

# *L'Informatica Industriale*

## *L'informatica nel ciclo di vita del prodotto industriale*

Luca Nicotra\*

\*\* Ingegnere e giornalista pubblicitista. Membro onorario APAV e AFSU, Presidente dell' A.P.S. "Arte e Scienza", Direttore responsabile di «Arte-Scienza», «Bollettino dell' Accademia di Filosofia delle Scienze Umane», «Periodico di Matematica». Direttore editoriale di UniversItalia;  
[luca.nicotra1949@gmail.com](mailto:luca.nicotra1949@gmail.com).



DOI : 10.53159 /PdM(IV).v6n1.131

**Sunto:** *L'Informatica Industriale è quella parte dell'informatica che fornisce applicazioni software in grado di assistere l'uomo nelle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto industriale. L'Informatica Industriale si identifica pertanto con l'Ingegneria Industriale Assistita dal Computer. Nell'articolo viene presentata una panoramica dei contenuti di tali tecnologie, rievocandone lo sviluppo storico.*

**Parole Chiave:** CAD, CAE, CAM, CAPP, CAT, CAT&I, PDM, PLM

**Abstract:** *Industrial Informatics is that part of Informatics that provides software applications capable of assisting humans in the different phases of the life cycle of an industrial product. Industrial Informatics is therefore identified with Computer-Aided Industrial Engineering. The article presents an overview of the contents of these technologies, recalling their historical development.*

**Keywords:** CAD, CAE, CAM, CAPP, CAT, CAT&I, PDM, PLM

## 1 - Cos'è l' Informatica Industriale?

Con il termine Ingegneria Industriale Assistita dal Computer (IIAC) intendiamo riferirci, nella più completa generalità, a qualunque attività ingegneristica svolta oggi nell'industria manifatturiera e di processo con l'ausilio di programmi software e, quindi, dell'elaboratore elettronico.

Le tecnologie di cui l'IIAC si serve si possono distinguere in due gruppi:

1. progettazione e produzione;
2. gestionali di supporto alla progettazione e all'intero ciclo di vita del prodotto;

Le applicazioni SW del 1° gruppo hanno tutte l'obiettivo fondamentale di sostituire all'oggetto reale la sua replica virtuale tramite varie tecniche di digitalizzazione, ovvero tramite programmi software.

Le applicazioni SW del 2° gruppo, invece, hanno tutte l'obiettivo fondamentale di informatizzare o digitalizzare tutte le attività manuali di gestione del ciclo di vita di un prodotto industriale.

Per ciclo di vita di un prodotto industriale si intende l'insieme ordinato delle varie fasi che lo vedono nascere e svilupparsi a partire da un'idea, concretizzarsi nella sua produzione, essere immesso sul mercato, aggiornato in nuove versioni, usato e mantenuto e, nella fase terminale del ciclo, dismesso con totale o parziale possibilità di riciclo.

L'Informatica Industriale è quella parte dell'informatica che fornisce applicazioni software in grado di assistere l'uomo nelle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto industriale. L'In-

formatica Industriale si identifica pertanto con l' Ingegneria Industriale Assistita dal Computer.

## **2 - Gli inizi: da singole applicazioni a sistemi SW**

Le applicazioni SW per la progettazione e produzione (CAD, CAE, CAM, CAT) sono nate tutte intorno al 1960, anno magico non soltanto per il cosiddetto boom economico italiano ma più in generale per molti altri eventi di rinnovamento politico, sociale e tecnologico a livello mondiale.

Le origini delle applicazioni CAD, CAE, CAM sono collegate fra loro e identificabili in cinque eventi fondamentali a cavallo del 1960:

1. la realizzazione dell'interattività uomo-macchina da parte di IBM presso la General Motors, tramite una consolle DAC-1 e un elaboratore 7094;
2. la comparsa sul mercato dell'elaboratore PDP-1 della DEC, primo di una fortunata serie di elaboratori dedicati alle applicazioni CAD;
3. la nascita negli anni Cinquanta del secolo scorso del metodo degli elementi finiti, concepito per risolvere problematiche strutturali;
4. la dimostrazione nel 1963 da parte di Ivan Sutherland, nell'ambito del progetto Sketchpad al Massachusetts Institut of Technology (MIT), della possibilità di creare e manipolare immagini in tempo reale su un terminale video a raggi catodici;
5. nel 1956 al MIT iniziano gli studi per la creazione dell'APT (Automatic Programming Tool), linguaggio universale di programmazione delle macchine utensili a controllo numerico. L'APT viene usato per la prima volta nel 1959.

Nell'industria militare e in alcune università degli USA vengono sviluppate applicazioni software per risolvere particolari problemi di progettazione, produzione e ricerca, soprattutto in campo aeronautico. Si tratta di singoli programmi SW scollegati fra loro, non in grado di comunicare fra loro dati e risultati.



**Fig. 1 - Ivan Sutherland al MIT (1963).**

Successivamente, tali applicazioni si aggregano in modo da poter condividere dati e interfaccia utente costituendo sistemi SW che svolgono ciascuno un preciso compito (progettazione, analisi, produzione, validazione).

Nascono i primi sistemi del 1° gruppo di tecnologie dell'Informatica Industriale che assumono la denominazione dell'acronimo generico CAx, dove C sta per Computer, A per Aided ed x può avere uno di questi significati:

- se ad x assegnamo l'iniziale D di *Design* avremo CAD = *Computer Aided Design*, ovvero quell'insieme di applicazio-

ni SW che assistono il progettista nella fase progettuale di sintesi geometrica;

- se ad  $x$  assegnamo l'iniziale E di *Engineering* avremo CAE = *Computer Aided Engineering*, ovvero quelle applicazioni SW che hanno come obiettivo l'ottimizzazione del progetto attraverso modelli matematici di simulazione della realtà fisica;
- se ad  $x$  assegnamo l'iniziale M di *Manufacturing* avremo CAM = *Computer Aided Manufacturing*, ovvero quell'insieme di applicazioni SW che permettono di effettuare sul modello geometrico CAD la programmazione del percorso utensile per le lavorazioni alle macchine utensili a controllo numerico (CNC), consentendo in tal modo di ottenere il pezzo finito;
- se ad  $x$  assegnamo le iniziali P di *Process Planning* avremo CAPP (*Computer Aided Process Planning*) ovvero la pianificazione delle operazioni di produzione, di supporto quindi al CAM.
- se ad  $x$  assegnamo l'iniziale T di *Testing* o di *Tolerancing* avremo CAT, (inteso da alcuni come *Computer Aided Testing* e da altri come *Computer Aided Tolerancing*) ovvero quell'insieme di applicazioni SW che valutano la rispondenza del pezzo realizzato fisicamente rispetto a quanto previsto dal progetto nel modello CAD. Nel caso in cui tale conformità venga limitata all'aspetto dimensionale e di forma, è oggi più utilizzato il termine *Computer Aided Tolerancing and Inspection* (CAT&I).

Da uno stesso acronimo possono derivare altri che indicano settori più specifici ai quali è indirizzata la corrispondente tecnologia informatica.

Se le applicazioni CAD sono rivolte più specificamente alla progettazione meccanica, l'acronimo diventa MCAD (*Mechanical Computer Aided Design*); mentre per un CAD creato appositamente per la progettazione elettrica ed elettronica l'acronimo si specializza in ECAD (*Electrical Computer Aided Design*). Nell'ambito poi della progettazione meccanica, esistono CAD orientati alla progettazione di yacht (YCAD) e così via.

Per la progettazione di edifici sono invece disponibili applicazioni specifiche note come ACAD (*Architectural Computer Aided Design*).

Le applicazioni CAE sono costituite, in generale, da programmi che hanno come scopo lo studio dell'impatto di fenomeni fisici (campi tensionali, campi termici, fenomeni fluidodinamici, ecc.) sul dimensionamento e sulla forma dei componenti o degli assiemi. Generalmente applicano alla geometria CAD un opportuno modello matematico in grado di simulare il comportamento fisico che si vuole investigare. In questo ambito si includono, ad esempio, il Calcolo agli Elementi Finiti o *Finite Element Analysis* (FEA) per la verifica e l'ottimizzazione strutturale e la Fluidodinamica Computazionale o *Computational Fluid Dynamics* (CFD) per lo studio della fluidodinamica.

Anche l'acronimo CAE, però, può dar adito ad incomprensioni. Per ragioni storiche, con esso si intende riferito alle applicazioni software di simulazioni meccaniche (tensioni) e fisiche (temperature) basate sul calcolo agli elementi finiti, che certamente non esauriscono l'ampio spettro delle attività in-

gegneristiche nel mondo industriale, alle quali farebbe pensare l'acronimo stesso. Più corretto sarebbe quindi l'acronimo CAFEA = *Computer Aided Finite Element Analysis* (che però non esiste ancora). In tempi più recenti, CAE viene promosso come termine onnicomprensivo dell'interazione tra attività CAx finalizzate all'ottimizzazione globale del prodotto durante la fase di progettazione, includendo nel suo ambito anche metodi di ottimizzazione numerica.

### 3 - Abuso del termine “virtuale”

Si ritiene utile soffermarsi sul significato del termine virtuale di cui si fa spesso abuso, o meglio un uso ridondante, che può generare confusione.

Purtroppo tale inconveniente nasce dalla pratica commerciale di termini coniatati più per attirare l'attenzione sul prodotto, che per una reale necessità semantica.

È chiaro, infatti, che qualunque processo realizzato al computer con un programma software non può che simulare virtualmente il corrispondente processo reale.

Così un modello CAD 3D è di per sé una virtualizzazione digitale dell'oggetto reale che rappresenta. In tutti i termini relativi a processi realizzati via software l'aggiunta dell'aggettivo virtuale è quindi del tutto pleonastica, non aggiungendo nessun altro significato a quello già sottinteso. Purtroppo, però, l'uso del termine virtuale è molto diffuso nei prodotti commerciali. Avremo pertanto:

- il *Virtual Product Development* (che altro non è che l'insieme delle applicazioni CAD, CAE, CAT, CAM),

- il *Virtual Product Development Management* (che è simile al *Collaborative Product Development*),
- il *Virtual Product Data Management* (che è un PDM con l'aggiunta del termine virtuale).

Un particolare cenno merita, invece, il termine Realtà Virtuale o *Virtual Reality* (VR), al quale corrisponde una ben precisa tecnologia di simulazione della realtà che attraverso sistemi ad immersione (Full Immersion Systems) dotati di specifiche periferiche (quali ad esempio schermi di proiezione 3D, guanti o tute con sensori in grado di simulare l'interazione con lo schermo) è in grado di simulare l'interazione tridimensionale tra il team di progettazione e il prodotto. Nell'ambito della Realtà Virtuale il modello CAD3D del prodotto è uno degli input principali dello scenario in cui si immerge l'operatore. Per *Virtual Product Model* (VPM) o, come è anche chiamato, *Universal Virtual Product* (UVP), si intende sostanzialmente un modello CAD tridimensionale, che attraverso i formati VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) e HTML (*Hyper Text Markup Language*), rende possibile simulare, e quindi ottimizzare, tutti i processi afferenti il prodotto. In particolare è possibile fare sul modello CAD verifiche di *form*, *fit* e *function*, nonché verifiche ergonomiche tramite la rappresentazione dell'uomo all'interno dello spazio virtuale (*avatar*) e la sua interazione con esso.

In tal modo il modello CAD rappresenta veramente il prodotto virtuale utilizzabile per realizzare tutti i test, per le verifiche, per la stesura di specifiche logistiche, per il training del personale tecnico e per quant'altro si dovrebbe fare utilizzando, in sua assenza, il prototipo fisico.



## **4 - Da sistemi proprietari a sistemi commerciali**

Il successo ottenuto nei risultati conseguiti con il loro utilizzo privato ha spinto alcuni dei loro creatori a immettere sul mercato quelle stesse applicazioni, facendole diventare prodotti software "commerciali". In molti casi sono state create società ad hoc per lo sviluppo del software, come nel caso della Dassault Systemes, creata dalla Dassault Aviation nel 1976 per sviluppare CATIA, e della CADAM, società creata dalla Lockheed Martin per lo sviluppo dell'omonimo sistema CADAM. L'hardware era invece quasi tutto monopolizzato dall'IBM.

L'uso commerciale di quelle prime applicazioni finì presto con l'evidenziare la necessità di utilizzare per le applicazioni CAD, CAE e CAM uno stesso database, per la memorizzazione dei dati e per i collegamenti fra le varie funzioni svolte, e una stessa interfaccia utente per operare su uno stesso modello geometrico, pur effettuando processi differenti: modellazione geometrica, analisi agli elementi finiti per calcoli strutturali e termici, programmazione delle lavorazioni meccaniche alle macchine CNC. Si affermava il concetto dell'unicità del repository dei dati di progetto.

Un ulteriore passo decisivo, nella stessa direzione di integrazione, fu realizzato con l'introduzione di tecniche associative sia interne alla modellazione geometrica sia trasversali rispetto ai processi CAD, CAE, CAM.

L'associatività geometrica interna ha permesso di velocizzare operazioni di modifica della geometria nel rispetto dei vincoli topologici. Dunque, modifiche più veloci e corrette.

L'affermazione del concetto di associatività trasversale, irrinunciabile per una reale integrazione fra CAD, CAE, CAM,

ha permesso che modifiche effettuate sul modello 3D generassero automaticamente le corrispondenti modifiche sia delle tavole di disegno della parte o dell'assieme, sia della meshatura e del calcolo agli elementi finiti, sia dei percorsi utensili precedentemente programmati. L'associatività fra gli ambienti di modellazione geometrica (CAD 3D/2D), di analisi (CAE) e di produzione (CAM) suggellò definitivamente la completa integrazione delle applicazioni CAD, CAE, CAM in una stessa famiglia di prodotti.

Si è così arrivati agli odierni sistemi integrati CAD-CAE-CAM. In alcuni casi l'integrazione ha incluso nella denominazione anche l'acronimo CAT&I, quando nella stessa famiglia di prodotti era presente un'applicazione di *Computer Aided Testing and Inspection* (collaudo dimensionale automatizzato).

## 5 - Concurrent Engineering

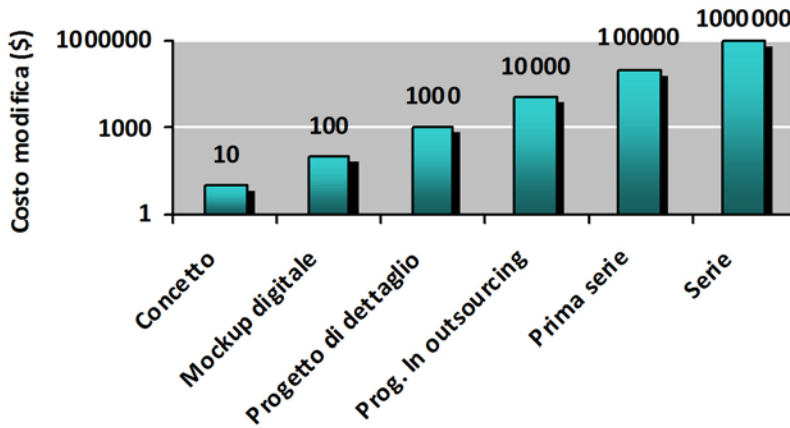
I modelli di progettazione utilizzati dalle varie aziende specificano i passi da compiere sequenzialmente nel processo progettuale. La soluzione progettuale finale viene raggiunta, con un processo iterativo di successive modifiche, attraverso fasi che si susseguono l'una dopo l'altra, impegnando ciascuna figure professionali diverse, fra le quali generalmente non v'è comunicazione né scambio di informazioni, all'infuori dell'input ricevuto dalla fase precedente.

I difetti di questa tipologia di "progettazione sequenziale" possono essere utilmente corretti con l'uso dell'Ingegneria Concorrente (*Concurrent Engineering*).

L'intensificata competizione e le conseguenti richieste di aumento di qualità, di riduzione del ciclo di vita dei prodotti e

di abbattimento dei costi spingono l'industria moderna a cercare nuove soluzioni a queste inderogabili istanze. Sotto tali spinte si è venuto configurando, agli inizi degli anni Novanta del secolo scorso, un nuovo modo di affrontare l'intero ciclo di vita del prodotto: il Concurrent Engineering, reso sempre più realizzabile dagli sviluppi delle nuove tecnologie informatiche per l'industria.

Ai fini dell'abbattimento dei costi, è necessario concentrare la scoperta degli errori e le relative modifiche il più possibile nelle prime fasi del ciclo di vita del prodotto, possibilmente nella fase di progettazione CAD. Prima viene rilevato l'errore, minore è il costo della sua correzione (figura 2).



**Fig. 2 – Variazione del costo di una modifica secondo la fase del ciclo di vita del prodotto in cui viene effettuata.**

Questo risultato, e in generale un notevole miglioramento della qualità del prodotto, può essere ottenuto soltanto con il coinvolgimento coordinato di tutte le figure professionali tec-

niche, manageriali, amministrative e commerciali, non solo della ditta produttrice ma anche del cliente e dei fornitori, impegnate ciascuna per il suo compito nello sviluppo del prodotto. In tale sforzo sinergico consiste la *Concurrent Engineering*, il cui risultato è valutabile in termini di decisioni più rapide su caratteristiche e funzioni del prodotto, aumento della qualità, riduzione dei costi, dei tempi di produzione e complessivamente del *time-to-market*, ovvero del tempo necessario per l'immissione sul mercato del nuovo prodotto.

## **6 - Le tecnologie informatiche per la gestione del ciclo di vita di un prodotto**

Pur rimanendo fondamentale l'impiego del *Computer Aided Design* (CAD) e del *Computer Aided Engineering* (CAE), per la fase progettuale, e del *Computer Aided Manufacturing* (CAM) e del *Computer Aided Process Planning* (CAPP), per la fase produttiva, risulta sempre più diffusa la sensibilità delle imprese verso gli aspetti gestionali del progetto e del prodotto. Nascono così vari sistemi SW di supporto alla gestione del ciclo di vita del prodotto industriale.

È bene chiarire fin d'ora che, a rigor di logica, ogni applicazione software dedicata al ciclo di sviluppo di un prodotto industriale dovrebbe avere un acronimo derivato da CAx, per sostituzione della x con una o più iniziali delle parole che definiscono il particolare obiettivo che si prefigge l'applicazione. In effetti ciò, come detto, accade soltanto per le applicazioni SW di progettazione, analisi e produzione.

Per la denominazione di tali sistemi, che ovviamente sono sempre e tutti Computer Aided, per ragioni storiche, si usano

acronimi non in linea con la logica testuale dell'acronimo CAx.

Ciò è accaduto per PDM (*Product Data Management*), per PDM II (*Product Development Management*), per PLM (*Product Lifecycle Management*), per ERP (*Enterprise Resources Planning*), per CRM (*Customer Relationship Management*), per SCM (*Supplier Chain Management*), per MRO (*Maintenance Repair and Overhaul*), per CM (*Configuration Management*) ecc.

## 7 - Product Data Management

I sistemi cardine per la gestione del ciclo di vita di un prodotto sono i sistemi *Product Data Management* (PDM) oggi sempre più frequentemente integrati con i sistemi CAD, CAE e CAM.

Cos' è il PDM?

La progettazione, la produzione, il controllo di qualità, le successive attività di manutenzione (logistica) e la vendita stessa di un prodotto manifatturiero sono processi che producono grandi quantità di dati di vario genere:

- documenti cartacei (richieste di preventivo, preventivi, offerte, specifiche, schede tecniche, cataloghi, report sui test, standard utilizzati, disegni su carta, contratti, ordini d'acquisto, ecc.);
- documenti elettronici (le CAD di sistemi differenti, file immagini, file testo di diverso contenuto, fogli elettronici, Pert, diagrammi di Gantt, ecc.).

Tutti questi dati eterogenei e complessi devono essere archiviati secondo criteri specifici di ciascuna azienda, in modo

da permetterne l'accesso rapido, sicuro e corretto in qualunque momento del ciclo di vita del prodotto da parte di figure professionali diverse: progettisti, tecnologi, responsabili della progettazione, della produzione, della logistica, responsabili commerciali, capi programma, ecc. A ciò provvedono essenzialmente i sistemi PDM (*Product Data Management*).

Prima della loro introduzione è stato calcolato che un progettista dedicava soltanto il 20% del suo tempo all'attività vera e propria di progettazione, mentre il 35% del suo tempo era speso per ricerche e verifiche di dati relativi a revisioni e versioni del progetto, calcoli e disegni.

Il PDM non va confuso con altri sistemi software, come il TDM (*Technical Data Management*) o EDM (*Engineering Data Management*) i quali gestiscono l'archiviazione soltanto di documenti tecnici: disegni, modelli CAD e documenti diversi ad essi collegati. Per tali ragioni, TDM e EDM sono spesso considerati versioni "alleggerite" del PDM, svolgendo soltanto una parte delle funzioni di quest'ultimo.

Per raggiungere i propri obiettivi, i sistemi PDM devono espletare numerose e complesse funzioni di gestione dei dati di prodotto correlate fra loro e tali da garantire la loro sicurezza e integrità. Poiché ogni compagnia ha una propria organizzazione, che impatta su tutti i suoi reparti a livello sia tecnico sia amministrativo, non è possibile progettare e realizzare un sistema PDM universalmente valido. Per tale ragione i sistemi PDM forniscono soltanto una struttura di strumenti (*template, framework, form, workflow models*) tramite i quali l'utente può creare le procedure e le regole per la gestione dei dati di prodotto della propria compagnia, tenendo conto delle sue specifiche necessità gestionali. In altri termini non esistono (come

invece per i sistemi CAD) sistemi PDM "pronti all'uso". Il lavoro di personalizzazione degli strumenti gestionali posti a disposizione da un PDM è sempre molto lungo, laborioso e delicato, poiché coinvolge tutte le aree aziendali e non soltanto quelle tecniche.

All'inizio, i sistemi PDM erano quasi sempre sviluppati da società non direttamente impegnate nello sviluppo di software CAD; si pensi, per esempio all'IBM che, pur non avendo un proprio sistema CAD, aveva sviluppato un proprio sistema PDM, il *Product Manager* (PM). Successivamente, invece, molte società sviluppatrici di sistemi CAD si sono impegnate nello sviluppo di propri PDM che hanno integrato all'interno della propria suite di applicazioni CAD. In qualche caso sono state mantenute due differenti versioni dello stesso PDM: una "leggera", integrata nel pacchetto CAD, e l'altra "professionale", non integrata.

Pur non essendo necessaria tale integrazione, in quanto un sistema PDM per sua stessa missione non deve essere legato a uno specifico CAD, essa manifestava chiaramente l'ambizione di offrire all'utenza un sistema software in grado di soddisfare non soltanto le funzioni tecniche di progettazione e produzione, ma anche quelle gestionali facendo riferimento all'intero ciclo di vita del prodotto.

Una caratteristica primaria di un sistema PDM è la sua capacità di far circolare, di organizzare e controllare all'interno della compagnia tutte le informazioni (non soltanto tecniche) relative al ciclo di vita dei prodotti. Tutte le aree aziendali devono avere la possibilità di accedere, con diversi privilegi a seconda dei casi, a tali informazioni. Un PDM è dunque uno strumento in grado di implementare con successo la *Concur-*

*rent Engineering*. In particolare esso permette la tracciatura di tutti i costi (diretti e indiretti) relativi al ciclo di vita di un prodotto. Questo aspetto è molto importante per abbattere i costi.

Infatti, mediamente, circa il 40% dei costi sostenuti durante il ciclo di vita di un prodotto sono imputabili non a materiali e a ore dirette impegnate nelle attività tecniche (progettazione e produzione) ma a servizi generali e di supporto (ore indirette), che soltanto la tracciatura completa fornita da un PDM può evidenziare e quindi controllare.

Le funzioni principali di un PDM possono essere suddivise in due gruppi fondamentali: funzioni di utente e funzioni di utilità.

Le funzioni di utente sono: a) gestione dei rilasci del prodotto; b) gestione delle modifiche; c) gestione della struttura del prodotto; d) classificazione; e) gestione dei programmi aziendali.

Le funzioni di utilità sono: f) comunicazione e notifica; g) trasferimento dei dati; h) conversione dei dati; i) visualizzazioni; j) amministrazione.

## **8 - Il massimo dell'integrazione: Product Life-cycle Management**

Anche l'acronimo PDM, dunque, si sarebbe dovuto aggiungere agli altri con la nascita dei sistemi integrati CAD-CAE-CAM-CAT&I-PDM.

In definitiva, il concetto generale che si è affermato negli ultimi anni è quello della totale integrazione, in un'unica suite, di tutte le applicazioni software in grado di assistere l'azienda



nell'intero ciclo di vita di un prodotto manifatturiero o di processo.

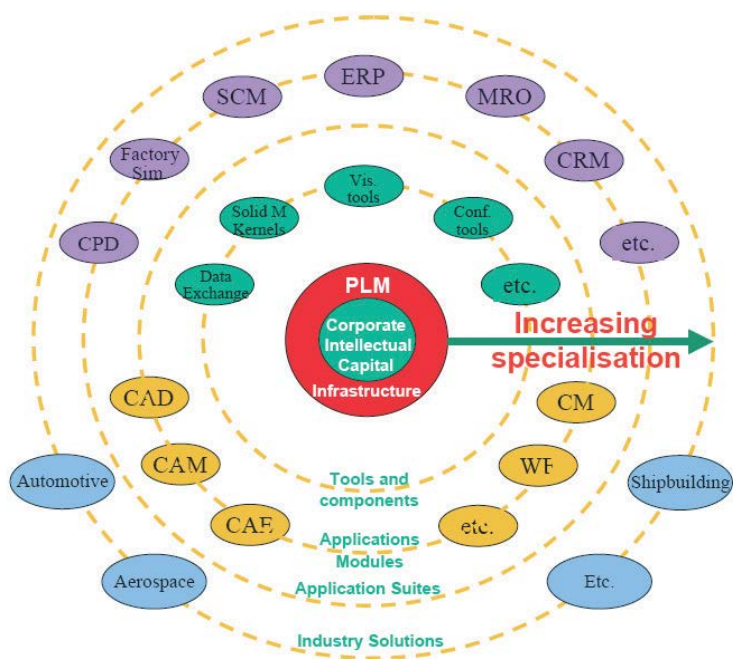
Concetti nuovi richiedono termini nuovi. Pertanto, appare giustificato l'uso più sintetico e corretto del nuovo acronimo PLM (*Product Lifecycle Management*) introdotto da IBM nel 1995, onnicomprensivo dei contenuti di tutte le vecchie sigle aggiuntive del CAD. Questa nuova denominazione, oltre il pregio della sintesi, ha anche quello, più sostanziale, di suggerire inequivocabilmente lo spostamento della concezione delle applicazioni CAx da sistemi tecnici isolati a sistemi di sviluppo del prodotto, quindi da una visione puramente tecnica e strumentale a una visione sistemica e globale, coinvolgente tutti gli aspetti del ciclo di vita di un prodotto industriale.

## 9 - PLM: metodologia e sistema

È bene però chiarire che il termine PLM non è stato introdotto per indicare un nuovo prodotto software, sia pure inteso come sistema, bensì per denotare una nuova potente metodologia di lavoro basata sull'uso delle reti informatiche e supportata da diverse applicazioni software che permettono un approccio strategico alla creazione e alla gestione del know-how aziendale relativo a un prodotto industriale, partendo dall'idea iniziale e coprendo tutte le fasi della sua vita, fino a quelle di post-vendita. Sono state fornite varie definizioni di PLM, le quali, però, si riferiscono spesso non a ciò che questa metodologia consente di fare bensì ai suoi vantaggi.

La definizione più fedele alla sostanza della reale operatività del PLM fa riferimento alla stessa traduzione letterale dell'acronimo: è una metodologia che permette di gestire l'in-

tero ciclo di vita di un prodotto industriale utilizzando le tecnologie CAx, il PDM e il Web, in modo da permettere la condivisione di informazioni sul prodotto - e quindi del know-how aziendale - da parte di soggetti anche non fisicamente collegati fra loro, perché localizzati in siti geograficamente lontani.

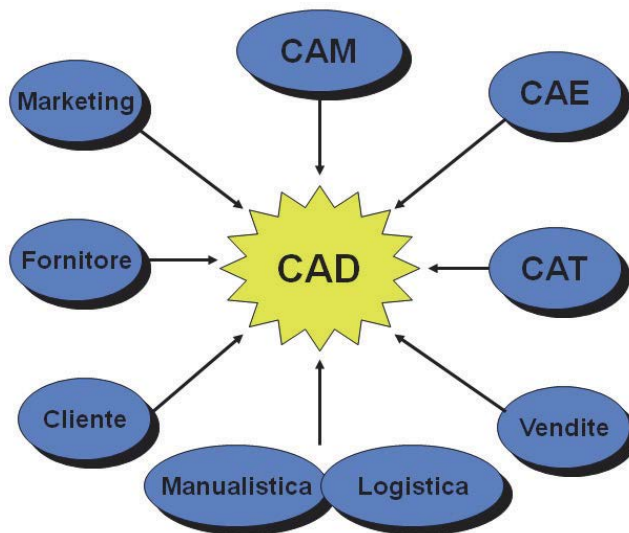


**Fig. 3 – Product Lifecycle Management.**

Nata come nuova filosofia di approccio all'intero ciclo di vita del prodotto, il PLM sta assumendo sempre più la caratteristica di sistema, o più propriamente di insieme di sistemi software, grazie all'integrazione fra i sistemi software che lo

compongono: MCAD, ECAD, CAE, CAM, CAT&I, PDM, *Virtual Product Design*. Per tale ragione, oggi è sempre più frequente sentire parlare di sistemi PLM, costituiti da suite di sistemi applicativi software note come soluzioni per l'industria del PLM.

Per poter svolgere la loro funzione di comunicazione e circolazione delle informazioni di progetto all'interno della ditta, i sistemi PLM acquisiscono dati importanti dalle applicazioni ERP (*Enterprise Resources Planning*), SCM (*Supply Chain Management*) e CRM (*Customer Relationship Management*), le associano a quelle sul prodotto e le mettono a disposizione di tutta l'azienda, favorendo l'incremento e la condivisione del Know How aziendale (*Corporate Intellectual Capital*).



**Fig. 4 – Il CAD: repository unico di tutti i dati utilizzati nel ciclo vita di un prodotto industriale.**

L'utilizzo delle tecnologie CAD, CAM, CAE non integrate e del PDM, sofisticate e con alto contenuto specialistico - quindi utilizzabili soltanto da parte di figure professionali opportunamente addestrate - non riesce a rompere l'isolamento fra i vari reparti aziendali ma, al contrario, lo aumenta a causa dell'impossibilità di condividere i sistemi di progettazione e di gestione dei dati di prodotto. È pertanto praticamente impossibile per i responsabili della produzione e della commercializzazione fornire tempestivamente il proprio contributo ai responsabili della progettazione.

Questo isolamento viene infranto dal PLM, che in sostanza è la concretizzazione e la massima estensione del concetto astratto, affermato nella *Concurrent Engineering*, di condivisione del progetto fra tutti i soggetti ad esso interessati, superando le barriere aziendali e geografiche che nel passato lo confinavano, erroneamente, nell'area tecnica dell'azienda produttrice. In tal modo viene attivato e incoraggiato lo scambio di informazioni tra i progettisti, i responsabili della produzione e della vendita e gli utenti finali.

La metodologia PLM può migliorare la capacità dell'azienda di utilizzare le informazioni relative al prodotto tramite il coordinamento dell'intero processo decisionale in tempo reale, coinvolgendo tutti i soggetti ad esso interessati, dall'officina fino ai vertici dell'azienda. Le decisioni saranno in tal modo tempestive e più corrette, e avranno quindi come risultato un incremento della qualità, una riduzione della durata del ciclo di sviluppo, una maggiore semplicità del processo di progettazione e produzione, una diminuzione dei costi e di conseguenza, infine, un aumento degli utili e della redditività aziendale.

## 10 - Oltre i confini fisici della fabbrica: l'Impresa Virtuale Estesa

Poiché in qualunque impresa il prodotto nasce e si sviluppa anche con le informazioni provenienti dai clienti e dai fornitori, nasce l'esigenza di affiancare e integrare ai software CAD, CAE e CAM anche applicazioni di *Customer Relationship Management* (CRM) e *Supply Chain Management* (SCM) che consentano di colloquiare con questi altri fondamentali attori del processo di sviluppo di un prodotto industriale.



Fig. 5 – L'Impresa Virtuale Estesa.

Il PLM riesce ad abbattere i confini fra le diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto e fra i diversi reparti all'interno dell'azienda produttrice che, con modalità e competenze differenti, concorrono allo sviluppo del prodotto.

Tuttavia, la nascita e lo sviluppo di un prodotto industriale non impegnano unicamente le risorse dell'azienda produttrice, bensì sono il frutto anche dell'interazione fra questa e altri due protagonisti del ciclo di vita del prodotto, il cliente e i for-

nitore, i quali a loro volta possono avere dei subfornitori in modo da formare una catena di fornitori. Un prodotto, infatti, nasce dai requisiti imposti dal cliente, che spesso possono anche subire modifiche in corso d'opera, e la sua progettazione, inoltre, non può trascurare la reale disponibilità di componenti d'acquisto o di componenti a commessa (*Commercial Off-The Shelf = COTS*) che si richiede ai fornitori e che deve essere da questi garantita e concordata.

In realtà, quindi, stando alla denominazione stessa dell'acronimo, il PLM non dovrebbe ignorare i soggetti esterni all'azienda produttrice, anch'essi impegnati nella gestione del ciclo di vita del prodotto. In altri termini il PLM dovrebbe includere applicazioni di interfaccia con il cliente e con la catena dei fornitori, ovvero dovrebbe abbattere anche le barriere fra l'azienda produttrice e il mondo esterno.

Per tali ragioni, le soluzioni PLM manifestano la loro massima potenzialità quando sono combinate con le soluzioni di e-business o e-commerce, quali SCM (*Supply Chain Management*) e CRM (*Customer Relationship Management*).

Attraverso la Rete le applicazioni SCM consentono di gestire la catena dei fornitori, mentre le applicazioni CRM hanno per obiettivo la gestione delle relazioni con il cliente. A tali applicazioni occorre affiancare le applicazioni ERP (*Enterprise Resources Planning*) per la pianificazione delle risorse aziendali, che necessariamente devono interagire con il cliente, con i fornitori e con tutti i reparti dell'azienda stessa che contribuiscono a fornire le risorse umane e i materiali necessari per lo sviluppo del prodotto. Si configura così il concetto di impresa virtuale estesa.

L'integrazione fra soluzioni PLM e SCM ha un ruolo decisivo su almeno due aspetti:

1. la progettazione e la produzione in outsourcing di sottosistemi;
2. la personalizzazione dei prodotti (progettazione modulare), che dà luogo a versioni differenti dello stesso prodotto destinate a clienti diversi.

La progettazione e la produzione di sottosistemi da parte dei fornitori consente all'azienda produttrice di disporre di un maggior numero di esperti di progettazione e di ridurre pertanto in modo significativo i costi e i tempi che intercorrono tra l'ordine e l'immissione sul mercato del prodotto (*time to market*).

L'integrazione fra soluzioni PLM e SCM permette di sfruttare al meglio tutti questi vantaggi coordinando in modo efficiente le operazioni di assemblaggio dei sottosistemi, progettati e sviluppati da diversi fornitori in località geografiche remote.

La richiesta di una maggiore varietà di opzioni per lo stesso prodotto, destinate a clienti diversi, rende necessario, in primo luogo, l'approccio della "progettazione modulare" per modellare le varianti del prodotto fin dalle prime fasi di progettazione e garantire che tutte le modifiche apportate siano in grado di soddisfare i requisiti in termini di prestazioni e possibilità di realizzazione. L'integrazione fra PLM e CRM garantisce il raggiungimento di questo obiettivo. Il CRM, infatti, mette a disposizione del cliente un apposito programma di configurazione per le vendite (configuratore delle vendite) che gli consente di selezionare le opzioni desiderate, mentre il PLM, eseguito in background, controlla la compatibilità delle

opzioni selezionate. Questa interazione produttore-cliente cambia la vecchia impostazione di produzione di massa in *Mass Customization*, aumentando cioè la varietà dei prodotti offerti senza rinunciare a qualità, tempi di consegna brevi e costi contenuti. Il configuratore di prodotto permette, secondo dati criteri, di definire la versione di prodotto desiderata in modo da soddisfare una determinata combinazione di componenti, caratteristiche e funzioni. A seguito di tali input del cliente, vengono automaticamente ordinate le modifiche necessarie a livello di progettazione o ingegneria, che sono quindi eseguite sul modello CAD. Tramite collegamenti a SCM e ERP, quindi, vengono selezionati i moduli corrispondenti alle opzioni manifestate dal cliente interrogando la catena dei fornitori e viene pianificata l'attività del loro assemblaggio. Infine, il prodotto viene ultimato e spedito ai clienti.

## 11 - La rivoluzione del Cloud

Una importante rivoluzione nel campo del *product design* è stata introdotta dalla disponibilità di risorse hardware e software remote condivisibili tramite Internet, che hanno dato vita ai cosiddetti sistemi Cloud Based.

Il termine *cloud* letteralmente significa nuvola. Questo termine è stato scelto perché Internet, nella figura 8 del brevetto del 16 gennaio 1996, era rappresentato graficamente come una nuvola, visibile da più luoghi della Terra.

La tecnologia *cloud*, infatti, offre la possibilità di utilizzare da qualunque luogo del Pianeta, tramite Internet, potenti computer (server) gestiti da terze parti e collocati in data center remoti rispetto all'utente. Tali server possono essere uti-



lizzati per vari scopi, essendo in grado di fornire all'utente finale servizi di vario genere, noti genericamente con il termine *Cloud Computing*:

1. database;
2. programmi SW;
3. risorse di calcolo e di memoria grafica non economicamente sostenibili dall'azienda per usi limitati nel tempo;
4. reti;
5. backup temporanei e archiviazione finale dei dati, liberando porzioni di spazio fisico dai computer locali delle aziende;
6. servizi informatici in generale.

U.S. Patent Jan. 16, 1996 Sheet 8 of 23 5,485,455

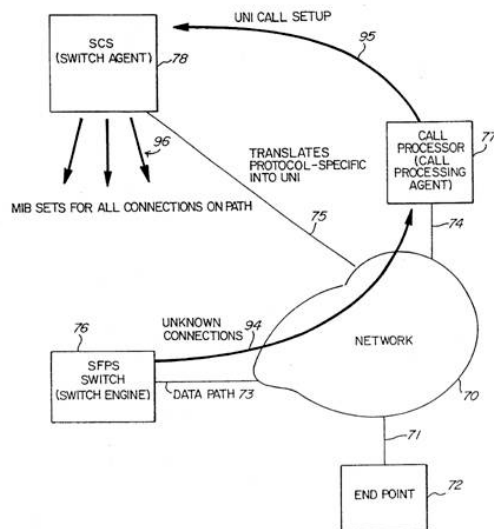


Fig. 6 - Figura 8 del brevetto di Internet (16-01-1996).

Generalmente si enfatizza, forse troppo, la convenienza di utilizzo del *Cloud Computing* dal punto di vista economico. Infatti il software per la progettazione ingegneristica è usufruibile con l'acquisto di licenze tipo *price-per-seat*, cioè prezzo per posto a sedere delle offerte commerciali tradizionali a postazione (*on-premise*). Le licenze a postazione fanno crescere le spese con il crescere del personale che le utilizza.

Inoltre le esigenze della progettazione possono variare con l'insorgere di richieste, soltanto temporanee, di applicazioni specifiche molto costose o in grado di compiere calcoli molto complessi che richiedono grandi potenze di calcolo non disponibili nei computer locali di un'azienda. C'è da aggiungere che questi costi restano fissi anche dopo l'utilizzo di quelle risorse una tantum, oppure, nel caso di utilizzo ripetuto, nei periodi di stagnazione della richiesta di servizi ingegneristici. I sistemi *Cloud Based*, invece, permettono di contenere i costi limitandoli all'utilizzo effettivo di tali risorse, attivabile in base alle necessità.

Tuttavia, la convenienza economica delle soluzioni *cloud* rispetto alle tradizionali *on-premise* non è da tutti condivisa, in quanto ci sono costi indiretti, non facilmente determinabili in entrambi i casi, che possono addirittura ribaltare le precedenti conclusioni, mostrando che in taluni casi le soluzioni *cloud* sono più dispendiose di quelle *on-premise*.

Inoltre, un serio ostacolo all'utilizzo del *Cloud Computing* è costituito dal problema della sicurezza dei dati, che è in generale collegato alla segretezza dei dati di una qualunque azienda, che assume particolare rilievo nel caso di industrie militari.

La possibilità di accedere, tramite Internet, allo stesso progetto da luoghi differenti è nota come “progettazione collaborativa”, in quanto consente a più progettisti, situati anche in luoghi distanti, di lavorare sul medesimo progetto.

In questi casi è necessario che il *Cloud Computing* garantisca una corretta gestione delle successive sessioni del progetto, per evitare che una vecchia versione creata da un progettista P1 si sostituisca nel *cloud* a una nuova creata dalla sessione di lavoro di un altro progettista P2. Un caso particolare è quello dello stesso progettista che può lavorare al suo progetto da computer diversi, collocati anche in luoghi diversi. In questo caso, il progettista lavora di volta in volta su computer locali differenti, importando i dati progettuali dal *cloud*. Questa soluzione è comoda in quanto non vincola il progettista a una sola postazione di lavoro ed è necessaria quando, per esigenze varie, è costretto a utilizzare dispositivi diversi.

Anche i problemi di *networking* non sono da sottovalutare: il *Cloud Computing* deve assicurare alte prestazioni di connettività, perché in assenza di connessione internet esso è totalmente inutilizzabile, con gravi danni per l'utente.

Certamente, invece, a favore del *Cloud Computing* sono i servizi offerti al punto 3 di risorse di calcolo e di memoria grafica non economicamente sostenibili dall'azienda per usi limitati nel tempo.

## 12 - Un nuovo modo di produrre: la stampa 3D

I metodi di costruzione classici sono per:

1. sottrazione di materiale o *Subtractive Manufacturing*. Da un blocco metallico si ottiene il pezzo finito per asporta-

zione del materiale tramite l'utensile di una macchina a controllo numerico, il cui percorso è stato programmato sul modello CAD;

2. fusione. Si ricava il pezzo per raffreddamento e quindi solidificazione dal materiale fuso contenuto nella matrice negativa del pezzo.

Negli ultimi decenni, a questi due metodi, se ne è aggiunto uno nuovo, per addizione di materiale o *Additive Manufacturing*.<sup>1</sup> Il pezzo viene ottenuto per aggiunta di materiale a strati successivi, i quali materializzano, secondo principi fisici e tecniche differenti, sezioni successive del modello geometrico 3D realizzato con il CAD.

L'*Additive Manufacturing* già da diversi decenni si è affermata nei settori delle protesi biomedicali e della componentistica aerospaziale, ma sta interessando sempre più anche altri settori dell'industria manifatturiera.

Il principio di funzionamento della fabbricazione additiva è molto semplice e materializza il *Principio degli Indivisibili*, già di fatto applicato da Luca Valerio nel 1604 nella sua opera *De centro gravitatis solidorum*, prima ancora della sua enunciazione da parte di Bonaventura Cavalieri nel 1635.<sup>2</sup> Immaginiamo di sezionare un oggetto fisico con un numero finito di piani paralleli e di traslare ciascuna sezione così ottenuta di una lun-

---

<sup>1</sup> Un'altra denominazione è *Layered Manufacturing* (Fabbricazione a Strati). Un'altra ancora usata per ragioni storiche ma impropria, è *Rapid Prototyping* (RP) o Prototipazione Rapida.

<sup>2</sup> Il procedimento di Luca Valerio viene rielaborato, molti anni dopo, da Bonaventura Cavalieri nella sua opera *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota* (1635) e riportato da Galileo Galilei nella Giornata Prima della sua celebre opera *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638).

ghezza molto piccola (rispetto alle dimensioni dell'oggetto) in direzione normale ai piani: ciò che otterremo è un oggetto "stratificato a gradini", costituito da tanti cilindretti quante sono le sezioni, che potrà sostituire quello originario con una approssimazione che è tanto migliore quanto meno distanti, e quindi più numerosi, sono i piani sezionanti. Inoltre l'approssimazione alla forma reale è tanto migliore quanto più questa è vicina a quella prismatica.

L'*Additive Manufacturing* (AM) è una tecnologia generativa, cioè automatica, che permette di fabbricare un oggetto quasi direttamente dal suo modello geometrico CAD 3D. Per realizzare il pezzo è sufficiente convertire, con opportune applicazioni software, il formato geometrico del modello CAD di progetto in un formato particolare a tessellazione triangolare (STL) e suddividerlo tramite un opportuno software (detto genericamente *slicer*) in strati finiti molto sottili, dell'ordine di  $10\div 150\ \mu\text{m}$ .

Il modello geometrico 3D così partizionato in strati finiti sottilissimi viene dato come input a un prototipatore AM (spesso impropriamente detto "stampante 3D")<sup>3</sup> che "legge" il profilo di ciascuno strato e, secondo diverse tecniche, realizza quest'ultimo fisicamente a partire dallo strato sottostante, aggiungendo quindi progressivamente materiale. Al limite, se gli strati fossero di spessore infinitesimo, e quindi di numero infinito, otterremmo esattamente la forma dell'oggetto, applicando lo stesso procedimento mentale del Calcolo Integrale (Nicotra, 2015, 2022).

---

<sup>3</sup> Le macchine in grado di realizzare la Fabbricazione Additiva o a Strati sono ancora spesso chiamate "prototipatori", riferendosi all'origine storica delle prime macchine di questo tipo, utilizzate per costruire prototipi.

### **13 - Una progettazione a passo di gambero: Reverse Engineering**

All'interno del processo progettuale, in vari casi, può assumere rilevanza la necessità di ripercorrere in senso inverso il naturale iter progettuale (dall'idea progettuale astratta al prodotto fisico finito) cercando di ricavare dal prodotto finito il progetto che l'ha originato. In tali situazioni si utilizzano tecniche di *Reverse Engineering* (Nicotra, 2002).

### **14 - La fabbrica automatica: CIM**

Infine, l'estensione dell'automazione a tutti i reparti dell'impresa e l'integrazione fra tutti i processi così informatizzati avvicina sempre più all'ideale della fabbrica completamente automatizzata o *Computer-Integrated Manufacturing* (CIM), governata da un numero sempre più ristretto di tecnici, capaci di controllare i centri di calcolo e di programmazione, e di manager, organizzatori della produzione, che si occupano delle relazioni fra impresa e mercato, fra prodotto e consumatori. La fabbrica automatizzata rappresenta, dunque, il culmine dell'apporto delle tecnologie dell'informatica industriale al ciclo di sviluppo di un prodotto manifatturiero o di processo, consentendo da una parte una forte contrazione dei tempi di produzione, un aumento della produttività, della qualità, dell'autonomia e della partecipazione dei lavoratori ma, dall'altra parte, pone anche seri problemi occupazionali in conseguenza della drastica riduzione delle risorse umane necessarie per il suo funzionamento.

## Bibliografia

NICOTRA Luca (1998). "Il ruolo dei sistemi MCAD all'inizio del 2000" - In: «*Fluid Trasmissioni di Potenza*», (1ª parte) n. 3, aprile, (2ª parte) n. 4, maggio 1998, Milano: Tecniche Nuove.

NICOTRA Luca (2002). "La modellazione geometrica nel Reverse Engineering". In: «*Il Progettista Industriale*», 1a parte n. 6, giugno, , 2a parte n. 7, luglio 2002, Milano: Tecniche Nuove.

NICOTRA Luca, CAMPANA Francesca (a cura di) - *Ingegneria Assistita dal Computer, vol. 1*. Roma, UniversItalia, marzo 2014, 2a ed. accresciuta, ISBN 978-88-6507-604-0.

NICOTRA Luca (2015). "Luca Valerio: padre del principio geometrico dell'Additive Manufacturing". In «*Emmeciquadro*», n. 59 , 30 dicembre 2015, Milano.

<http://www.ilsussidiario.net/News/emmeciquadro/Emmeciquadro-n-59/2015/12/30/SCIENZAeSTORIA-Luca-Valerio-padre-del-principio-geometrico-dell-Additive-Manufacturing-/653570/>.

NICOTRA Luca (2022). "Leggendo Galileo: dalla scodella di Luca Valerio agli indivisibili di Bonaventura Cavalieri e all'Additive Manufacturing". In «*Periodico di Matematica*», Anno 37°, Serie.IV, Vol. IV (1) marzo 2022, pp. 7-38. DOI : 10.53159/PdM(IV).v4n1.064. [https://www.afsu.it/wp-content/uploads/2022/05/1-Nicotra-PdM-IV-Vol.-IV-1\\_7-38-online-1.pdf](https://www.afsu.it/wp-content/uploads/2022/05/1-Nicotra-PdM-IV-Vol.-IV-1_7-38-online-1.pdf)

NICOTRA Luca (2023). *Le fasi del ciclo di vita del prodotto. Il ruolo dell'informatica*. Bologna: In Riga edizioni, ottobre 2023, ISBN 9788893644372.

*Ingegneria industriale assistita dal computer*

# Le fasi del ciclo di vita del prodotto

## Il ruolo dell'informatica

Luca Nicotra



numero

6

*in riga*  
edizioni   
Tecnologia  
e innovazione