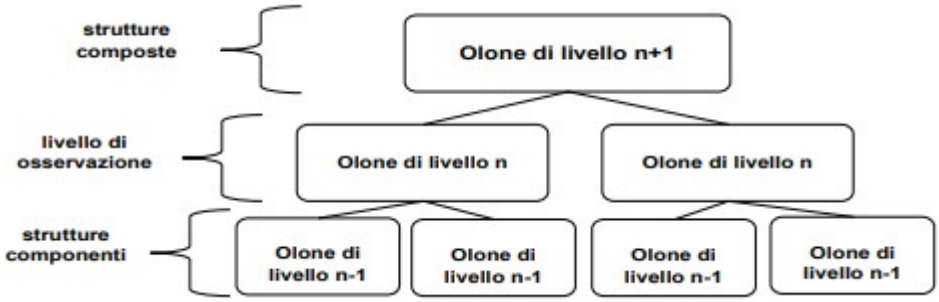


FIGURA 20

Nell'interpretazione operativa dell'olone, adottata nelle scienze biologiche e ingegneristiche,esso rappresenta un'operazione (o un operatore) di elaborazione contraddistinta da propri input ed output. In questa accezione l'olone può essere un soggetto biologico, un macchinario oppure un'organizzazione. Gli oloni del medesimo livello, attraverso i propri processi, elaborano elementi o informazioni, provenienti dagli oloni di livello inferiore, e trasferiscono i risultati a quelli di livello superiore per ulteriori elaborazioni. I processi degli oloni di livello "n" sono originati dai processi degli oloni subordinati "n-1" e configurano quelli degli oloni super ordinati "n+1". Il sistema olonico può dunque essere definito come: *"un'entità globale ed organizzata di interrelazioni tra unità operative ad alto livello di autoregolazione e capaci di cooperare tra loro, mantenendo la propria autonomia, in vista di risultati condivisi e finalità comuni".* [31]

Le caratteristiche principali di un sistema olonico sono:

- Il sistema di valori condivisi;
- Il sistema informativo a rete distribuita;
- La gerarchia autonoma distribuita.

Il sistema di valori condivisi ha la funzione di rendere possibile l'interazione, spontanea e continua, tra gruppi di persone distanti tra loro e non legate da vincoli giuridici, allo scopo di permettere lo sfruttamento dei vantaggi di cooperazione che favoriscono la stabilità del sistema. I valori condivisi sono contraddistinti dalla unione di intenti nell'organizzazione, ne sono esempi alcuni degli elementi della produzione snella come il miglioramento continuo (o

kaizen) e l'orientamento al lavoro in squadra che sono spesso espressi in maniera esplicita nella vision e nella mission aziendale. Ciò che contraddistingue l'approccio olonico da quello snello è, in questa accezione, la più marcata focalizzazione sulla capacità di apprendimento dell'individuo.

Il sistema informativo a rete distribuita è il subsistema neurale che supporta le unità operative nel distribuire, in tempo reale, le informazioni utili all'ottenimento del massimo rendimento dalle opportunità di affari che si prospettano. Esso può operare grazie ad infrastrutture opportunamente create per garantire il rapido collegamento fra le parti. Per garantire questa rapidità, la struttura deve essere compatibile con l'interfaccia del sistema di rete, così da permettere la comunicazione, grazie a software appositamente creati per favorire l'abbattimento degli ostacoli di trasmissione e ricezione delle informazioni.

La gerarchia autonoma distribuita consiste nella capacità, di ciascuno dei possibili centri decisionali, di assumere il comando in qualsiasi momento a seconda delle diverse sollecitazioni che provocano perturbazioni nell'ambiente di riferimento. Ogni attività è in grado di interagire con ognuna delle altre direttamente in modo non mediato. In un sistema olonico tutti gli oloni hanno la stessa importanza e si accollano le stesse responsabilità; il coinvolgimento di un olone come unità operativa è indicato dalle conoscenze e dalle competenze possedute e non da un ruolo di leadership predefinito all'origine. Saccani definisce il sistema olonico come:*"… una struttura organizzativa che presenta i lineamenti della coalizione tra sottounità costitutive di imprese (o parti di esse) che agiscono a diversi livelli lungo una catena di business.*" Il sistema olonico presenta i caratteri della comunità tra imprese come il distretto industriale, la supply chain, il gruppo o il keiretsu giapponese ed altre forme di raggruppamenti di imprese.

Il sistema olonico genera olarchie temporanee, basate su criteri dettati dall'ambiente, all'interno di infrastrutture che consentono l'efficacia e la coordinazione dell'azione, la supply chain invece non possiede infrastrutture ben definite e si basa su gerarchie durevoli dettate dalla posizione nella catena di fornitura. Anche il concetto di "gruppo di imprese" differisce da quello di sistema olonico, i confini del sistema olonico non sono infatti definiti da forme giuridiche o da partecipazioni nel capitale di rischio. Più sottile è invece la distinzione tra sistema olonico e keiretsu, questo infatti, a differenza del gruppo di imprese, non esiste in virtù di legami giuridici o finanziari9 , ma di legami di natura sociale ed imprenditoriale. La differenza con questo tipo di aggregazione tra imprese si può tuttavia rintracciare nella non flessibilità delle gerarchie al suo interno, a differenza delle olarchie del sistema olonico infatti i ruoli gerarchici all'interno del keiretsu sono predefiniti e non mutano rapidamente. La forza del sistema olonico risiede dunque nel concetto di olarchia che permette la costruzione di sistemi estremamente complessi che sono nondimeno efficienti nell'uso di risorse, altamente resilienti ai disturbi (sia interni che esterni) ed adattabili ai cambiamenti nell'ambiente in sui si trovano. All'interno dell'olarchia, gli oloni possono dinamicamente creare e cambiare le gerarchie e partecipare a diverse gerarchie allo stesso tempo; questo come vedremo rende il sistema olonico un modello altamente performante in ambienti turbolenti come quelli dei mercati odierni. [31]

5.1.3 STATO DELL'ARTE DEGLI HMS

La fine del secolo scorso ha visto l'evoluzione e l'affermazione di nuovi contesti tecnici, economici e sociali in cui le imprese si trovano oggi ad operare. Il modello rigido delle strutture di tipo Fordista-Taylorista, a partire dalla fine degli anni '70, si è rivelato non più universalmente applicabile. La produzione di massa, che aveva dimostrato di rispondere efficacemente a situazioni di stabilità e crescita costante, ha cominciato a mostrare i suoi punti deboli in contesti instabili e mutevoli. Il modello organizzativo gerarchico, alla base del sistema di produzione di massa, prevedeva infatti la costanza di fattori sociali (abbondanza di manodopera, omogeneità culturale),economici (costante crescita dei mercati, domanda indifferenziata, deboli turbolenze

internazionali) e tecnologici (basso tasso di innovazione dei prodotti e dei processi). A partire dagli anni ’80 il successo imprenditoriale e produttivo delle imprese manifatturiere nipponiche, specie in campo automobilistico, ha portato alla ribalta le filosofie gestionali e le tecniche produttive che sono state denominate “lean” o “snelle”.

Tuttavia, come previsto da Taiichi Ohno, creatore del Just In Time della Toyota, l’approccio snello si è rivelato difficilmente implementabile al di fuori dell’arcipelago Giapponese, e comunque non sufficiente ad affrontare le sfide dell’arena competitiva del XXI secolo. La diffusione di Internet,a partire dagli anni ’90, ha reso possibile l’utilizzo, da parte delle imprese, di una infrastruttura informativa planetaria a basso costo, che sta tutt’oggi favorendo radicali cambiamenti nel mercato. Questi cambiamenti, insieme alle trasformazioni di natura sociale che hanno contraddistinto la fine del secolo scorso, hanno portato agli attuali livelli di complessità dell’ambiente socio-economico, dunque dei mercati e delle catene di fornitura. L’aumento della complessità si identifica infatti con l’aumento della varietà, della mutevolezza e della non prevedibilità dei fenomeni che caratterizzano l’ambiente in cui opera l’impresa. Le direttrici di crescita della complessità sono raggruppabili in tre categorie: economica, tecnica e socio-psicologica. Della prima categoria fanno parte i fattori di cambiamento nell’ambito delle relazioni che coinvolgono gli attori economici come l’ampliamento della dimensione del business, i bassi tassi di crescita economica, gli elevati tassi di inflazione, la terziarizzazione e l’eterogeneità della domanda. Alla direttrice tecnica si riconducono le traiettorie di sviluppo tecnologico che generano complessità attraverso la rapida obsolescenza delle strutture hardware e software ed alla richiesta di tecnologie flessibili. La complessità socio-psicologica, infine, incide sulla sfera dei comportamenti sociali dell’individuo, ed in particolare, sui comportamenti del consumatore, che si evolve divenendo più esigente, più informato e più disponibile a fornire indicazioni per ottenere il prodotto che desidera e che deve essere fortemente differenziato. In questo scenario le modalità di previsione tradizionali sono rese inefficaci dal moltiplicarsi dei prodotti necessario a seguire le esigenze di mercati maturi e di consumatori il cui ruolo si è evoluto da “consumer” a “prosumer”. La

produzione di massa non permetteva la personalizzazione del prodotto ma offriva grandi volumi di beni standardizzati. Le mutate esigenze spingono oggi invece verso la produzione di beni personalizzati in grandi quantità; per soddisfare queste esigenze è necessario dotarsi di una struttura logistico-produttiva estremamente flessibile. Le esigenze dei consumatori sono cambiate anche sotto l'aspetto temporale: le innovazioni ed i tempi di introduzione nel mercato di nuovi prodotti si sono ridotti drasticamente. La necessità di rispondere in tempi rapidi all'aumento della complessità obbliga le imprese a mutare il proprio approccio competitivo e a sviluppare nuove capacità di interazione con altre imprese per meglio servire i mercati. In questo contesto assumono, dunque, rilevanza cruciale i fattori "flessibilità" e "tempo". La fabbrica del futuro dovrà essere in grado di:

- Reagire adeguatamente alle turbolenze nel proprio ambiente-mercato (nuovi prodotti, quantità impreviste di domanda di prodotti, ecc.);
- Sopravvivere ai cambiamenti dei processi produttivi (introduzione di nuove tecnologie);
- Reagire adeguatamente alle incertezze nel processo di produzione (difetti, ritardi, ecc.);

Né i sistemi **gerarchici** né quelli **eterarchici** riescono ad adeguarsi a queste aspettative.

- I sistemi gerarchici hanno una struttura tipicamente rigida che impedisce loro di reagire alle turbolenze in maniera agile.
- I sistemi eterarchici sono network di elementi (spesso chiamati agenti) con obiettivi comuni in cui ciascun elemento condivide la stessa posizione "orizzontale" di potere ed autorità. Essi possono gestire bene le turbolenze e si possono adattare all'ambiente; tuttavia il controllo eterarchico non garantisce alti livelli di performance e comportamenti prevedibili, dunque, i sistemi eterarchici sono difficilmente utilizzabili nell'industria. Serve un sistema in grado di garantire performance a e reattività al tempo stesso.

La risposta a questa sfida sembra venire dalle teorie che, guardando agli organismi viventi e alle organizzazioni sociali, hanno fornito una interpretazione dell'impresa

come sistema vivente. In realtà come nota Golinelli le dottrine dei sistemi vitali non sono vere e proprie “teorie” poiché non costituiscono una disciplina strutturata e formalizzata, piuttosto rappresentano una filosofia di pensiero interdisciplinare in grado di dare vita ad un meta-modello utile come chiave di lettura di molteplici fenomeni di diversa natura, sia essa biologica, sociale o economica.

Gli approcci sistemico-vitali sono comunemente associati al pensiero olistico. In comune con il paradigma olistico, quello sistemico-vitale ha senza dubbio il contrasto con la tradizione analitica riduzionista cartesiana, che si propone di spiegare i sistemi complessi spaccandoli nelle loro componenti e studiandone, indipendentemente, le proprietà. Entrambi poi non sono discipline scientifiche in sé stesse, piuttosto fissano un approccio filosofico in cui viene osservato il principio di emergenza nell'applicare il metodo scientifico, utilizzando una metodologia ampiamente interdisciplinare e multidisciplinare. Ciò che contraddistingue l’approccio sistemico-vitale dal paradigma olistico (inteso in senso stretto) è il non rifiuto dello studio della parte, che viene comunque esaminata e valutata, nella considerazione che le caratteristiche di questa e, soprattutto, il sistema di relazioni con le altre parti, sono rilevanti per l’analisi della realtà come unicum integrato ed interagente di fenomeni.

In questo quadro, a cavallo tra l’approccio olistico in senso lato e quello sistemico vitale, si colloca il paradigma olonico derivante dalle riflessioni di Arthur Koestler. Koestler nel 1967 osserva come i sistemi complessi possono nascere solo se consistono di subsistemi stabili ed autonomi, capaci di sopravvivere alle turbolenze ma, allo stesso tempo, capaci di cooperare, al fine della formazione di un sistema più complesso. Il sistema di produzione olonico (SPO) implica una organizzazione altamente distribuita del sistema di produzione, dove l’intelligenza è ripartita tra entità individuali chiamate “oloni”. Gli oloni sono moduli cooperativi, intelligenti ed autonomi che lavorano insieme in gerarchie temporanee chiamate “olarchie” [31].

5.1.4 FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI PRODUZIONE OLONICO

L’approccio analitico-riduzionistico applicato alla economia aziendale studia le aziende quali singole organizzazioni, collegate tra loro e con l’ambiente attraverso una rete di

scambi, e presume che tutta l'attività di produzione sia realizzata da aziende che, autonomamente, attraverso processi programmati, trasformano le risorse in prodotti per soddisfare i bisogni del mercato. Nella visione olonica del sistema produttivo ogni azienda è un olone, caratterizzato da una propria struttura e autonomia decisionale, appartenente ad una olarchia che ne fissa lo scopo in modo funzionale al raggiungimento del fine dell'azienda: la soddisfazione del cliente. Alla fine degli anni '80, epoca del tramonto della "bubble economy" giapponese, per opporsi all'incalzante concorrenza statunitense ed europea, due delle maggiori multinazionali nipponiche: Toshiba e Hitachi iniziarono a promuovere studi per trovare un nuovo sistema di produzione in grado di affrontare le sfide dei mercati del XXI secolo. Tra il 1992 ed il 1994 le due multinazionali, associatesi in un consorzio sotto l'egida dell'IMS Promotion Center giapponese, finanziarono uno studio di 15 mesi per identificare i limiti dei sistemi di produzione esistenti ed i fattori critici di successo per quelli del futuro prossimo. Dal progetto è emerso un modello organizzativo denominato "Sistema Produttivo Autonomo Distribuito". Tale sistema, di tipo reticolare e caratterizzato da elevata mobilità e intelligenza decentrata, ma allo stesso tempo dalla capacità di agire come un'unica entità governata da un organo centrale, altro non è che il prototipo di un sistema olonico. La capacità di promuovere continui miglioramenti attraverso continui cambiamenti sembra appartenere ai requisiti dei sistemi eterarchici, la cui architettura del controllo è mostrata figura seguente:

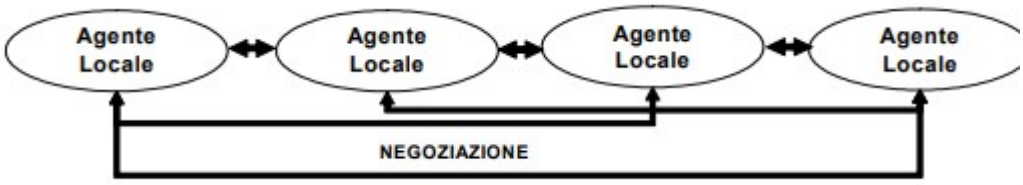


FIGURA 21

Nei sistemi eterarchici ogni gerarchia è proibita al fine di dare pieni poteri ai singoli "agenti" del sistema. Per agente si intende, in generale, una entità che interagisce con il suo ambiente secondo le sue peculiari proprietà e finalità. Nel campo dell'Intelligenza Artificiale il termine "agente intelligente" è usato per definire, in un

sistema, gli attori intelligenti che osservano ed agiscono in un ambiente come entità capaci di percezione e comportamenti finalizzati ad uno scopo ed aventi le seguenti caratteristiche:

- Autonomia: operano senza l'intervento di entità sovra-ordinate;
- Abilità sociale: interagiscono con altri agenti;
- Reattività: percepiscono l'ambiente e rispondono in modo tempestivo ai cambiamenti che in esso avvengono;
- Pro-attività: sono in grado di manifestare comportamenti diretti al raggiungimento di obiettivi prendendo iniziative al riguardo. Un sistema di produzione eterarchico consiste, ad esempio, nel rapporto tra stazione di lavoro e ordini di fornitura. Ogni ordine contratta direttamente con la stazione di lavoro, affinché essa svolga il compito usando tutte le possibili alternative per far fronte a situazioni impreviste nella domanda (nuovi prodotti, picchi di domanda, ecc.) o nell'offerta (nuove tecnologie, difetti di produzione, ecc.). In questo modo è possibile reagire adeguatamente ai cambiamenti nell'ambiente. Nonostante i sistemi eterarchici siano estremamente agili, essi non sono però adatti ad operare seguendo piani predefiniti, pertanto, il loro comportamento è difficilmente prevedibile, ciò risultando in variabilità del sistema. Le strutture eterarchiche funzionano bene in ambienti poco complessi e omogenei con abbondanti risorse, mentre in ambienti complessi, a causa della loro imprevedibilità, possono portare a situazioni di instabilità in cui, a turbative minori dell'ambiente, essi rispondono con grandi scompensi nel sistema. Inoltre, in presenza di scarsità di risorse, essi non sono in grado di agire in maniera efficiente a causa della mancanza di programmazione. La recente concezione di "produzione basata sugli agenti" si fonda su un'evoluzione del concetto di agente intelligente chiamata Distributed Artificial Intelligence (Intelligenza Artificiale Distribuita) o DAI. I DAI sono agenti distribuiti, sofisticati e raziocinanti che cooperano con gli altri per la soluzione di problemi. Se applicato alla produzione un DAI è un software che rappresenta un

elemento fisico del sistema produttivo come un prodotto od una macchina. Esso è assimilabile ad un olone poiché ha sia proprietà di autonomia che capacità cooperativa, ma non è indipendente come un agente convenzionale, bensì è un tassello integrante ed integrato del sistema cui appartiene e di cui condivide le finalità.

La ricerca sui sistemi basati sugli agenti si è spostata da strutture puramente eterarchiche alle cosiddette strutture quasi-eterarchiche o olarchie in cui gli agenti-oloni possono formare gerarchie ed aggiustare i propri comportamenti a seconda delle informazioni che ad essi pervengono.

La volontà di applicare questa visione per l'implementazione di moderni ed agili sistemi produttivi è stata il motore degli sviluppi, nei campi dell'architettura dei sistemi di produzione, che hanno portato alla elaborazione del Sistema di Produzione Olonico (SPO).

Il SPO si pone come una valida alternativa alle architetture tradizionali dei sistemi di produzione che hanno una bassa capacità di adattarsi e reagire ai cambiamenti dinamici dell'ambiente-mercato. Un SPO è composto di unità produttive funzionali chiamate oloni che sono caratterizzate simultaneamente da autonomia e capacità cooperativa. Vi è una stretta relazione tra oloni e agenti poiché un olone può essere descritto come un gruppo di agenti che insieme soddisfano una certa funzionalità del sistema. Una analisi del sistema basata sui principi dell'approccio olonico suggerisce l'implementazione di un software distribuito composto da entità autonome che agiscono in maniera cooperativa come mattoni della struttura; il paradigma dei MAS sembra essere il più adatto a questo scopo. Gli oloni possono essere rappresentati come agenti nidificati che definiscono vari livelli di risoluzione all'interno del sistema. L'impresa olonica può anche essere vista come un ecosistema informativo composto da oloni collaborativi ed autonomi. La figura sottostante descrive la struttura di una olarchia produttiva scomposta nei vari livelli:

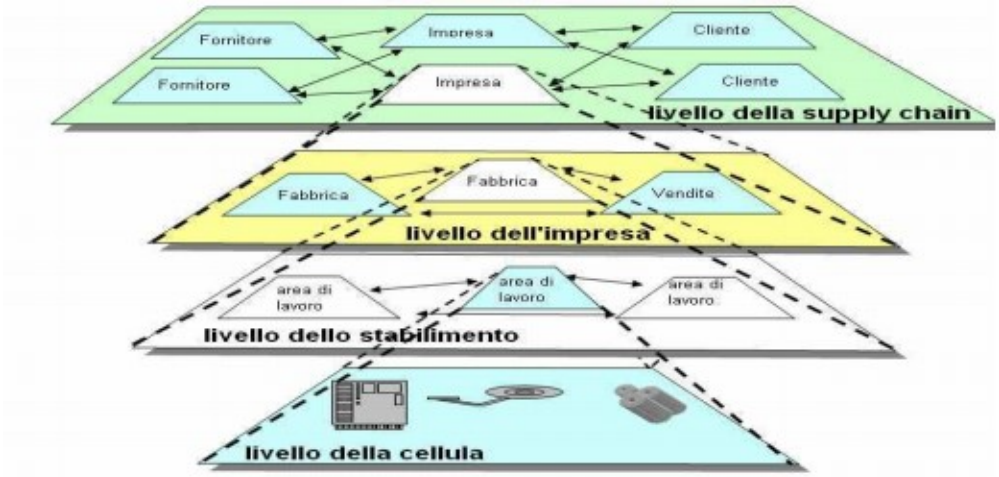


FIGURA 22

Ogni elemento della figura rappresenta un olone (area di lavoro-cellula, fabbrica-stabilimento, impresa). Nel livello superiore, quello della supply chain, avviene l'interazione tra le imprese ed i propri fornitori e clienti. Rispetto a ciascuna delle imprese del livello della supply chain, possiamo determinare un sotto-sistema che è il livello dell'impresa in cui troviamo la cooperazione tra entità, solitamente separate, quali le vendite e gli stabilimenti di produzione. All'interno di ciascuna fabbrica possiamo identificare diverse aree, o cellule di lavoro, le relazioni tra le quali avvengono nel livello dello stabilimento in cui avviene il controllo del ciclo di produzione. Ogni cellula di lavoro rappresenta il livello di base dell'olarchia descritta e modella le interazioni tra gli oloni di base che sono composti di macchine e uomini. Il concetto di cooperazione tra lavoratori ed e macchine è uno degli assi portanti della produzione snella. Il controllo di queste interazioni implica la responsabilizzazione del lavoratore che verifica il volume, la qualità e, in alcuni casi, anche la performance finanziaria. L'"Autonomazione" (o Jidoka in giapponese) è uno dei pilastri del sistema di produzione Toyota su cui la lean production è modellata.

Il termine "*Jidoka*" in giapponese ha due diversi significati poiché può essere scritto con diversi ideogrammi (kanji):

- 自動化 : con il significato di processo meccanico automatico;
- 自働化 : con il significato di autocontrollo dei difetti effettuato da una macchina ma con l'aiuto di una mente umana.

La parola *Jidoka* è dunque composta di tre ideogrammi giapponesi (kanji):

JI – DO – KA.

A seconda dell'ideogramma centrale (動 invece di 働) cambia il significato della parola e così da "automazione" (自動化) si passa ad "autonomazione" (自働化). Con l'autonomazione, l'olone uomo-macchina diventa capace di discernere circa la qualità, la responsabilità del controllo viene distribuita ed il processo automatizzato diventa più intelligente, quindi più affidabile. La capacità di riconfigurazione e di controllo del sistema passa dunque anche attraverso l'interazione uomo-macchina.

I sistemi di produzione olonici, come già accennato, derivano la loro architettura dal modello del sistema autonomo distribuito (fig. 23), essendo il controllo delegato alle singole unità periferiche, ma con un meccanismo di coordinamento tra di esse che agisce attraverso la cooperazione.

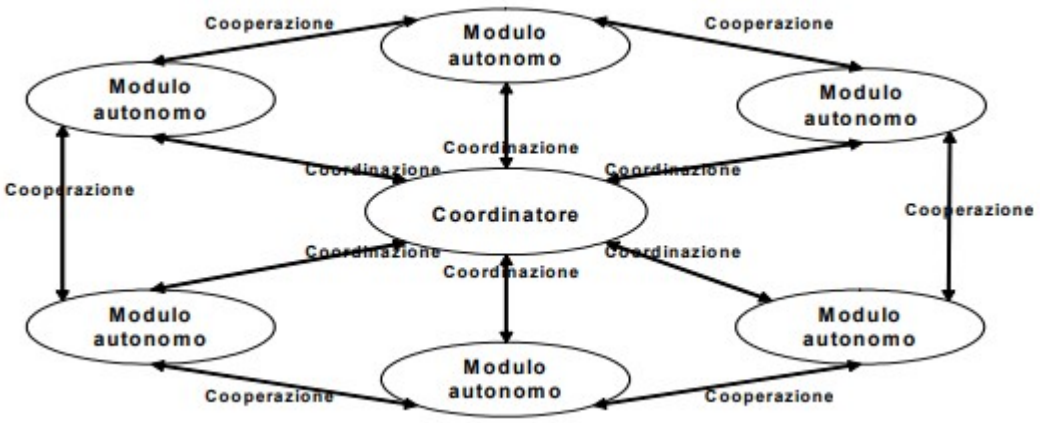


FIGURA 23

Per ottenere la coordinazione e la cooperazione all'interno del sistema è indispensabile l'esistenza di un obiettivo comune che sia in grado di indurre i diversi elementi del sistema ad unirsi ancora prima del manifestarsi di una immediata necessità. Questo può essere ottenuto anche mediante di politiche di comunicazione organizzativa che, attraverso strumenti come la vision e la mission aziendali, infondano nella componente umana dell'olarchia il senso di appartenenza e di equifinalità del

sistema. Grazie all'approccio olonico l'implementazione di un sistema logistico-produttivo agile ed adattabile sembra essere possibile [31].

5.1.5 CONSIDERAZIONI

La combinazione degli aspetti migliori dei sistemi di controllo gerarchico ed eterarchico è stata lo stimolo degli studi sul sistema di produzione olonico. Esso infatti si propone di combinare gli alti e prevedibili livelli di performance del sistema gerarchico con la resilienza dei sistemi eterarchici. Gli studi sull'intelligenza artificiale si sono rivelati uno strumento efficace per lo sviluppo di strutture informatiche in grado di supportare l'implementazione dei Sistema di Produzione Olonico. Il SPO con le sue capacità di apprendimento e auto"configurazione, ottenute anche grazie all'equilibrio nell'interazione uomo"macchina, sembra avere le caratteristiche di agilità ed adattabilità necessarie nei nuovi scenari competitivi. Il SPO va comunque visto come un approccio evoluzionale verso l'implementazione dei suoi requisiti. Essendo questi requisiti particolarmente ambiziosi, è certamente più pragmatico pianificare passi intermedi verso il raggiungimento dell'obiettivo del sistema di produzione intelligente, così da consentire un passaggio più graduale verso la produzione olonica ed assicurare l'abilità del sistema di supportare l'adattamento e l'evoluzione continua [31].

6.1 CONCLUSIONI

Lo scopo principale di questo elaborato è quello di dare una descrizione dettagliata su quello che è il ciclo di vita del prodotto e di andare a valutarne la validità e l'accuratezza affinché permetta di dare un incentivo alle aziende e di aiutarle nello sviluppo dei loro prodotti rendendole competitive sul mercato. Quindi sono state fornite tutte strategie di business a supporto del ciclo di vita del prodotto che permetteranno alle aziende di abbassare i costi e aumentare i ricavi.

Nel primo e secondo capitolo è stata data una definizione del ciclo di vita del prodotto (Product Lifecycle) andandolo a definire come l'insieme delle fasi, dalla nascita fino al declino, che caratterizzano un prodotto, ovvero la sua evoluzione nel tempo. Ciascuna delle fasi è caratterizzata da fattori quali prezzo, costi, etc. Tutto ciò è direttamente proporzionale alle vendite che a loro volta sono direttamente proporzionali alla concorrenza indiretta sul mercato, alle abitudini degli acquirenti e al loro consumo. Quindi verrà stabilito un piano di marketing affinché si possa determinare un'accelerazione delle vendite e quindi un aumento dei ricavi. Per far ciò le aziende dovranno presentare e far conoscere il proprio prodotto attraverso un piano di marketing per portare il cliente a quelli che saranno i benefici del prodotto stesso.

Davanti a clienti volubili nel tempo, le aziende adottano una nuova strategia a supporto del prodotto in modo da poter garantire agli acquirenti massima qualità nel minor tempo possibile. Stiamo parlando del PLM (Product Lyfecycle Management), ovvero di una vera e propria gestione del ciclo di vita del prodotto a livello di dati tecnici in modo da poterli rendere accessibili a chiunque all'interno del sistema. Cosi facendo le aziende garantiranno una miglior qualità di dati, una loro congruenza e una loro trasparenza, fornendo un controllo e una distribuzione dell'informazione più mirata e andando a ridurre errori concreti che potrebbero influenzare il futuro dell'azienda. Ciò ha permesso un aumento della produttività con una forte riduzione dei costi. A supporto di ciò il PLM si è servito di validi strumenti quali il Data Manager, il Workflow Manager e il BOM Manager che aiutano il PLM stesso nella sua implementazione andando a definire un vero e proprio progetto di ingegneria.

A supporto del PLM sono state definite altre tecnologie quali sistemi CAD 2D/3D che hanno come obiettivo la creazione di un modello digitale che va a descrivere scrupolosamente il prodotto fisico di un'azienda, permettendo agli utenti di apportare modifiche per tutta la fase di ideazione e sviluppo, fino alla consolidazione del prodotto finale che verrà progettato e distribuito. Questo è un forte vantaggio per le aziende in quanto permette una netta riduzione dei costi in quanto non sarà più necessario creare continui modelli per valutarne l'efficienza al fine di scegliere quello più consono e inoltre ci sarà anche un risparmio temporale rendendo la creazione di un prodotto cosa fattibile in poco tempo. Si è parlato anche di un modello ontologico del PLM che va ad implementare i vantaggi e le funzionalità del sistema in quanto consente principalmente un riutilizzo della conoscenza raggiungendo modelli di interoperatività affinché il PLM arrivi al suo pieno potenziale.

Sono stati inoltre evidenziati i modi di valutazione dei costi del ciclo di vita del prodotto. Si è parlato di LCA e LCC. Il primo mira al calcolo degli impatti ambientali dei prodotti andando a quantificare le materie prime necessarie e andando a riscontrare quali sono le emissioni dell'ambiente. Il secondo va a calcolare i costi del prodotto dalla fase di ideazione fino al suo smaltimento da un punto di vista economico.

Nel terzo capitolo è stato evidenziato un altro approccio adottato dalle aziende a supporto del Product Lifecycle Management: i Digital Twin. Sono tecnologie che permettono la creazione di un gemello digitale di un elemento fisico, in questo caso di un prodotto, dove l'elemento digitale rimane in qualche modo connesso con l'elemento fisico fornendo uno scambio di dati e informazioni in modalità sincrona o asincrona.

Il modello digitale va a racchiudere tutte le informazioni inerenti al ciclo di vita del prodotto fisico permettendo facilità nell'accesso ai dati e alle risorse informatiche presenti nel sistema e lo scambio di tali informazioni tra la componente virtuale e quella fisica.

Nel quarto capitolo si è studiato una metodologia operativa che va a presentare quella che è una simulazione digitale di un prodotto fisico che permette di analizzare gli aspetti del ciclo di vita del prodotto. La creazione di un prototipo è chiamata

prototipazione virtuale. Questo approccio va a mescolare tecnologie CAD al fine di validare il progetto di un'azienda prima della sua realizzazione fisica permettendo quindi di anticipare le fasi iniziali della progettazione. Questa tecnologia permetterà alle aziende di ridurre il time-to-market, di rimuovere barriere geografiche poiché chiunque potrà interagire con il prototipo virtuale attraverso il sistema, e inoltre, tra i tanti vantaggi, si evidenzia una notevole riduzione dei costi e una netta semplificazione dei progetti.

In conclusione di questa tesi si è parlato di un nuovo ambito di ricerca e sviluppo delle aziende volte a migliorare la produzione. Si tratta di un sistema di produzione controllato di nuova generazione che prende il nome di Holonic Manufacturing System, che può essere usato per avere nelle aziende sistemi di produzione più agili. L'idea alla base è quella di andare a fornire un processo di produzione più elastico e dinamico in grado di integrare l'uomo in modo efficace, affinché durante il ciclo di vita del prodotto possano essere apportate modifiche in modo continuo e anch'esso dinamico.

La base di questa tecnologia è il concetto di "Olone" che è definito come "tutto o una parte del tutto". Esso infatti può essere costituito anche da altri oloni garantendo una forma stabile all'olone in maniera tale da sopravvivere ai disturbi. Invece le caratteristiche ibride degli oloni permettono alle entità di collaborare con altre attraverso lo scambio di servizi, o di lavorare autonomamente. Questo approccio è motivato dal fatto che un'azienda al giorno d'oggi si ritrova in un mercato fortemente competitivo e, spesso, all'interno del proprio sistema si scontra con una forte instabilità del sistema di produzione e con incertezze relative alle domande degli acquirenti. Di conseguenza sarà l'olone a risolvere questo problema poiché sarà in grado di prendere decisioni su problemi di progettazione particolarmente complessi e di risolverli, garantendo all'azienda flessibilità ed efficienza.

BIBLIOGRAFIA

1 https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/ciclo-di-vita-del-prodotto/

FIGURA 1 https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/ciclo-di-vita-del-prodotto/

FIGURA 2 https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/ciclo-di-vita-del-prodotto/

2 https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/life-cycle-costing#:~:text=The%20first%20one%20is%20the,et%20al.%2C%202007).

3 SETAC 2008

FIFURA 3 https://www.beninda.com/services/electronic-document-system/

[4]https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_della_catena_di_distribuzione#:~:text=La%20gestione%20della%20catena%20di,prestazioni%20e%20migliorarne%20l'efficienza.

FIGURA 4 https://www.multimac.it/soluzioni_scheda_ita.php/nomeProdotto=PDM_(Product_Data_Management)/idcat=2/idsottocat=154/idprodotto=1364

[5] http://www.sittec.it/dam/jcr:23b60f38-5665-4e4c-8a79-28c85ca32bd2/ST_Introduzione%20e%20vantaggi%20di%20un%20sistema%20PLM_Approfondimento_IT.pdf

FIGURA 5 https://www.exekon.com/it/plm

[6] https://www.plm-software-leanit.com/it/product-lifecycle-management/soluzioni-software-plm.html

FIGURA 6 https://www.researchgate.net/figure/Workflow-management-system-architecture-with-data-access-plug-ins_fig12_26621914

FIGURA 7 https://help.bricsys.com/hc/en-us/articles/360010146779-Bill-of-Materials-Panel

[7] https://www.cadtec.it/plm-guida-implementazione-di-successo/

FIGURA 8 https://www.ilprogettistaindustriale.it/corelcad-2017-offre-disegno-in-2d-e-modellazione-in-3d-con-precisione-personalizzazione-e-controllo/

[9] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361510000564

[10] https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/our-story/glossary/digital-twin/24465

[11] https://www.ingenio-web.it/24143-glossario-bim---che-cosa-e-il-gemello-digitale-digital-twin

FIGURA 10 https://www.ingenio-web.it/24143-glossario-bim---che-cosa-e-il-gemello-digitale-digital-twin

[14] https://www.cadlog.it/2018/03/27/digital-twin-la-nuova-era-industria-4-0-segue-il-ciclo-di-vita-del-prodotto/

FIGURA 9 https://www.cadlog.it/2018/03/27/digital-twin-la-nuova-era-industria-4-0-segue-il-ciclo-di-vita-del-prodotto/

FIGURA 11 https://www.cadlog.it/2018/04/17/digital-twin-cablaggio-vantaggio-competitivo/

[12] https://www.cadlog.it/2018/04/17/digital-twin-cablaggio-vantaggio-competitivo/

[13] https://www.internet4things.it/industry-4-0/digital-twin-cose-come-funziona-esempi-e-vantaggi-del-gemello-digitale/

[15] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318315416

[16] http://www.gsprogetti.it/prototipazione_virtuale.html

[18] Jayaram S., Jayaram U. Gowda S., "Architectures for Internet-based Collaborative Virtual Prototyping," in Proceedings of the 1999 ASME Design Technical Conference and Computers in Engineering Conference, Las Vegas, Nevada, Settembre 1999

[19] Krovi V., Kumar V., Mahoney R., Song P., "Desing and Virtual Prototyping of Human-WornManipulation Devices," in Procedings of the 1999 ASME Design Technical Conference and Computers in Engineering Conference, Las Vegas, Nevada, Settembre 1999.

[20] Wang G., "Definition and Review of Virtual Prototyping," Journal of Computing and Information Science in Engineering, vol. 2, pp. 232-236, Settembre 2002.

FIGURA 12 https://newsroom.enginsoft.com/dal-prototipo-reale-al-prototipo-virtuale-quali-vantaggi

[17] http://wwwdata.unibg.it/dati/corsi/39057/85937-06b%20Il%20prototipo%20e%20la%20prototipazione.pdf

[21] https://www.cadlog.it/prototipazione-virtuale/

FIGURA 13 https://www.cadlog.it/prototipazione-virtuale/

[22] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507000383

FIGURA 14 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507000383

FIGURA 15 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507000383

FIGURA 16 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507000383

FIGURA 17 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507000383

FIGURA 18 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507000383

[28] https://www.impactscool.com/tecnologieesponenziali/realtavirtuale/

FIGURA 19 https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/webinar/virtual-reality-and-plm/68343

[29]https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0166361513000717?token=A6C4CBFA8DB129440687E525076873A240DA9B4570AC91177D559B7375E39B0C408F1663531E5D767C95EE6B356227F1

[30] https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-20617-7_6556#:~:text=A%20Holonic%20Manufacturing%20System%20(HMS,(agents)%2C%20called%20holons.

[31] http://www.rebelalliance.eu/uploads/9/2/9/2/9292963/approccio_olonico_e_mercati_xxi_secolo_dominici.pdf

FIGURA 20 http://www.rebelalliance.eu/uploads/9/2/9/2/9292963/approccio_olonico_e_mercati_xxi_secolo_dominici.pdf

FIGURA 21 http://www.rebelalliance.eu/uploads/9/2/9/2/9292963/approccio_olonico_e_mercati_xxi_secolo_dominici.pdf

FIGURA 22 http://www.rebelalliance.eu/uploads/9/2/9/2/9292963/approccio_olonico_e_mercati_xxi_secolo_dominici.pdf

FIGURA 23 http://www.rebelalliance.eu/uploads/9/2/9/2/9292963/approccio_olonico_e_mercati_xxi_secolo_dominici.pdf

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare in primis il mio relatore, la Professoressa Maura Mengoni, per la sua professionalità e disponibilità nella supervisione, e per il prezioso aiuto oltretutto a distanza.

Ringrazio mia madre, donna forte e combattente, la mamma migliore al mondo, il mio esempio. È grazie a lei se oggi sono e domani sarò.

Ringrazio mio padre, un po' matto, il più divertente che ci sia, sempre pronto a farmi sorridere nei momenti difficili.

Ringrazio voi che mi guardate da lassù, i miei angeli custodi.

Ringrazio le mie nonne:

Iolanda, guerriera davanti a tanti mali, ma sempre vincente.

Angela, il mio angelo, per l'amore che mi dà ogni giorno dal primo giorno.

Ringrazio le mie amiche, quelle vere:

Giada, cuore d'oro e piena d'amore, basta uno sguardo per capirci. Siamo Ragione e Istinto, due facce della stessa medaglia, non c'è l'una senza l'altra. Ti ringrazio per la persona buona che sei, per l'affetto che mi dimostri ogni giorno, per i tuoi consigli spassionati, per la tua fragilità, ma soprattutto per la tua insostituibile amicizia che custodirò sempre con tanta gelosia e tanto amore.

Asia, la mia dolce "luna", la mia infermiera preferita. Ringrazio ogni giorno di averti conosciuta meglio, con la tua straordinaria simpatia, con il tuo cuore fragile come il cristallo, con la tua dolcezza che non mostri facilmente, con la tua grinta nell'affrontare la vita, con i tuoi pianti senza senso, con la tua follia, non sarebbe lo stesso senza di te. Sei speciale sai… Grazie per la forza che mi dai, grazie per essere qui per me.

Ersilia, la mia "Ami", compagna da una vita. Ti ringrazio perché per me sei sempre stata un punto fermo, un'amica su cui contare, un esempio da prendere. Ho sempre ammirato la tua devozione e passione in tutto quello che fai, sei in grado di riuscire in

tutto, sei una forza della natura. Ti auguro che tu possa esaudire tutti i tuoi sogni, e sono più che certa che ci riuscirai, ti meriti il meglio. Grazie per essermi vicina sempre e spero con tutto il cuore che sempre sarà così.

Chiara, la mia chiaretta, tanto piccola quanto grande. Piena di vita, piena di energia che riesci a trasmettermi ogni volta. Grazie per essere cosi come sei, per la scioltezza che hai nell'affrontare le cose, per la tua testardaggine, per la tua onestà, e per il tuo sorriso pieno d'amore. Si dice che nella botte piccola c'è il vino buono, bè, in questo caso è proprio così.

Ringrazio Riccardo, il mio fidanzato, il mio porto sicuro. Mi hai aiutato tanto in questo percorso, mi hai consigliata, confortata, motivata. Grazie per l'infinita pazienza che hai con me, grazie per la tua dolcezza, grazie per avermi scelta, grazie per il tuo costante amore che per me è tutto anche se non te lo dico mai. Sempre stato e sempre sarai.

Un ringraziamento va anche a me stessa, alla mia testa dura, alla mia freddezza, alla mia caparbietà, al mio cuore forte. Sono contenta e soddisfatta della donna che sono oggi.

Nella vita le cose importanti si contano sul palmo di una mano, per me siete voi amori miei.

Grazie perché senza non riuscirei, ma soprattutto non sarei.