



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA  
INDUSTRIALE

## PROGETTAZIONE DI PRODOTTO ASSISTITA DAL CALCOLATORE

*“CAx – Computer Aided Technologies”*

*Giuseppe Di Gironimo*

*Con il contributo di: Francesco Caputo, Antonio Lanzotti, Domenico Marzullo, Fabio Peluso.*

## 1. Introduzione

La corretta applicazione della dottrina del *Concurrent engineering* in ambito industriale (cfr. fig. 1) si è dimostrata essere elemento chiave per il successo del prodotto. Essa consente infatti la riduzione non solo dei costi di produzione, ma anche di quelli legati all'intero ciclo di vita del prodotto.

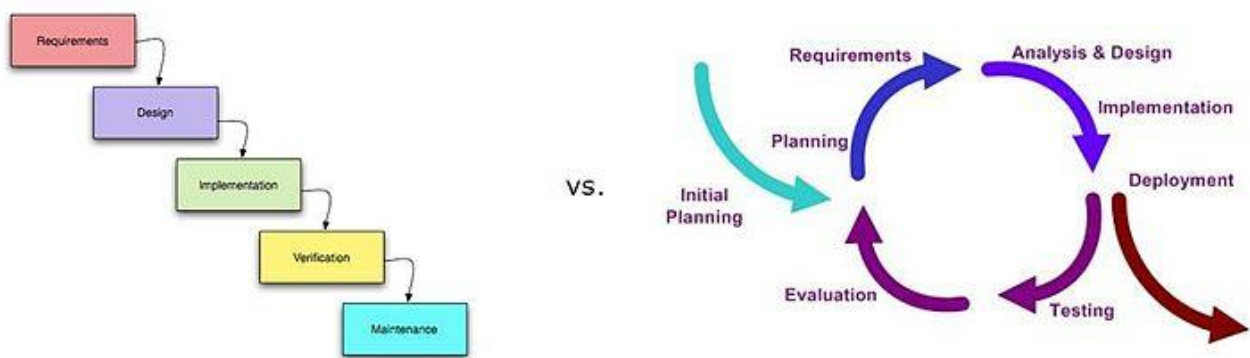


Figura 1. Tradizionale processo di progettazione "a cascata" vs progettazione iterativa

Contemporaneamente, l'impiego dei modellatori solidi CAD in sinergia con le recenti tecnologie di visualizzazione e di simulazione digitale, comunemente note come "tecnologie di Realtà Virtuale", hanno reso possibile la definizione del concetto di prototipo digitale di prodotto (*Digital Mock-up, DMU*), inteso in senso alternativo rispetto al tradizionale prototipo fisico.

Con riferimento alla citata dottrina, dunque, il DMU costituisce l'elemento centrale di condivisione delle informazioni fra tutte le competenze che concorrono allo sviluppo del prodotto, fin dalle prime fasi del processo di progettazione.

Il DMU è, infatti, lo strumento che consente di tener conto di tutti i contributi di competenza e di esperienza che provengono dai progettisti, dai responsabili delle scelte tecnologiche, dagli esperti di produzione, della manutenzione e dei fattori umani e da chi è deputato ai controlli di qualità e di convenienza economica.

Allo stato attuale delle tecnologie, un approccio di progettazione iterativa basato sul DMU può condurre al completo sviluppo del prodotto ed alla verifica dei suoi requisiti funzionali in ambiente esclusivamente digitale, limitando, fin quasi ad annullarla, la necessità di prototipi fisici (cfr. fig. 2).

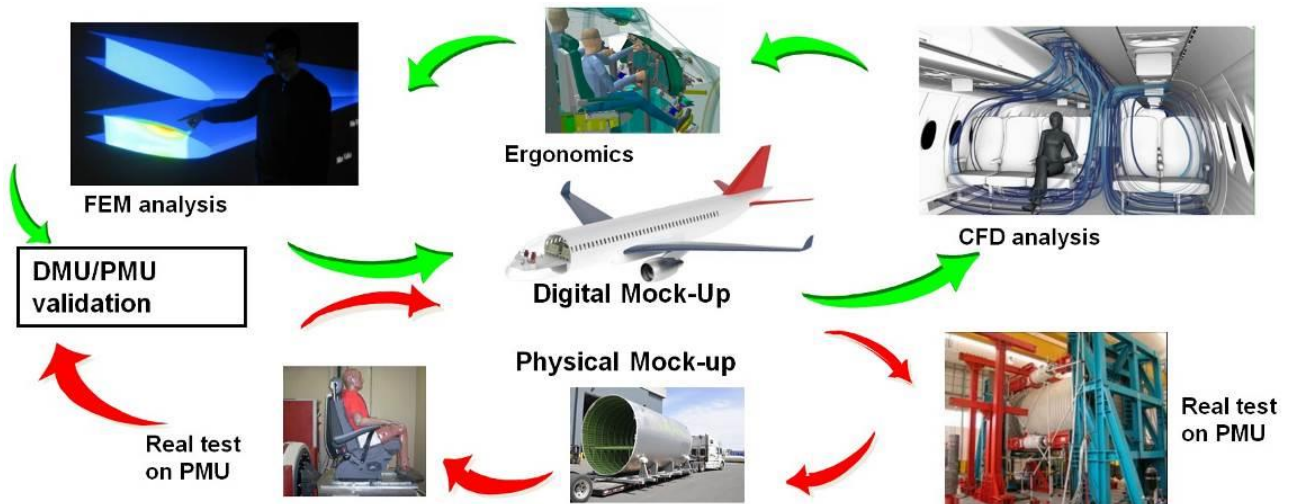


Figura 2. Concurrent engineering basato sul Digital Mock-Up nel settore Aeronautico.

Già in fase di concept design, infatti, le tecnologie di simulazione virtuale, consentono preventivamente di valutare e operare scelte fra diverse soluzioni progettuali possibili. Successivamente, durante la fase di sviluppo, le stesse possono servire per verifiche funzionali e analisi ergonomiche predittive, sia con riferimento al contesto d'uso finale del prodotto (cd. usabilità), sia per quanto attiene al suo processo di fabbricazione e/o di manutenzione (cd. *design for maintainability*, DFM).

Infine, il prototipo digitale può costituire elemento di riferimento per la progettazione e per la verifica delle attrezzature necessarie per il suo processo produttivo, per analisi di assemblaggio e di smontabilità, fino alla verifica dei requisiti di precisione dimensionale e geometrica.

Come detto quindi, il modello digitale del prodotto può diventare il riferimento centrale del processo di progettazione-produzione.

A tal fine, è necessaria un'opportuna struttura organizzativa di supporto al prodotto insieme allo sviluppo di adeguate metodologie di valutazione delle caratteristiche morfologiche e dei requisiti funzionali del futuro manufatto, da operare esclusivamente in ambiente simulato. Un analogo processo è stato già da tempo avviato e utilizzato con successo dall'industria automobilistica. Tale esperienza ha dimostrato, fra le altre cose, che l'utilizzo combinato di DMU e Concurrent Engineering ha permesso, da una parte, di ridurre i costi di produzione e, dall'altra, di dimezzare i tempi di sviluppo del prodotto.

Per l'industria aeronautica, dove la natura stessa dei manufatti, le tecnologie impiegate, la modalità di produzione per commessa e le dimensioni quantitative dei lotti sono completamente differenti da quelle del comparto automobilistico, occorre predisporre strumenti e metodologie operative del tutto particolari e, per taluni aspetti, completamente originali. Non per questo i benefici che ne possono scaturire per



l'industria aeronautica o energetica appaiono inferiori. Essi, invece, possono essere ancora più consistenti, poiché possono riguardare peculiari caratteristiche dei suoi manufatti, innanzi tutto il loro pregio intrinseco, i materiali e le tecnologie impiegate, ma anche, per la ricorrente necessità di allocare nuove commesse sulle diverse strutture produttive, la rielaborazione dei cicli di lavorazione, la modifica e la riconfigurazione delle linee di produzione e degli attrezzi, l'esigenza di adeguare ed aggiornare rapidamente il personale con idonee attività di formazione.

Per ciascuno degli aspetti considerati, come si vedrà nel seguito, esiste la possibilità di impiegare sistematicamente le tecniche di simulazione virtuale come base per assumere le decisioni in modo che esse siano state, già prima di attuarle, verificate, sperimentate e valutate sulla base di strumenti e metodologie condivise.

Una specifica considerazione, a questo proposito, deve esser fatta. La simulazione virtuale, con la possibilità di mettere a confronto gli esperti con una qualsiasi ipotesi di soluzione progettuale e di interagire con essa, per molti aspetti come se il manufatto fosse già fisicamente costruito, consente a tutti quelli che costituiscono il gruppo di lavoro di formulare ed esprimere valutazioni attendibili su tutti gli aspetti e le implicazioni dell'intero programma in esame. In questo modo è ragionevole prevedere che si riduca di molto la possibilità che, a produzione avviata, si manifestino errori o anche soluzioni alternative più vantaggiose. La possibilità della completa visualizzazione tridimensionale del manufatto in scala reale, la valutazione competitiva, perché partecipata e condivisa, di ogni requisito funzionale del prodotto e dell'ambiente in cui il processo di fabbricazione si svolge, comportano un ulteriore vantaggio aggiuntivo: quello di procurare una migliore e più approfondita conoscenza del progetto, non solo per quanto riguarda le implicazioni di ciascun aspetto specialistico, ma anche per quelle, di carattere complessivo, che spesso determinano effetti incrociati ed interazioni in generale assai difficili da prevedere.

Per rispondere a tali esigenze, in questa sede si propone la identificazione a scopo educativo di una metodologia strutturata di progettazione basata sul DMU del prodotto/processo.

A tale scopo, la trattazione parte da alcune brevi considerazioni introduttive che riguardano l'evoluzione della grafica supportata dal calcolatore elettronico: fu questa la prima tecnologia, poi se ne aggiunsero altre, a essa collegate, che si sono sviluppate, in poco meno di sessant'anni, insieme ai progressi dell'elettronica e dell'informatica, a tutto vantaggio delle attività di progettazione. I risultati e i cambiamenti che si sono avuti sono paragonabili solo a quelli che si ebbero, agli albori del XIX secolo, con l'invenzione, da parte di Gaspard Monge, della geometria descrittiva e, quindi, del metodo delle proiezioni ortogonali. Allora, con *l'arte di descrivere gli oggetti*, fu possibile rappresentare, in modo preciso, univoco e fedele la morfologia degli oggetti costruiti. La nascita del disegno tecnico costituì il radicale cambiamento



della progettazione che, con il suo sviluppo, accompagnò e favorì la rivoluzione industriale. Le odierne elaborazioni grafiche mediante calcolatore costituiscono anch'esse la base di una nuova e ancor più ampia rivoluzione che si caratterizza per l'integrazione sinergica e propizia di altre tecnologie e altre metodologie che ordinano, razionalizzano e gestiscono l'intera mole di attività e di dati che accompagnano l'intero processo di vita dei prodotti complessi realizzati dall'industria del terzo millennio. I più attuali, consistenti e completi degli strumenti informatici a supporto delle attività di progettazione sono stati dapprima il PDM, acronimo che sta per gestione dei dati di prodotto, *Product Data Management*, e quindi il PLM, acronimo che sta per *Product Lifecycle Management*, traducibile in italiano in Gestione del prodotto per l'intero ciclo di vita.

**Nascita e sviluppo del CAD.** Era l'anno 1963 quando Ivan Sutherland, presentò la sua tesi di dottorato di ricerca in ingegneria elettrica al *Massachusetts Institute of Technology* [M.I.T.] di Boston. Il giovane ricercatore venuto dal Nebraska non poteva allora, benché minimamente, sospettare di aver posto le basi per una rivoluzione destinata a trasformare radicalmente, in pochi decenni, il modo di progettare in tutti i settori dell'ingegneria. La tesi, che aveva per titolo "*Sketchpad: a man machine Graphical Communication System*", descriveva per la prima volta la possibilità che l'utente di un calcolatore elettronico, impiegando una penna luminosa, potesse disegnare su uno schermo bidimensionale in modalità interattiva (Figura 2).

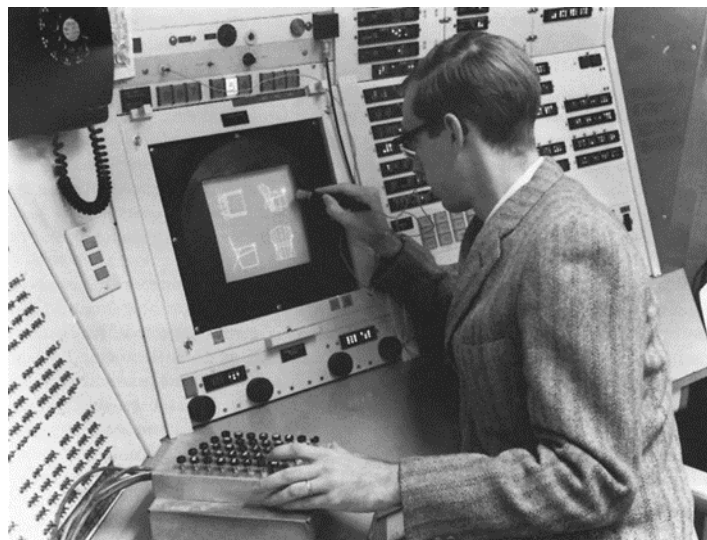


Figura 2. Sketchpad, Ivan Sutherland, M.I.T. 1963.

Lo *Sketchpad*, in sostanza, svolgeva le funzioni di un tecnigrafo elettronico e lo stesso Sutherland non immaginava quali importanti sviluppi avrebbe avuto in seguito la sua geniale invenzione. I concreti e determinanti vantaggi delle nuove metodologie di progettazione, infatti, si sarebbero manifestati solo quando le capacità di calcolo degli elaboratori elettronici sarebbero state sufficienti per gestire non solo le



elaborazioni grafiche, ma anche tutte le informazioni riguardanti le caratteristiche tecniche e funzionali dei prodotti e le informazioni relative al loro processo di progettazione. Nel 1988 l'intuizione di ciò che stava per accadere era già stata espressa, anche se in forma ancor vaga, da studiosi delle metodologie di progettazione: *non staremo a divulgarci sulla immensa problematica delle macchine pensanti; diremo solo che esse, per quanto possano oggi sembrare evolute, sono in realtà a uno stadio ancora infantile; perciò è da attendersi un processo di rinnovamento continuo e sempre più rapido, che coinvolgerà settori sempre più ampi dell'intelligenza (questa sì, vera) umana: esperti di produzione, ingegneri, informatici, logici.*

Nei trent'anni da allora trascorsi, il progresso della grafica assistita da calcolatore sono stati continui e decisivi, tanto che l'acronimo CAD, che dapprima significava *Computer Aided Drafting*, venne poi inteso come *Computer Aided Design*. Lo strumento inizialmente concepito per facilitare le elaborazioni grafiche diveniva così fulcro e supporto a servizio della progettazione. Infatti, al semplice cambiamento d'interpretazione dell'acronimo corrispose un radicale miglioramento di funzionalità e d'impieghi; ciò che all'inizio appariva soltanto uno strumento utile per facilitare e migliorare il lavoro dei disegnatori, divenne tecnologia irrinunciabile che consentiva ai progettisti di affrontare le difficoltà del loro lavoro con prospettive sempre più ampie e, ciò che più conta, anche con la possibilità di sviluppare e attuare metodologie innovative, agevolando o integrando tutti i processi gestionali e produttivi che alla progettazione sono connessi. Il primo passo decisivo fu il passaggio dalle due dimensioni del piano alla tridimensionalità nella rappresentazione degli oggetti: dapprima mediante primitive monodimensionali, rette e curve, quindi con le superfici di contorno dell'oggetto e, infine, con la modellazione solida. Il modello tridimensionale dell'artefatto, riconosciuto come modello digitale del prodotto (*Digital Mock-up*, DMU), sostituì in molti casi il prototipo fisico e ciò costituì un inimmaginabile vantaggio poiché contribuì a ridurre drasticamente i tempi di progettazione, consentendo, in più, risultati di molto migliori, poiché era ormai possibile operare modifiche e miglioramenti, e reiterare le necessarie verifiche, senza aver costruito nulla di materiale. La disponibilità del DMU rese possibile la sperimentazione in simulazione di buona parte dei requisiti funzionali di ciò che doveva essere prodotto. Rientrò nella normalità del ciclo di progettazione la simulazione virtuale di prove di resistenza meccanica ai carichi di progetto e agli urti, di compatibilità delle parti nella fase di primo montaggio e negli interventi di manutenzione, di verifiche estetiche, di caratteristiche fluidodinamiche, di requisiti ergonomici e normativi del prodotto e altro ancora.

***Il Modello digitale del prodotto (DMU) e i nuovi metodi di progettazione.*** La fruizione condivisa del DMU (opportunamente controllata secondo i livelli gerarchici di chi lo impiegava) rese possibile, sin dalle prime fasi del progetto, la collaborazione, diretta e continua, con i progettisti anche delle indispensabili





competenze e degli apporti, di chi il prodotto lo aveva preliminarmente valutato per quanto attiene alle aspettative e alle possibilità di mercato, di chi aveva la responsabilità di fabbricarlo e di chi aveva il compito di distribuirlo e assicurare la dovuta assistenza ai clienti durante la sua vita utile. Le nuove opportunità offerte dal CAD resero in tal modo possibili l'ingegneria simultanea (*Simultaneous Engineering*) e l'ingegneria concorrente (*Concurrent Engineering*). L'integrazione e l'apporto sinergico di tante competenze diverse produssero come risultato non solo la riduzione dei tempi e dei costi di progettazione, ma anche il miglioramento dei prodotti sotto il profilo delle prestazioni, dell'ergonomia, dell'usabilità e della sicurezza attiva e passiva. Dapprima ne beneficiarono l'industria automobilistica e quella aeronautica; seguirono poi anche quelle dei veicoli ferroviari, delle navi, degli elettrodomestici, dell'energia. La diffusione delle nuove tecnologie informatiche di progettazione diede maggiori possibilità di collaborazione anche ai sub-fornitori e agli utenti finali poiché la pratica del co-design, con l'impiego condiviso e interattivo del modello digitale, era facilitata e consentiva l'ulteriore apporto, scambio e condivisione di conoscenze, competenze ed esperienze sia dei primi, sia dei secondi: anche per questo, quindi, il CAD contribuiva in misura rilevante, al miglioramento del prodotto finale.

L'impiego della modellazione solida mediante sistemi CAD 3D, con la potenzialità del DMU, favorì lo sviluppo di altre tecnologie che a essa si affiancarono, quali la Prototipazione Rapida, (*Rapid Prototyping*, RP) (oggi divenuta fabbricazione rapida (*Rapid Manufacturing*, RM), l'Ingegneria Inversa (*Reverse Engineering*, RE), fondata sull'acquisizione morfologica, in formato digitale, di artefatti di ogni tipo mediante tecniche a contatto e senza contatto, e le metodologie di calcolo agli elementi finiti per la soluzione di problemi di analisi delle tensioni, di fluidodinamica, di elettromagnetismo e di acustica.

**L'olismo nei sistemi complessi.** Con il supporto delle tecnologie innovative prima ricordate, la progettazione divenne attività ancor più complessa, ma guadagnò di molto in termini di qualità e di affidabilità totale dei prodotti, di riduzione dei tempi e dei costi. La concomitante disponibilità di tante risorse, quando si realizza l'intento di integrarle sinergicamente, pur se richiede l'impegno di organizzare nuovi modelli decisionali, genera un incontestabile vantaggio e presenta l'opportunità di concepire nuove forme di gestione. L'insieme delle risorse a disposizione costituisce un vero e proprio sistema complesso di tipo olistico: esso, cioè, è in grado di raggiungere un valore complessivo di utilità, in termini economici si potrebbe parlare di ofelimità, ben maggiore di quello che potrebbe essere raggiunto se le parti che lo compongono fossero impiegate e valutate separatamente. Dalle realtà che sono state descritte nasce una consapevolezza e una volontà nuova: quella di fare del sistema complesso, destinato a gestire le attività di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA  
INDUSTRIALE

progettazione e di fabbricazione, il fulcro di un modello di gestione globale che valorizzi oltre a quelli già detti, anche i valori di conoscenza, di esperienza e di fiducia che sono patrimonio dell'impresa.





## 2. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT E PRODUCT DATA MANAGEMENT

### 2.1. ORIGINE E SVILUPPO DEI SISTEMI PDM

Nel 1982 l'azienda americana *Computervision*, a quel tempo leader nella produzione di sistemi informatici CAD di ausilio alla progettazione, fornì all'OCN, Olivetti Controllo Numerico, di Marcanise (CE) un sistema Designer V costituito da un'unità centrale di calcolo, da un'unità di memoria su nastro magnetico, da un'unità a disco capace di 300 Mb (all'epoca si trattava di una capacità assai rilevante) e da quattro stazioni di lavoro grafiche-interattive con relativa tastiera e tavolette di digitalizzazione e da un digitalizzatore grafico elettrostatico (plotter); in più vi era una quinta stazione interattiva addizionale priva di unità video. Si trattava, in realtà di uno dei primi esempi di sistema di progettazione interattiva e condivisa tra più utenze che avevano la possibilità di scambiare tra loro informazioni grafiche e non grafiche. Proprio questa capacità, unica all'epoca, consentiva a cinque progettisti dell'area meccanica e dell'aerea elettrica di integrare il proprio lavoro condividendo lo stato di avanzamento del progetto. Al tempo stesso si sviluppavano le prime applicazioni per poter realizzare l'assemblaggio automatico di elementi meccanici di cui erano già elaborati e disponibili i singoli disegni costruttivi. Negli stessi anni, un analogo sistema *Computervision Designer V*, dedicato alla progettazione aeronautica, era in uso presso l'Aeritalia (divenuta poi Alenia e quindi Leonardo) di Pomigliano d'Arco, in provincia di Napoli.

In pochi anni la diffusione dei sistemi CAD, e il continuo miglioramento delle loro prestazioni, consentirono di trasferire su supporto informatico gli archivi cartacei che fino allora avevano costituito l'indispensabile e prezioso patrimonio di conoscenze ed esperienze delle imprese meccaniche, aeronautiche, dei mezzi di trasporto in generale e di altre ancora. Per questo fu necessario adottare nuovi e più funzionali sistemi di classificazione e codifica, appositamente concepiti per sfruttare in pieno le possibilità dei mezzi informatizzati di progettazione e atti a riconoscere e riutilizzare, quando fosse necessario, tutti gli elementi componenti che costituivano ogni prodotto e la dettagliata descrizione tecnica delle modificazioni che esso aveva subito nel tempo. Questi primi cambiamenti servirono anche a rafforzare la pratica dell'ingegneria simultanea, perché resero possibile la condivisione e l'utilizzo degli archivi di progettazione ad altre funzioni aziendali, come ad esempio, il servizio di fornitura delle parti di ricambio, a facilitare ai progettisti il recupero di disegni e di cicli di lavorazione di numerose parti che componevano la distinta base dei prodotti e a riorganizzare i criteri di produzione riconfigurando gli impianti per ottimizzare le produzioni secondo il criterio del raggruppamento delle tecnologie (*Group Technology*). Furono questi i primi passi che, nella seconda metà degli anni '80 del secolo scorso, spinsero le case produttrici di sistemi CAD a



sviluppare nuovi software denominati Sistemi per la Gestione dei Dati di Prodotto (*Product Data Manager*) appositamente concepiti per operare in modalità di condivisione, che furono impiegati per l'archiviazione e il recupero dei disegni CAD. Questi software, in realtà, costituiscono i primi strumenti di ciò che, di lì a poco, sarebbe divenuto il PDM. Product Data Management che, appunto, deriva da Product Data Manager. Il sistema di progettazione CAD DESIGNER V, concepito dalla Computervision per favorire lo scambio di elaborazioni grafiche tra progettisti e fra essi la condivisione delle modifiche che potevano comportare conseguenze su più elementi o funzionalità del progetto, aveva ispirato la interconnessione tra cinque postazioni di lavoro. Queste, in un primo tempo destinate a essere collocate in un unico ambiente di lavoro, potevano, però, anche operare a distanza tra loro, rendendo così possibile ogni collegamento tra le diverse strutture fisiche dell'azienda, e, quindi, anche tra gli apporti di competenze che esse potevano fornire al progetto. Anche se questi primi sistemi PDM erano costituiti da un numero esiguo di terminali collegati tra loro e il loro costo era elevato, era stata ormai realizzata la prima concreta possibilità di operare in modo integrato, collaborativo e simultaneo tra diverse competenze e gruppi di lavoro anche a sé operanti a distanza tra loro. L'incalzante progresso dei sistemi informatici e dei software destinati alla progettazione rese in breve possibile alle case fornitrici di lavorare senza sosta per rendere possibile che i loro sistemi tenessero conto anche dei suggerimenti e delle richieste dei loro clienti industriali, convinti, ormai, che le risorse già disponibili fossero solo la prima manifestazione di una vera e propria rivoluzione capace di potenziare la progettazione per migliorare le caratteristiche qualitative della progettazione e abbreviarne di molto i tempi. Le principali industrie automobilistiche mondiali, nel breve spazio di un decennio, ridussero il tempo che intercorre tra la delibera a produrre un nuovo modello e la sua immissione sul mercato (*Time to Market, TTM*) all'incirca da sei a tre anni.

Nell'ultimo quinquennio del secolo scorso il PDM, nato come programma per la gestione delle modifiche degli elaborati grafici di progettazione, di fatto, era già concepito come basilare e indispensabile piattaforma necessaria per la gestione di tutte le informazioni e dati occorrenti per la ideazione, ingegnerizzazione e validazione di prodotti industriali complessi.

Alle grandi industrie automobilistiche e aeronautiche si aggiunsero ben presto anche imprese di medie dimensioni: l'impiego di sistemi PDM. Infatti, ebbe presto un consistente ampliamento nel numero delle utenze a cui seguì anche un ulteriore miglioramento delle prestazioni e la semplificazione d'uso.

Volendone dare una definizione, si potrebbe affermare che un sistema per la gestione dei dati di prodotto o PDM è l'insieme delle risorse Hardware e Software utilizzato per il trattamento automatico della documentazione di prodotto. Esso è finalizzato alla organizzazione, pianificazione e al controllo, nel tempo,



di tutte le informazioni relative alle attività sviluppate dall'azienda allo scopo di progettare, costruire e gestire un prodotto.

La principale caratteristica del PDM, come già è stato detto, consiste nel rendere aperta e disponibile ogni forma di conoscenza sulle attività di progettazione in modo che tutte le competenze che coinvolte in questo processo abbiano la facoltà di intervenire opportunamente nel segno della condivisione e della tempestività con cui esse possono fornire il proprio contributo in tutte le fasi che vanno dall'ideazione del prodotto alla sua immissione sul mercato. Ad esprimere la centralità della condivisione e della circolazione delle informazioni che esso è in grado di fornire, il PDM può anche essere definito come *la soluzione innovativa per gestire la composizione, la revisione, la pubblicazione in formato cartaceo e digitale interattivo su Web e/o Intranet della documentazione di un prodotto complesso*.

Nella sua realtà attuativa un sistema PDM è un insieme di risorse connesse tra loro, che formano la cornice operativa di una serie di applicazioni (*application framework*) la cui principale funzione è quella di costituire l'accesso razionale e condiviso ai dati e alla documentazione di prodotto in formato digitale, sia per la parte grafica che per quella non grafica. È appena il caso di anticipare che sia le modalità di archiviazione, sia i criteri di ricerca, sia la rapidità di reperimento dei documenti necessari, così come le risorse elettroniche e informatiche impiegate, possono invece variare a seconda del tipo di PDM adottato, della tipologia dei prodotti e dell'impresa industriale che si avvale del sistema.

Il PDM è certamente uno strumento utile e indispensabile per sviluppare in pieno la moderna gestione industriale di prodotto, nella piena attuazione di ciò che gli anglosassoni intendono per management, cioè l'insieme dei metodi e delle conoscenze finalizzate a gestire al meglio le attività dell'impresa, al fine di raggiungere obiettivi di profitto attraverso l'efficienza e la qualità non solo dei prodotti, ma anche dell'intero processo che conduce alla loro immissione sul mercato. Il PDM, in breve, è lo strumento più adatto per gestire nel modo migliore i dati di prodotto, al fine di raggiungere i traguardi che l'azienda si prefigge. Come accade per tutti gli strumenti, però, il suo utilizzo ottimale richiede la competenza e il discernimento di chi lo impiega.



## **2.2. Generalità sui sistemi PLM**

Il PLM è fondamentalmente un sistema di strutturazione e gestione dei dati, idoneo alla progettazione e allo sviluppo di prodotti e di processi durante il loro completo ciclo di vita. Esso è un ambiente per gestire oggetti, concepito e organizzato in forma di struttura-dati di tipo relazionale e interconnesso. Gli oggetti considerati nel PLM possono essere singole parti fisiche e insiemi assemblati, ma anche documenti riguardanti il servizio di assistenza ai clienti, o parti di ricambio, o modifiche nel processo produttivo, o altro ancora. I dati che sono registrati contengono conoscenze che possono essere utilizzate durante l'intero ciclo di vita degli oggetti stessi, come essenziale supporto nella realizzazione e nell'impiego del prodotto per il suo intero ciclo di vita. Ciascun oggetto è contraddistinto da denominazione, codice della parte fisica o del documento, categoria di appartenenza, eventuali revisioni, unità di misura, lista dei materiali, costo, massa e altro ancora. Gli oggetti sono facilmente collegabili fra loro al fine di costituire una struttura di prodotto. Gli oggetti, come le loro caratteristiche relazionali, sono anche in parte flessibili, semplici da creare, da gestire e utilizzare; è altrettanto semplice operare su di essi revisioni o rimuoverli.

I sistemi PLM, quindi, gestiscono oggetti diversi fra loro per tipologia e per proprietà caratteristiche: parti, documenti, e loro eventuali modifiche. Una distinta base di prodotto è costituita da una raccolta ordinata e coerente di oggetti che sono tutti presenti nel database. Costituiscono documenti di riferimento liste di oggetti e raccolte di dati, anche molto diverse tra loro, come, ad esempio, la documentazione tecnica relativa a un prodotto, oppure l'elenco di tutti i prodotti venduti da un singolo responsabile della struttura in cui presta servizio. Cambi di formato possono essere operati direttamente, all'atto del rilascio, per una parte oggetto di revisione, con l'aggiornamento automatico della distinta base cui la parte appartiene. Allo stesso modo è prevista la possibilità di aggiornare, automaticamente, altre categorie di documenti.

Poiché un sistema PLM, in sostanza, è un database complesso, ma capace di versatilità d'azione, esso può anche gestire parti elaborate mediante CAD e operare il trasferimento dei dati. In ambiente PLM un file CAD, o l'insieme di essi, sono trattati come attributi che definiscono la parte o un complessivo. Informazioni complementari al CAD, ma di altra natura, come ad esempio una specifica tecnica, possono essere allegate in formato Word al file CAD stesso. Invece di una specifica potrebbe trattarsi di un prospetto elaborato dall'ufficio vendite in formato PDF, come anche potrebbe trattarsi della lettera di un utente, contenente un reclamo o una proposta di modifica per la parte o l'insieme considerato. Un qualsiasi file, infatti, può essere allegato a un oggetto per cambiare, quando ciò è necessario, il formato o le modalità con cui esso è stato registrato. I documenti in formato di file testuale possono essere riportati in un file-indice e aperti automaticamente ogni volta che il software impiegato (come, ad esempio, Windows)



riconosce come uno dei file contenuti nell'indice. Nel PLM i file allegati a un oggetto possono appartenere a diversi ambiti e possono essere utilizzati per particolari esigenze. I file di revisione, ad esempio, contengono istruzioni per indicare direttamente come costruire, assemblare e vendere un prodotto. I file allegati all'articolo ne descrivono e ne documentano la storia. Collegamenti esterni, consentiti con opportune limitazioni, o del tutto accessibili dalla rete, possono essere impiegati come opportune risorse che il PLM mette a disposizione a supporto del marketing, al servizio vendite, o direttamente ai potenziali clienti.

Nel database PLM, la sua specifica struttura, concepita per favorire i collegamenti e aggiornare con tempestività i dati, ne rende agevole il recupero e il reimpiego e al tempo stesso riduce di molto o elimina del tutto la pratica di copiare i file o, peggio ancora, quelli di stamparli.

Tra i sistemi PDM e quelli PLM, inoltre, esistono anche notevoli differenze di operatività. Mentre non esiste un modo semplice di gestire la complessa interrelazione che sussiste tra le parti non direttamente accessibili di un sistema PDM, pur se esso è ben concepito, questa funzionalità, invece, è resa molto più agevole da un sistema PLM. Peraltro, è possibile riscontrare che esistono diverse possibilità d'impiego che sono possibili in entrambi i sistemi, tanto che, in numerose imprese, essi sono entrambi utilizzati, l'uno a supporto dell'altro.

Con accettabile semplificazione si può ritenere che mentre il PDM si caratterizza come utile supporto all'impiego di conoscenze progettuali e costruttive, con l'impiego prevalente dei software CAD-3D, il PLM, invece, consente maggiori approfondimenti e vantaggiosa possibilità d'impiego nella definizione e nella gestione delle conoscenze legate alla struttura dei prodotti e delle relazioni che sussistono tra le loro entità. Un punto d'incontro e di coesistenza tra i sistemi PDM e PLM è però possibile: in collegamento tra loro, il sistema PDM può alimentare il PLM, fornendo i risultati di elaborazioni CAX<sup>1</sup>,

In relazione all'impiego è da sottolineare che vi sono attività per le quali il PLM è particolarmente vantaggioso tanto più se si tratta della fase di sviluppo di prodotti innovativi nei settori degli impianti industriali, della meccanica, dell'elettronica, oltre che per la prevalente incidenza della progettazione e validazione dei prodotti, anche per la elaborazione di manuali, con prevalente impiego della comunicazione grafica per l'installazione, per l'uso, per la manutenzione; ma anche di documentazione tecnica che ne attesti idoneità d'impiego, oppure per la produzione di documentazione per l'acquisizione di brevetti a tutela della proprietà intellettuale. In tutti questi casi è opportuno avvalersi di un ambiente di

---

<sup>1</sup> L'acronimo CAX, Computer Aided Everything o Computer Aided Technologies comprende, oltre al CAD, i software applicativi di resistenza strutturale (CAE), di fluidodinamica (CAF), di gestione delle tolleranze dimensionali e geometriche (CAT), di simulazione di prove meccaniche (CATE), di acustica (CAA), di trasmissione del calore, di simulazione ergonomica, e altri ancora. Un elenco più completo ma non esaustivo può essere consultato su [https://it.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_technologies](https://it.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_technologies)



progettazione che può consistere in un CAD-3D, parametrico-variazionale, meccanico, che comprenda la gestione delle parti e degli assiemi, oppure sistemi per la progettazione e la simulazione di circuiti elettronici con annessa possibilità di sviluppo del software.

Il PLM, invece, è più adatto a supportare e gestire tutte le competenze necessarie, nell'intero percorso che va dalla progettazione, alla produzione ed all'impiego, non solo per ciò che riguarda gli aspetti tecnici, ma anche per quelli organizzativi, economici e di controllo dei prodotti complessi, con il raggiungimento degli obiettivi di qualità. La competitività di questo strumento, come già è stato detto nell'introduzione, consiste nel suo olismo: come sistema complesso, costituito da numerose risorse integrate tra loro, esso trae da esse un beneficio che è maggiore di quello che le stesse risorse sarebbero in grado di apportare se fossero impiegate separatamente. L'impiego di un sistema PLM, inoltre, è particolarmente idoneo anche quando siano previste attività di sperimentazione e validazione fisica o virtuale del prodotto, includendo anche il marketing e i servizi di assistenza e manutenzione. Il PLM, cioè, consente di organizzare e gestire la completa configurazione di un prodotto complesso, di realizzarlo, di validarlo e, infine, di deliberarlo.

Il PLM, infatti, ha il suo punto di forza proprio nella sua potenzialità di gestire la massa di informazioni che sono relative ai prodotti, ma anche l'insieme di conoscenze, le esperienze e le tradizioni accumulate nel tempo dall'impresa. Un patrimonio, questo, che pur se è difficile da quantificare, comprende certamente valori assai rilevanti: prestigio del marchio, fiducia e fidelizzazione dei clienti, capacità di attrarre collaborazioni professionali di alto livello e preferenziale riferimento per giovani laureati in cerca di lavoro.

Le informazioni che riguardano il prodotto possono essere di due diverse tipologie: la prima comprende la definizione degli obiettivi e l'acquisizione di tutte le risorse che occorrono per il processo di progettazione e di sviluppo, in tutto il suo percorso di attuazione, dall'inizio fino alla conclusione; la seconda tipologia di informazioni, invece, riguarda tutte le informazioni necessarie non solo per acquisire e/o fabbricare le parti e gestirle nel corso della realizzazione del prodotto, ma anche per organizzare e pianificare i servizi che per esso occorrono dopo la vendita, durante l'intero suo ciclo di vita, fino alla sua dismissione e riciclo.

In quest'ottica si può definire il PLM come lo strumento che contiene, controlla e gestisce tutti i dati occorrenti per l'intero processo di sviluppo prodotto. Per quanto riguarda le principali caratteristiche che sono proprie dei sistemi PLM occorre notare che esse sono finalizzate a rendere facilmente accessibile e ancor più facilmente gestibile la massa dei dati che sono propri del processo di sviluppo di prodotti complessi<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> La complessità di un prodotto industriale può essere intesa sia come numerosità delle parti che lo compongono, sia come coesistenza, in esso, di più tecnologie, anche interdipendenti e collegate tra loro, (ad esempio meccanica, informatica, elettronica, pneumatica etc.) impiegate perché necessarie al raggiungimento dei requisiti funzionali di progettazione.



Un database, in questi casi, dev'essere sempre di rilevanti capacità, poiché contiene informazioni di vario genere per ciascuno della grande quantità di oggetti che vi sono memorizzati. Una delle migliori caratteristiche del PLM è che dati già configurati e predisposti per essere disponibili all'uso, sono facilmente e rapidamente accessibili per il loro impiego. In più, i dati utili relativi a un singolo e specifico prodotto sono separati invece che incorporati in formato proprietario per specifiche attività di progettazione. Nei sistemi PLM i dati che si riferiscono alle fasi che precedono e seguono la progettazione, infatti, sono separati e distinguibili con estrema chiarezza da quelli che sono etichettati come dati di produzione per ciclo di vita. Per cambiare una numerazione o un codice degli oggetti è sempre necessario eseguire una specifica procedura. Il criterio di suddivisione delle parti in categorie è concepito in modo che ogni dato sia comunque facilmente identificabile.

Nell'intero processo di sviluppo prodotto per l'intero ciclo di vita è necessario stabilire una serie di procedure relative, ad esempio, alle operazioni d'assemblaggio, alle modalità di effettuazione delle prove sui materiali e sui prodotti, alla effettuazione dei collaudi, di vendita, d'installazione e d'uso: per documenti di questo tipo occorre, ovviamente, la collaborazione e la condivisione di tutte le necessarie competenze di cui l'impresa dispone.

Nella corretta gestione di un sistema PLM, per evidenti ragioni di riservatezza e di sicurezza aziendale, è necessario prevedere opportune limitazioni negli accessi e nell'operatività del database. Infatti, oltre che ai dati relativi a progettazione e produzione, per i quali è necessaria anche un'accurata protezione perché non vengano apportate modifiche non autorizzate, anche l'accesso ai dati relativi alla vendita, alla manutenzione e agli acquisti, e non solo a queste funzioni, possono causare danni, svantaggi o addirittura perdite di competitività dell'impresa sui mercati.





### 2.3. Funzionalità dei sistemi PLM

I sistemi PLM sono nati per gestire la configurazione del prodotto; essi devono consentire l'ottimizzazione dei processi aziendali necessari alla gestione e all'evoluzione di un prodotto nell'arco del suo intero ciclo di vita.

Un sistema PLM deve supportare tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, interessando l'intera catena del valore, dallo studio di fattibilità all'assistenza in esercizio. Obiettivi di un sistema PLM sono dunque:

- creare e mantenere aggiornato un "archivio elettronico" relativo a tutte le informazioni sui prodotti (lungo tutto il loro ciclo di vita);
- utilizzare al meglio le competenze e le conoscenze aziendali per realizzare nuovi prodotti, accelerando l'innovazione;
- recuperare e riutilizzare il "know how", evitando di rieseguire attività già svolte o non necessarie, come riprogettare o ritestare. Da questo punto di vista i sistemi PLM sono alla base dei sistemi KBE – *Knowledge-Based Engineering*;
- facilitare la collaborazione riducendo il tempo di realizzazione dei prodotti;
- condividere le informazioni sui prodotti per migliorare l'efficienza della produzione e dell'approvvigionamento (supply chain).

La caratteristica di un sistema PLM è la capacità di sostenere l'intero processo di sviluppo del prodotto fornendo, in un'unica piattaforma integrata, un insieme di soluzioni strettamente correlate tra loro. In definitiva, il PLM è lo strumento che ottimizza i processi di creazione e di gestione delle informazioni complesse che caratterizzano lo sviluppo dei prodotti.

Le funzionalità essenziali di un sistema PLM sono:

- **La gestione dei documenti:** le informazioni costituiscono la storia e il sapere delle organizzazioni. È fondamentale che le soluzioni PLM offrano funzionalità di gestione dei documenti in grado di tenere traccia delle modifiche ai dati e garantire la qualità e la reperibilità delle informazioni di prodotto in tempo reale da qualsiasi punto dell'azienda.
- **La visualizzazione incorporata:** le funzionalità di visualizzazione fornite dalle soluzioni PLM consentono di misurare, sezionare e confrontare con precisione i modelli 3D, assemblare parti e analizzare strutture di prodotto complesse in tempo reale e in aree geografiche tra loro distanti, abilitando quello che viene definito *collaborative design*.
- **Il workflow:** i sistemi di workflow governano l'automazione dei processi stabilendo, dato uno specifico processo, da chi verrà eseguita un'attività e quando. Queste funzionalità di workflow



incrementano la produttività e riducono i tempi incorporando procedure di lavoro standardizzate, che costituiscono un prerequisito per l'automazione dei processi.

▪ **La collaborazione distribuita:** i clienti della maggior parte dei produttori sono distribuiti in tutto il mondo, così come i dipendenti, i fornitori, gli appaltatori e i partner. Di conseguenza, il software PLM deve includere strumenti di sviluppo prodotto collaborativo in grado di ridurre il time-to-market e i costi di sviluppo prodotto.

▪ **La gestione di dati multi-CAD:** molte aziende utilizzano più strumenti CAD (2D e 3D) per supportare diversi processi di progettazione o per rispettare i requisiti dei clienti. È opportuno utilizzare un'infrastruttura di database unificata per l'accesso e il caricamento di dati CAD eterogenei e la relativa progettazione, in modo da poter gestire con precisione le relazioni dipendenti tra parti e assiemi nell'intera evoluzione di una distinta base integrata. Questa infrastruttura facilita la sincronizzazione delle continue modifiche di progettazione tra i diversi sistemi CAD eterogenei. Nella forma più efficiente, la gestione di dati multi-CAD consente ai progettisti di identificare e utilizzare i componenti di uno strumento CAD per la progettazione contestuale in un altro strumento CAD. Ciò garantisce singole definizioni di prodotto di qualità elevata, uno sviluppo collaborativo più veloce e una riduzione degli errori di gestione dei dati.

▪ **La gestione completa delle distinte base:** I prodotti attuali includono una quantità senza precedenti di avanzata tecnologia elettronica e software. Il problema per i produttori è individuare un modo per garantire visibilità nelle diverse discipline e ottenere così un'unica struttura di prodotto, ovvero una distinta base completa. La possibilità di sviluppare simultaneamente la distinta base di progettazione, di produzione e di manutenzione e di sincronizzare le attività consente l'analisi continua del prodotto in termini di conformità, prestazioni, rischi e costi fin dalle prime fasi dello sviluppo e nell'intero ciclo di vita del prodotto. Ne conseguono una qualità superiore dei prodotti e una riduzione dei costi di prodotti e servizi.

▪ **La gestione delle modifiche e delle configurazioni:** Durante lo sviluppo del prodotto sono inevitabili le modifiche ed è necessario gestirle opportunamente. L'obiettivo della gestione delle modifiche e delle configurazioni è fornire un processo ben definito tramite il quale le modifiche vengono condivise tra i team di progettazione, produzione, assistenza e supporto e gli aggiornamenti nella configurazione di un prodotto vengono gestiti e tracciati in modo sistematico nel tempo. Questo processo costituisce una funzionalità centrale di una soluzione PLM.



## 2.4. Architettura dei sistemi PLM

L'**architettura di un sistema PLM** deve essere progettata in modo da garantire il funzionamento congiunto di tutte le sue funzionalità, in un unico sistema che supporti il flusso trasparente dei dati e dei processi in ogni fase del ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione al ritiro.

Per l'architettura di sistema per la gestione del ciclo di vita del prodotto esistono tre elementi essenziali.

- **Tecnologia Internet basata su standard:** un'infrastruttura PLM interamente basata su standard di settore, garantisce alle parti coinvolte, interne ed esterne, un accesso trasparente e con alte prestazioni al prodotto digitale completo. Ciò consente la collaborazione distribuita in supporto dello sviluppo prodotto globale.
- **Unica architettura integrale:** le soluzioni PLM devono essere progettate in modo che tutte le funzionalità interagiscano all'interno di un'architettura modulare e scalabile (ovvero espandibile senza rendere necessario il cambiamento dei sistemi che la costituiscono). La scalabilità dovrebbe includere la comprensione dei prodotti (complessità del prodotto, approccio alla progettazione, numero di componenti) e del processo di progettazione (numero di utenti progettisti e non progettisti, livello desiderato di collaborazione e di coinvolgimento di partner). Il sistema dovrebbe essere interamente associativo in modo che le modifiche apportate a una forma geometrica, aggiorni tutti i file e i documenti correlati. Questo tipo di architettura integrale garantisce che tutte le parti coinvolte, interne ed esterne, nell'azienda distribuita in diverse località, condividano un ambiente utente basato su Web comune e abbiano accesso alle informazioni più aggiornate e precise nell'intero sviluppo prodotto.
- **Interoperabilità con le soluzioni aziendali:** utilizzando protocolli standard e interoperabili, i sistemi PLM devono supportare la condivisione trasparente dei processi e dei dati di prodotto, con strumenti di creazione, sistemi aziendali e applicazioni ereditate (*legacy applications*). Il sistema deve supportare tutti gli standard del settore richiesti per la conversione dei dati di prodotto tra sistemi diversi, consentire la visualizzazione basata su Web e la sincronizzazione dei modelli (in modo da garantire l'utilizzo del modello più recente) e disporre di strumenti per l'ingegneria simultanea tramite Internet. Deve inoltre essere integrato e poter comunicare con i sistemi principali (CAD, CAM, CAE, ERP, SCM, CRM e così via).

I sistemi PLM attualmente in commercio presentano in genere alcune componenti comuni: essi, di norma, comprendono determinate caratteristiche, funzionalità e tecnologie identiche dal punto di vista funzionale, indipendentemente dal tipo di sistema considerato.



I due principali elementi componenti di un sistema PLM sono il *Data Server* ed i *PLM Clients*. Il data server è un sistema computerizzato che controlla il file server e il sistema RDMS (*Relational Database Management System*). Esso può consistere in più sistemi collocati in luoghi diversi o essere una combinazione di file server. I *PLM Clients* sono le singole workstation che accedono alle informazioni tramite il data server e consentono lo svolgimento delle attività di gestione delle informazioni e dei metadati (in pratica di tutte le funzioni del PLM) tramite una varietà di interfacce utente.

Il *file server* è una sorta di banca-dati comune, centralizzata, contenente dati informativi immagazzinati in file. Le informazioni in esso contenute consistono in documenti elaborati in diversi stadi del ciclo di vita dei prodotti, ad esempio disegni CAD precedentemente approvati e pronti per il rilascio e la distribuzione, oppure altre tipologie di informazioni come file di Microsoft Word.

Il *sistema RDMS (Relational Database Management System)* ha il compito di mantenere la struttura dell'intero sistema, gestendo le relazioni tra le singole parti dei dati di prodotto, la struttura delle informazioni e le regole e i principi necessari per la corretta archiviazione delle informazioni. Tale sistema tiene traccia dei dati di prodotto provenienti da diversi sistemi e applicazioni operanti nell'ambiente PLM e gestisce i cosiddetti metadati (informazioni sulle informazioni), che descrivono i dati di prodotto specificando di che tipologia d'informazione si tratta, dove è collocata, in quale database, da chi è stata memorizzata, dove e quando è possibile accedervi.

## **2.5. Configurazione di un sistema PLM**

La gestione del prodotto di una azienda per mezzo del PLM prevede necessariamente la definizione degli oggetti che si intende gestire, dei loro cicli di vita, dei processi aziendali e dei flussi, degli attori e delle regole da rispettare.

### **Il Contesto: Prodotti e Librerie**

Per prodotto si intende l'insieme delle informazioni che definisce ciò che viene creato e venduto dall'Azienda XXX. Per una azienda che produce automobili, esempi di prodotto sono il modello "Berlina A", il modello "Berlina B", il modello "SUV" etc. Per un'azienda che produce veicoli ferroviari, esempi di prodotto sono "Treno regionale A", "Metropolitana leggera STD", "Alta Velocità XYZ" etc. Un prodotto fornisce il contesto in cui lavorare e collaborare, creando e memorizzando tutte le informazioni che definiscono un prodotto in modo univoco. Il PLM regola e gestisce tali informazioni alle quali possono accedere solo coloro che dispongono di ruoli definiti.



Per libreria, invece, si intende il luogo in cui è possibile archiviare ed accedere a informazioni aziendali e altri elementi che non sono correlati a un unico prodotto. Esempio classico è quello delle parti standard dell'azienda o dei componenti normalizzati.

## Il Dominio di competenza

Un altro elemento da considerare nell'ambito dell'organizzazione delle competenze previste nel sistema PLM è il concetto di **"Dominio di competenza"**.

I Domini di competenza sono riferiti al contesto del Prodotto oppure sono ad essi trasversali. In genere, sono definiti tre domini di competenze legati al prodotto

- Progettazione
- Industrializzazione
- Service

e due domini trasversali, non strettamente riferiti ad un contesto di Prodotto

- Qualità
- Normalizzazione

L'accesso ad un dominio da parte di un utente è consentito **in base al ruolo assegnato all'utente** ed ai privilegi e regole di accesso agli oggetti del dominio a cui sono assoggettati i ruoli. Premesso ciò, un utente può effettuare sugli oggetti del dominio selezionato tutte le azioni previste dallo stato corrente dell'oggetto all'interno del suo ciclo di vita.

## I principali oggetti: Documenti, Parti, Documenti CAD

Per oggetto si intende un'unità di informazioni che può essere archiviata e gestita nel sistema PLM. Nelle sezioni riportate di seguito verrà introdotto sia lo scopo dei diversi tipi di oggetti che il contenuto gestito.

I principali oggetti gestiti dal PLM sono, in genere:

- I **documenti**: un documento è un contenitore di un file Microsoft Word, Excel, PowerPoint, pdf, Autocad o di un altro tipo di file. Un documento può essere indipendente oppure associato a una parte, a un prodotto finale o ad altri documenti.
- Le **parti**: una parte è un assieme o un componente fisico utilizzato per comporre la struttura di un prodotto.
- I **documenti CAD**: un documento CAD è un elemento contenente un modello CAD. In altri termini, è un file o un gruppo di file contenente informazioni CAD nel formato dell'applicazione CAD 3D di



riferimento. In altre parole, è un contenitore di file CAD che può essere correlato alle parti per descrivere meglio la parte associata. Questo documento può anche essere correlato ad altri documenti CAD per rappresentare le dipendenze create e gestite dal sistema CAD su cui è stato creato il documento.

### Legami tra oggetti

Per definire una Struttura di Prodotto all'interno del PLM è necessario collegare gli oggetti in esso gestiti: le parti, i documenti e i documenti CAD. Il collegamento tra questi oggetti viene realizzato con i "legami". I legami consentono di relazionare oggetti diversi del PLM e sono fondamentali nella gestione della configurazione del prodotto. I legami principali sono quelli di tipo padre-figlio che relazionano parti/documenti, parti/documenti\_CAD e parti/parti.

### Storia degli oggetti: check-out e check-in

La gestione del prodotto ha insito il concetto di "tracciamento delle modifiche" degli oggetti gestiti. L'utente deve essere in grado di valutare l'evoluzione degli oggetti e l'entità delle modifiche da essi subite, siano essi parti o documenti.

Per tracciare le modifiche si usa l'"indice di modifica", che traccia cronologicamente le successive emissioni degli oggetti del PLM (documenti, parti...). L'indice di modifica è in genere formato da due componenti: la **versione** e l'**iterazione**.

Le **iterazioni** corrispondono a variazioni minori dell'oggetto occorse tra una versione e la successiva; registrano le modifiche inserite nel sistema ad ogni salvataggio, quando gli oggetti sono in fase di lavorazione.

Le **versioni** tracciano i cambi maggiori, scattano sempre a partire da un oggetto rilasciato e sono regolate dai processi formali di approvazione e di gestione delle modifiche specifici dell'oggetto.

La modifica di un oggetto avviene utilizzando le funzioni di **Check-Out e Check-In** che evitano i conflitti per accesso simultaneo di più utenti ad un oggetto in fase di modifica. Un oggetto in check-out è considerato in modifica e questo stato è segnalato da una icona.

È necessario sottoporre a Check-Out una parte o un documento per poterlo modificare e durante la fase di Check-Out l'elemento originale viene bloccato per evitare che altri utenti possano modificarlo; agli altri utenti che desiderano visualizzare un oggetto in check-out viene segnalato che è in corso una modifica. Il completamento di una fase di modifica su un elemento avviene con un Check-In e questa operazione genera una nuova iterazione dell'elemento.

## 2.6. Ciclo di vita degli oggetti PLM

Nel sistema PLM per ciclo di vita si intende l'insieme delle fasi che attraversa un oggetto durante tutta la sua vita (Figura 3). Il PLM mette a disposizione un insieme di funzioni dedicate alla gestione degli stati del ciclo di vita in cui si trova un oggetto, coerentemente con le regole di controllo di accesso definite per uno specifico insieme di ruoli.

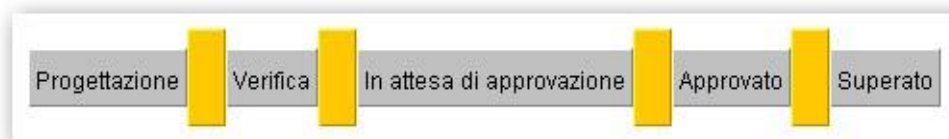


Figura 3. Esempio di ciclo di vita

Gli oggetti principali utilizzati nel sistema PLM sono sempre associati ad uno specifico ciclo di vita. Questi, in genere, sono stati automatizzati utilizzando dei processi (*workflow*) dedicati all'avanzamento degli oggetti da uno stato del ciclo di vita ad un altro.

## 2.7. I Workflow

Con il termine *workflow* si intende l'automatizzazione – parziale o completa - di un processo nel corso della quale, documenti o parti, informazioni e compiti passano da un partecipante all'altro, all'interno del gruppo di lavoro, conformemente ad un insieme di regole predefinite.

## 2.8 La distinta di prodotto

Una distinta base definisce un prodotto così com'è progettato, come è costruito o come è mantenuto, rappresentando diverse viste della struttura del prodotto. Di conseguenza, in funzione del metodo utilizzato per definirla o dello scopo per cui è stata pensata, sono diversi i tipi di distinte base disponibili e quindi l'insieme di attributi associati alle singole voci; la scelta è da effettuare di volta in volta in funzione dall'ambito a cui è destinata:

- **Distinta base di progettazione - Engineering Bill of Material (EBOM)** - contiene le informazioni così come definite dai progettisti. Contiene, di solito, assiemmi logici, funzionali e/o fittizi.
- **Distinta base di produzione - Manufacturing Bill of Material (MBOM)** - strutturata secondo l'ordine di costruzione o di montaggio, contiene le informazioni utili alla produzione.
- **Distinta base di manutenzione** che riporta gli interventi di manutenzione da effettuare o effettuati nel corso della vita del componente.



Soffermandosi sulla EBOM, è possibile definire la **Product Breakdown Structure (PBS)** come la rappresentazione dell'albero delle relazioni tra le entità fisiche che costituiscono il prodotto, complete del loro corredo documentale. Per un'azienda che produce treni, il prodotto, nella sua accezione più completa, è il Rotabile Ferroviario ed il concetto di PBS si estende includendo anche entità fittizie (generalmente di alto livello nell'albero) utili a scomporre il progetto del prodotto in assiemi caratteristici che, messi opportunamente in relazione, rappresentano due organizzazioni complementari del Rotabile:

- Sistemistica: visione dei singoli sistemi costituenti il rotabile;
- Di assemblaggio: visione dei singoli sistemi assiemati (secondo la logica di progettazione) per costituire il rotabile.

## 2.9 La gestione delle modifiche

La modifica degli oggetti gestiti nel PLM segue delle regole specifiche ed utilizza degli oggetti definiti ad-hoc nel sistema. La gestione delle modifiche (o **Change Management**) si basa su processi specifici guidati da specifici oggetti. Nel dettaglio (Figura 4):

- la **Segnalazione del Problema** avviene attraverso la creazione di uno o più oggetti di tipo "**Report di Problema**" (RP);
- segue una **Proposta di Modifica** derivante da una o più segnalazioni di problema e che porta alla creazione di un oggetto di tipo PMP;
- l'**attuazione della modifica** avviene attraverso una **Scheda Controllo Configurazione di Progetto (CFG)** a cui sono legati direttamente degli oggetti di tipo **PI, Piano di Implementazione**.

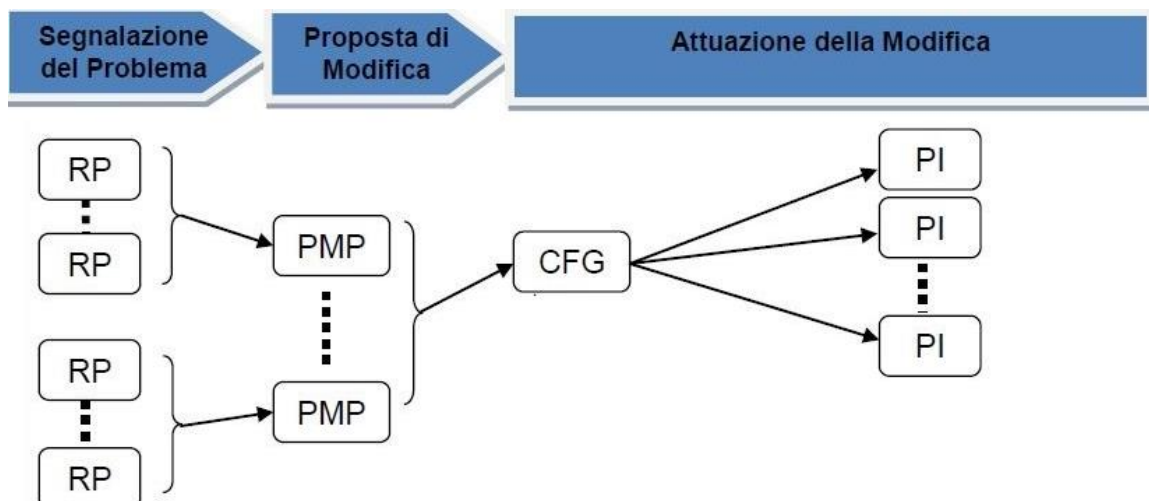


Figura 4. Processo di gestione delle modifiche



## 2.10. Accesso al sistema PLM e creazione di una parte

L'accesso al sistema PLM avviene collegandosi con un browser web ad un link definito dall'organizzazione aziendale. Il Login si effettua inserendo la propria utenza e password; di solito quelle utilizzate per la connessione alla rete aziendale. Una volta acceduti, la pagina principale mostra le informazioni specifiche dell'utente come assegnazioni di task ed elementi sottoposti a Check-Out.

### Creazione di una parte

Il processo di creazione di una parte si compone delle seguenti quattro fasi (figura 5):



Figura 5. Processo di creazione di una nuova parte

La creazione della parte è l'operazione che consente di inserire nel database del sistema una nuova parte, corredata di tutte le necessarie informazioni anagrafiche (attributi).

Per avviare la creazione di una parte, l'utente abilitato deve innanzitutto posizionarsi nel giusto contesto.

Una volta scelto il tipo di parte, si apre l'anagrafica in cui vanno inserite le informazioni/gli attributi dell'oggetto che si sta creando. Il primo attributo, denominato in genere "Numero" o "Part Number", corrisponde al codice che identificherà in modo univoco l'oggetto all'interno del sistema. Tale attributo contiene, come valore default, una stringa generata in automatico dal sistema. Quest'ultimo è infatti predisposto per la generazione automatica della codifica della parte secondo le regole aziendali.

Di seguito un esempio generale di codifica per un oggetto di tipo **documento**, con spiegazione del significato delle varie stringhe componenti il codice.



## DA01P00154752784B

**DA01**: disegno di assieme

**P**: dominio di competenza «Progettazione»

**00154752784**: numero progressivo

**B**: formato foglio A4

Le parti sono caratterizzate da un insieme di attributi, alcuni dei quali comuni a tutte le parti ed altri invece specifici per ciascuna parte.

Nella tabella in basso sono riportati i classici attributi comuni a tutte le tipologie di parti presenti in un sistema PLM. Alcuni sono attributi di sistema, non disponibili nelle maschere di creazione perché gestiti in modo automatico dal PLM (esempio: autore, versione, iterazione...). È da notare che il nome ed il numero sono invarianti nei confronti delle modifiche della iterazione e della versione.

Attributo	Descrizione	Formato	Impostazione
<b>Numero</b>	Il codice dell'oggetto	Stringa	
<b>Nome</b>	Il titolo della parte.	Stringa	
<b>Origine/Tipo materiale</b>	Corrisponde al Tipo Approvvigionamento.	Stringa	Lista Inside {make, buy}.
<b>Unità di misura</b>	Unità di misura della parte.	Stringa	Lista
<b>Plant</b>	Divisione aziendale owner dell'oggetto	Stringa	Lista
<b>Versione</b>	La revisione dell'oggetto.	Numerico	Gestito dal sistema
<b>Iterazione</b>	L'indice che identifica la singola modifica implementata con checkout/checkin.	Numerico	Gestito dal sistema
<b>Stato</b>	Indica se correntemente sottoposto a modifica.	Stringa	Gestito dal sistema
<b>Autore</b>	Creatore della parte.		Gestito dal sistema
<b>Data di creazione</b>	Data di creazione	Data	Gestito dal sistema
<b>Autore aggiornamento</b>	Autore dell'ultima iterazione (checkin)		Gestito dal sistema
<b>Ultimo aggiornamento</b>	Data dell'ultimo checkin.	Data	Gestito dal sistema
<b>Ciclo di vita</b>	Il nome del ciclo di vita che governa la parte.	Stringa	Gestito dal sistema
<b>Stato del ciclo di vita</b>	Lo stato corrente assunto dalla parte sul ciclo di vita.	Stringa	Gestito dal sistema
<b>Data effettività</b>	Data che sancisce la validità della parte secondo il processo di progettazione.	Data	Gestito dal sistema

### 3. Approccio Systems Engineering – Il modello a V

Le più moderne piattaforme PLM, come la piattaforma Dassault Systemes, abilitano approcci alla progettazione innovativi per la gestione e lo sviluppo di un progetto complesso (*Project Management*) quali il *System Engineering* e l'*RFLP* (Requirement, Function, Logical Design, and Physical model). In figura 6 è presentato il cosiddetto “modello a V” tipico di un approccio system engineering.

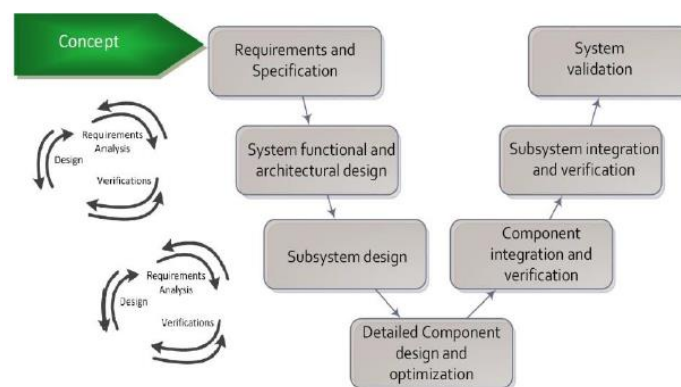


Figura 6. Approccio System Engineering – modello a V.

Una declinazione di questo modello nell'approccio RFLP integrato nella Dassault Systemes è presentato nella figura 7.

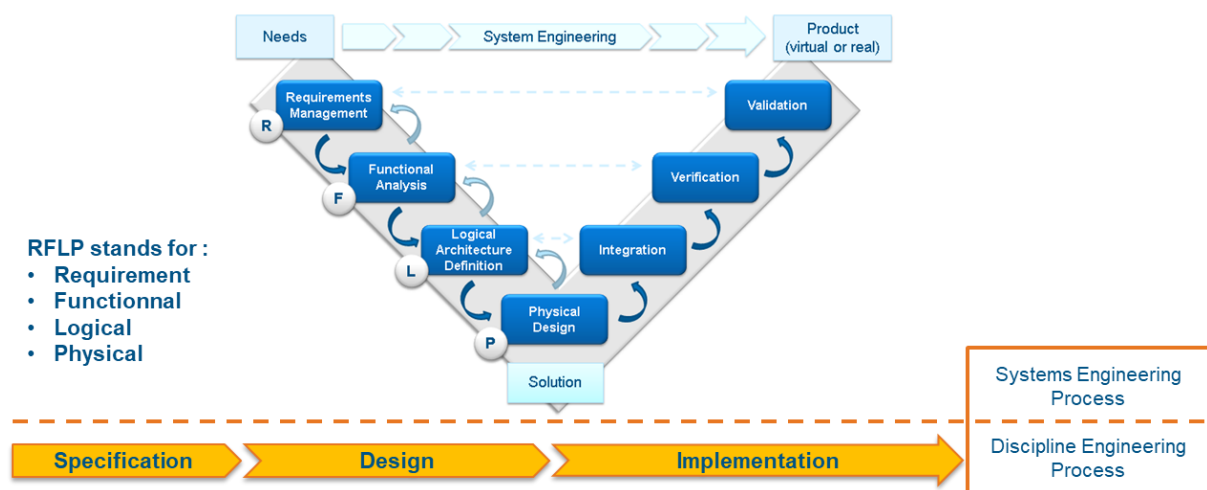


Figura 7. RFLP: un approccio System Engineering iterativo basato sul modello a V.

Lo sviluppo prodotto secondo l'approccio system engineering, basato sul modello a V, va dalla identificazione delle esigenze dell'utente (*Needs*) allo sviluppo del prodotto finale o del suo gemello virtuale (*Digital Twin*).

A partire dalla identificazione delle esigenze dell'utente, si procede alla fase di **identificazione e formalizzazione strutturata del problema**.



Dopo aver descritto il problema, può essere identificata una prima lista di **Requisiti**, ovvero di condizioni che devono essere soddisfatte dal sistema, intendendo per Sistema un “insieme di componenti, collegati in modo strutturato per formare un *tutto*, ciò evidenziando le proprietà del tutto, piuttosto che le proprietà dei singoli componenti”. Tra questi requisiti viene creata una lista di priorità, vengono identificati i limiti e determinati i vincoli (in termini di costo, spazio, peso, ambiente, etc.). Uno studio di letteratura e dei brevetti è necessario in modo da verificare se il problema sia già stato affrontato nel passato e se siano già state formulate soluzioni a problemi simili.

Il successivo passo consiste nella identificazione delle funzionalità del sistema (**Functional**), ovvero cosa il sistema, nel suo insieme, deve essere capace di fare. Lo sviluppo di questa fase può portare alla identificazione di ulteriori requisiti che non erano stati individuati nella precedente fase. Il processo, in questi step, è per sua natura iterativo.

A questo punto è possibile passare alla costruzione dell'architettura del sistema, individuando i singoli componenti che costituiscono il sistema, non ancora dal punto di vista geometrico, quanto piuttosto dal punto di vista delle logiche di funzionamento, delle prestazioni, delle attrezzature necessarie ad azionarli e delle interfacce. Questa fase viene chiamata **Logical Architecture Definition**.

Si è quindi pronti per la fase di **Physical Design**. Essa ha inizio con la concezione, dal punto di vista delle caratteristiche morfologiche e prestazionali, di una o più soluzioni dei singoli componenti del sistema e, quindi, del sistema stesso, al fine del soddisfacimento dei requisiti, delle funzionalità e delle logiche precedentemente identificate. Questa fase riconosciuta con il nome di *Concept Design* è la più affascinante, inventiva, creativa dello sviluppo del prodotto. Ma è anche la più pericolosa. Un errore in questa fase comporta un sicuro insuccesso del prodotto. Lo sviluppo delle idee preliminari avviene durante sessioni di *Brainstorming* (letteralmente “tempesta di cervelli”) in cui gruppi di 4-8 persone forniscono le loro idee, senza valutarle troppo, in modo da incoraggiare anche le idee più fantasiose. Le idee vengono espresse mediante schizzi bidimensionali per poi passare ad una descrizione tridimensionale al calcolatore basata su curve e superfici di contorno che caratterizza i sistemi noti con l'acronimo **CAS (Computer Aided Styling)**. In questa fase metodi quali il TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving – *Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch*) e il Kansei, ed opportuni strumenti software per la gestione dei requisiti consentono di migliorare la percentuale di successo. Le idee migliori vengono quindi selezionate e combinate in modo da sviluppare un singolo concetto al calcolatore che fornirà l'input per la successiva fase di ingegnerizzazione. Il modello CAS diviene un modello solido **CAD 3D parametrico**. Vengono applicati i principi ingegneristici e scientifici per valutare il progetto e, a tal fine, vengono utilizzati un insieme di applicativi che vanno sotto l'acronimo **CAE (Computer Aided Engineering)**. Analisi che fanno uso del Metodo degli Elementi Finiti (**FEM**) strutturali



statiche, dinamiche, termiche, analisi termofluidodinamiche (**CFD**), analisi di compatibilità al montaggio, analisi cinematiche e dinamiche su corpi rigidi o deformabili, analisi ergonomiche e di manutenibilità, sono tutte tipiche di questa fase.

Sistemi di Realtà Virtuale (**VR**) consentono inoltre la verifica simultanea del soddisfacimento dei requisiti funzionali di progetto in sessioni condivise e cooperative di **Design Review**. Il percorso iterativo descritto dalle frecce verdi nella figura 2 consente la continua ottimizzazione dei dettagli del progetto al fine del miglioramento degli elementi di qualità. Domande quali: Come si integrerà la soluzione proposta con gli altri sistemi? Come saranno realizzate le parti? Che materiali saranno utilizzati? Cominciano a trovare risposta dai risultati delle simulazioni.

Quasi in parallelo alla fase di progettazione comincia ad essere concepito e sviluppato il processo di produzione. Si parte dalla pianificazione del processo sviluppata con sistemi **CAPP (Computer Aided Process Planning)**. Questi fanno uso di simulazioni ad eventi discreti (DES – *Discrete Event Simulations*) mediante le quali è possibile costruire con basso livello di dettaglio un layout di fabbrica e analizzare l'evoluzione di un modello virtuale del sistema reale sotto studio, considerando l'occorrenza degli eventi caratteristici del sistema stesso durante il tempo di simulazione (quali ad es. l'inizio di un'attività, l'arrivo di un materiale, ecc.). Il concatenarsi di tali eventi non avviene ad intervalli di tempo fissi, bensì ad intervalli non costanti nel tempo, funzione delle caratteristiche di un modello logico dei comportamenti del sistema, il quale, al variare degli eventi previsti, propone delle alternative che nascono dal riesame dei parametri del modello stesso. Il CAPP può essere impiegato con successo sia in fase di progettazione di un nuovo impianto, sia in fase d'analisi e di modifica di un impianto esistente. Le sue capacità di simulazione, la tecnologia object-oriented, l'apertura verso ambienti esterni per l'import/export di dati e l'ambiente grafico tridimensionale consentono di eseguire ogni analisi di tipo "*what if*" tipica dell'ingegneria di processo. In particolare, è immediato eseguire analisi di fattibilità nella realizzazione di nuovi impianti, analisi di produttività e di costo per impianti esistenti, ricerca dei colli di bottiglia e simulazioni di fermo impianto per guasti alle macchine, verifica dei piani di produzione e scenari JIT (Just In Time).

La simulazione nel DISCRETO (tempo variabile tra due eventi successivi) presenta le seguenti caratteristiche:

- È di tipo stocastico, e quindi ha bisogno di simulare molti cicli di produzione per raccogliere dati significativi;
- Salta dall'istante in cui si è verificato un evento a quello successivo con un intervallo di tempo non noto fra i due, e quindi è pilotata dagli eventi;
- Si occupa di simulazioni relative a tutto l'impianto produttivo, non ad una singola isola;



- Non può rilevare l'occorrere di collisioni geometriche fra gli elementi che formano l'impianto;
- In generale, richiede tempi di simulazione più lunghi delle simulazioni nel continuo.

La simulazione nel CONTINUO (piccoli intervalli di tempo costanti tra aggiornamenti successivi) presenta invece le seguenti caratteristiche:

- È di tipo deterministico, e quindi è sufficiente simulare un solo ciclo di produzione (RUN) per calcolare il tempo ciclo;
- Il tempo di simulazione viene incrementato ad intervalli costanti, ed è pertanto pilotata dal fluire del tempo;
- Si occupa di simulazioni relative ad una singola stazione di lavoro, non a tutto l'impianto produttivo;
- Rileva correttamente l'occorrere di collisioni fra gli elementi che formano la cella di lavoro;
- In generale, richiede tempi di simulazione più brevi delle simulazioni nel discreto.

Un modello DES è costituito da due tipi di oggetti fondamentali:

- gli elementi: questo tipo di oggetto è costituito dalle logiche, ovvero le regole che governano il comportamento dell'elemento stesso, dagli attributi, ovvero i dati ad esso associati, e dalla geometria 3D, ovvero la sua rappresentazione grafica;
- le parti: questo tipo di oggetto rappresenta le entità che vengono processate dagli elementi. Anche per le parti è possibile definire la geometria 3D e gli attributi, mentre non esiste il concetto di logica.

A questi due tipi di oggetti se ne associa un terzo: le connessioni. Esse rappresentano un legame logico tra due elementi e forniscono il meccanismo necessario per muovere le parti da un elemento ad un altro. Una volta che gli elementi di un modello sono connessi, il controllo del flusso delle parti è demandato alle logiche dei vari elementi.

Il sistema di simulazione CAPP mette a disposizione dell'utente un insieme di elementi base raggruppati nelle seguenti categorie:

- creazione/distruzione di parti: tali elementi sono rappresentati dai *source*, utilizzati per la creazione e l'immissione delle parti nel modello, e dai *sink*, utilizzati per la fuoriuscita delle parti dal modello;
- accumulo di parti: tali elementi sono rappresentati dai *buffer*;
- processamento di parti: tali elementi sono rappresentati dalle *machine*;





- sistemi di movimentazione di materiale: tali elementi sono rappresentati dai *conveyor*, sia di tipo standard sia di tipo PNF, dagli *Automatic Guided Vehicles (AGV)* e dai *labor*, utilizzati per modellare gli operai che muovono le parti o che eseguono delle attività;
- altri elementi: in questa categoria rientrano i *decision points*, utilizzati per modellizzare il comportamento di sensori lungo *conveyor* o percorsi guidati, e gli *accessory*, elementi privi di logica ma con una propria rappresentazione geometrica (usati ad es. per modellizzare un layout 2D).

Oltre agli elementi, il CAPP fornisce anche un insieme di processi, associati ai vari elementi ed utilizzati per definire che cosa avviene di una parte quando questa transita per quel dato elemento.

I processi standard previsti includono:

- *setup process*: definisce il processo di attrezzaggio della macchina tra un'operazione e quella successiva. È possibile definire sia i requisiti per l'esecuzione del processo (in termini di parti, *labor*, AGV, ecc.) sia i prodotti generati dal processo stesso;
- *load process*: definisce il processo di caricamento di ciascuna parte all'interno dell'elemento per il processamento;
- *unload process*: definisce il processo di scarico delle parti da un elemento dopo la lavorazione;
- *cycle process*: definisce il processo di lavorazione delle parti eseguito dalle macchine; il processo ciclo è definito mediante un insieme di requisiti, un tempo ciclo ed un insieme di parti prodotte;
- *repair process*: definisce il processo che determina il tempo richiesto per la riparazione di un elemento a seguito di un guasto.

L'ultimo oggetto fondamentale di un modello CAPP è rappresentato dalle logiche degli elementi, ovvero l'insieme di quelle attività decisionali che occorrono a specifici istanti di simulazione e che governano il comportamento del modello stesso.

Una volta costruito il modello è possibile passare all'allocazione degli operai in officina e la gestione dei turni e dei guasti degli impianti. Ai concetti già introdotti si affiancano quindi quelli legati alle necessità di operai per lo svolgimento delle operazioni che l'impianto effettua, unitamente allo schema di turnazione associata.

Una volta ottimizzato il layout di fabbrica, è possibile passare ad una prototipazione virtuale dettagliata, anche dal punto di vista grafico e cinematico, delle singole celle di lavoro e, quindi, dell'intera fabbrica validando in simulazione le tecnologie tipiche dell'industria 4.0.



**La Fabbrica virtuale** (*Virtual Factory*) è un termine generico che comprende un insieme di modelli digitali, metodi, simulazioni e visualizzazioni 3D e in realtà virtuale, che sono integrate in un sistema di gestione dei dati in tempo reale.

La virtual factory è un modello della fabbrica reale visualizzato in un ambiente virtuale. È esattamente la ricostruzione dell'ambiente reale con i macchinari, le infrastrutture, le persone che ci lavorano e i prodotti. Le nuove tecnologie come la realtà virtuale ed aumentata sono utilizzate per visualizzare la linea, ma anche per testare i tempi e le modalità di produzione.

La visualizzazione 3D dà effettivamente l'idea di vedere la linea di produzione. Inoltre, l'ingegnere che deve progettare o ridisegnare la linea può interagire direttamente con i macchinari: rigirarli, verificare la facilità di utilizzo e programmare le azioni per l'ottimizzazione della linea.

Gli obiettivi di una fabbrica virtuale sono diversi. È possibile elencare alcuni tra i principali:

- riorganizzazione della linea attraverso la simulazione del ciclo produttivo;
- training del lavoratore; l'operaio può avvicinarsi in modo più rilassato al nuovo macchinario senza lo stress prodotto dal pericolo dell'imperizia nell'uso. Imparare direttamente dall'uso della macchina ha un effetto maggiore rispetto alla lettura di un manuale o di un libro;
- durante la fase di design, il lavoro su un prototipo che sia virtuale significa sprecare meno tempo e meno soldi. È più facile buttare un prototipo venuto male e crearne uno nuovo.

Al fine di poter procedere correttamente per avere un modello di simulazione utile e funzionante è opportuno procedere con una serie di passi:

- *Definizione degli obiettivi e delle problematiche da esaminare:* un'attenta analisi del problema consente di circoscriverne l'esame riducendo il successivo tempo di analisi;
- *Stesura di un modello concettuale:* consiste nella comprensione e modellazione del sistema produttivo che si intende simulare; questa fase è particolarmente importante in quanto definirà il comportamento dei diversi flussi di materiale e di informazioni che attraverseranno il modello.
- *Validazione del modello concettuale:* si tratta di un confronto con la direzione dell'impresa e con gli operatori per assicurarsi della capacità del modello di offrire un'immagine consistente della realtà.
- *Analisi dei dati in ingresso:* la raccolta e l'analisi dei dati che diverranno la base per la definizione dei parametri di funzionamento del sistema (ad esempio: i diversi tempi di lavoro di una singola macchina).
- *Scrittura del modello in termini matematici.*
- *Calibrazione e valutazione.*



- *Definizione di un piano degli esperimenti*: una singola iterazione ("run") di simulazione non ha alcun significato, perché rappresenta solo una delle possibili evoluzioni del sistema. È quindi opportuno effettuare diversi "run" per poi analizzare i parametri in uscita. La lunghezza della singola iterazione e il numero delle iterazioni vengono determinate in questa fase.
- *Analisi dei dati in uscita*: dopo aver raccolto i dati relativi ai parametri, depurati da eventuali transitori è possibile creare degli intervalli di confidenza ovvero stimare il "range" di valori in cui i parametri che analizzano il problema proposto al primo passaggio possono oscillare.

Gli ambienti software capaci di simulare in modo corretto una virtual factory vanno sotto il nome di **CAPE (Computer Aided Process Engineering)**. Essi abilitano:

1. la simulazione di celle di lavoro robotizzate;
2. la validazione ergonomica delle stazioni non automatizzate ed ibride in cui il fattore umano e la sicurezza sono posti al centro della progettazione del processo di fabbricazione.

I sistemi *Computer Aided Robotics* sono utilizzati per progettare le celle robotizzate e per creare i programmi *OFFLINE* così da ridurre il tempo di start-up e di raggiungere un notevole grado di affidabilità di pianificazione. Essi integrano funzionalità per attività speciali quali la saldatura a punti, applicazioni laser, la verniciatura. Con questi strumenti è possibile simulare il comportamento di diversi robot nello stesso momento. I sistemi **CAM (Computer Aided Manufacturing)** consentono di progettare e simulare, a partire dal modello CAD del particolare da fabbricare, i percorsi utensile e di trasferire i programmi così generati alle macchine utensili.

I sistemi di simulazione ergonomica consentono di utilizzare modelli umani digitali (DHM) per verificare, in ambiente virtuale, le prestazioni dell'uomo, il comfort posturale ed il soddisfacimento di standard di sicurezza propri della medicina del lavoro (ad es. NIOSH), nella realizzazione di un determinato compito lavorativo.

Nella fase finale del processo di sviluppo prodotto, ancora una volta i sistemi di Realtà Virtuale consentono di realizzare un "ponte" tra gli esperti di progettazione e di ingegneria di produzione, dando loro la possibilità di effettuare in maniera integrata la validazione sia del prodotto, sia del processo.

Il ciclo di sviluppo prodotto su descritto è illustrato graficamente in figura 8.

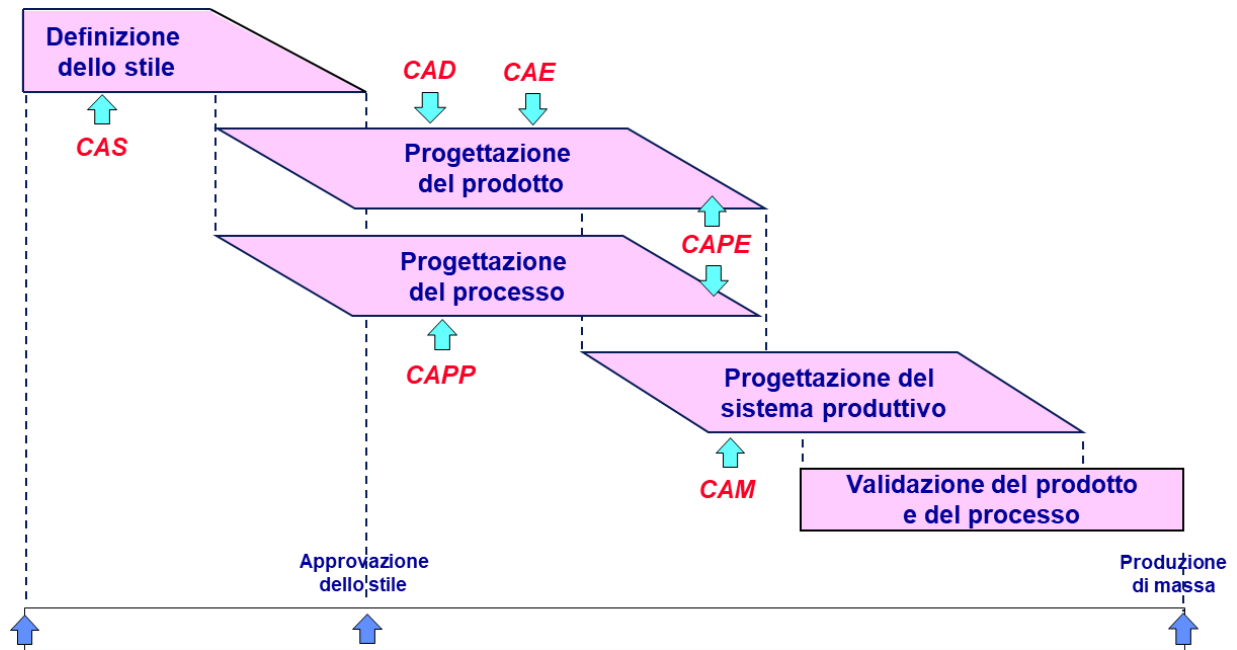


Figura 8. Ciclo di sviluppo prodotto