

SOCIETÀ  
DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI  
IN TORINO

L'INNOVATORE RASSEGNA TECNICA

Anno 125

**XLVI-3-4**  
NUOVA SERIE

MARZO  
APRILE 1992

**Immagine delle tecnologie, oggi** a cura di G. F. MICHELETTI: G. F. MICHELETTI, *La produzione snella: hard-ware, soft-ware, human-ware* — G. CONTE, *Centri e sistemi di lavorazione flessibili e loro monitoraggio* — M. ERCOLE, *La macchina di misura tridimensionale in ambiente di automazione flessibile* — G. MERLIN, P. S. POLLANO, *Montaggio automatico: problematiche, stato dell'arte, sviluppi e prospettive* — M. BERTINO, *Il flusso dei materiali e la gestione degli utensili: veicoli filoguidati (AGV)* — R. CONTERNO, *Gestione informatica dei processi produttivi* — P. MARINSEK, *La strategia della soddisfazione del cliente: il caso Fiat Auto* — M. VALENTINI, P. FORCONI, R. DE FABRIZIO, *La produzione automatizzata di componenti in materie plastiche per l'industria* — M. G. BARBERO, *Automazione a monte dell'industria farmaceutica. Le soffierie per produrre fiale e flaconi*.



# ATTI E RASSEGNA TECNICA

## DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - ANNO XLVI - Numero 3-4 - MARZO-APRILE 1992

## SOMMARIO

### Immagine delle tecnologie, oggi a cura di G. F. MICHELETTI

G. F. MICHELETTI, <i>La produzione snella: hard-ware, soft-ware, human-ware</i> .....	» 175
G. CONTE, <i>Centri e sistemi di lavorazione flessibili e loro monitoraggio</i> .....	» 184
M. ERCOLE, <i>La macchina di misura tridimensionale in ambiente di automazione flessibile</i> .....	» 192
G. MERLIN, P. S. POLLANO, <i>Montaggio automatico: problematiche, stato dell'arte, sviluppi e prospettive</i> .....	» 208
M. BERTINO, <i>Il flusso dei materiali e la gestione degli utensili: veicoli filoguidati (AGV)</i> .....	» 216
R. CONTERNO, <i>Gestione informatica dei processi produttivi</i> .....	» 223
P. MARINSEK, <i>La strategia della soddisfazione del cliente: il caso Fiat Auto</i> .....	» 229
M. VALENTINI, P. FORCONI, R. DE FABRIZIO, <i>La produzione automatizzata di componenti in materie plastiche per l'industria</i> .....	» 232
M. G. BARBERO, <i>Automazione a monte dell'industria farmaceutica. Le soffierie per produrre fiale e flaconi</i> .....	» 237

Direttore: Marco Filippi

Vice-direttore: Elena Tamagno

Comitato di redazione: Liliana Bazzanella, Valentino Castellani, Rocco Curto, Giovanni Del Tin, Vittorio Jacomussi, Luigi Mazza, Gian Federico Micheletti, Vittorio Naseé, Angelo Picherri, Mario Federico Roggero, Giorgio Santilli, Micaela Viglino.

Comitato di amministrazione: Pier Carlo Poma (presidente), Franco Mellano, Laura Riccetti, Riccardo Roscelli, Giorgio Rosental.

Segreteria di redazione: Tilde Evangelisti

Sede: Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, Corso Massimo d'Azeffio 42, 10125 Torino, telefono 011 - 6508511

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.





## Immagine delle tecnologie, oggi

*Dedicare un numero della nostra Rivista alla immagine delle tecnologie, oggi, non è compito da poco.*

*Le tecnologie si articolano e si moltiplicano entro una gamma d'applicazioni in perenne estensione; inoltre, si sviluppano in percorsi la cui durata tende ad accorciarsi, con fenomeni persino allarmanti di troppo rapida obsolescenza; infine, confermano una carica creativa intrinseca con effetti non sempre ed agevolmente prevedibili.*

*Le crisi congiunturali, di origini e contenuti economici, sono incentivi drammatici nei confronti della ricerca tecnologica: al termine di ogni crisi, il panorama delle tecnologie senza dubbio presenta interessanti espansioni verso nuove proposte.*

*Per propria natura, la tecnologia — qui da interpretare quale unità astratta, quale «categoria» di pensiero — è estremamente flessibile nella dinamicità che contrassegna il suo stesso essere: sa recepire, osservare, reagire, progettare, correggere, costruire.*

*Si nutre di idee, le traduce in progetti, li propone od impone, ora rivoluzionando ora consolidando.*

*È interdisciplinare al massimo della concentrazione di confluenze dei know-how, provenienti dalle mille sorgenti del sapere scientifico.*

*È pragmatica, perché consapevole che le implicazioni economiche sono co-protagoniste nell'assicurare il successo.*

*È interprete principale di questa nostra era, che talvolta l'accusa globalmente perché non sa distinguere fra tecnologie corrette ed applicazioni degenerative, provocate da istigazioni altrettanto degenerative di carattere economico (spendere meno, ma inquinare; spendere meno, ma penalizzare la qualità; spendere meno, ma aggravare la fatica).*

*La tecnologia non vive solo di slanci, di entusiasmi, di successi; incontra ostacoli, problemi, incognite.*

*Le prospettive non seguono percorsi lineari; i condizionamenti inducono alternative e rallentamenti.*

*Ma l'evoluzione è ininterrotta, e leggerla nella sua pienezza è quasi impossibile.*

*Mi si chiede sovente: qual è il punto della Tecnologia?*

*La risposta è: focalizziamo alcuni «punti», sapendo che proprio di punti si tratta, circoscritti entro un arco di tempo ed entro settori molto diversi.*

*Così rispondo anche ai Colleghi ed ai Lettori di «Atti e Rassegna Tecnica».*

*Sono stati selezionati, per elaborare questo numero della Rivista, alcuni*

*settori produttivi fra i più emblematici per contenuti e significati, chiedendo ad Esperti di illustrare «il punto» cui sono pervenuti e da cui si stanno muovendo, nel loro ambito.*

*Sistemi flessibili, gestione informatica, monitoraggio, precisione e misura, flusso dei materiali, produzione automatizzata, montaggi e modularità totale sono alcuni dei fattori preminenti di questo nostro oggi tecnologico.*

*Gli Autori hanno accettato di esserne i portavoce, per «fare il punto», sintetizzando gli apporti recenti e profilando i trends futuri.*

*Del loro impegno e della collaborazione così cordialmente accordata li ringrazia la Società degli Ingegneri e degli Architetti, ravvisandone l'efficacia descrittiva e la chiarezza espositiva: doti rare, che forse mai sono così apprezzabili come in questo momento.*

*Un invito conclusivo: chi desiderasse acquisire «de visu» le immagini delle tecnologie qui illustrate, lo segnali alla Redazione, che si farà parte attiva per compiacere ai desideri.*

*Ed ora, a tutti, buona lettura!*

**Gian Federico Micheletti**

# La produzione snella: hard-ware, soft-ware, human-ware

Gian Federico Micheletti (\*)

Sembra particolarmente opportuno focalizzare l'attenzione sullo specifico problema «produzione» in un momento, come l'attuale, in cui molto si discute sull'argomento, in presenza di una crisi di crescita o addirittura di una crisi che sembra — per motivi diversi — invertire le tendenze di espansione che apparivano ormai una condizione atta ad assicurare la stabilità del sistema economico.

Un discorso di «produzione» può essere impostato *in generale*, ed è quanto si tenderà a fare in questo articolo, oppure *nel particolare* con riferimenti specifici ad alcuni settori di più evidente importanza per la produzione moderna.

È indubbio che la produzione della «industria delle industrie», ossia della industria automobilistica, può costituire un fondamentale settore di riferimento per una estensione a molte altre produzioni.

Per questa ragione, nel corso di queste considerazioni, pur in un quadro più generale, si ricorrerà spesso a richiami tratti dall'industria dell'automobile.

Una prima osservazione riguarda la «vita dei prodotti industriali», che negli ultimi tempi si è molto abbreviata e non per quanto attiene alla capacità di durata (che anzi, dalle tecnologie migliori può essere aumentata), ma per quanto si riferisce alla permanenza di un prodotto sul mercato.

È un effetto probabilmente dovuto ai ritmi via via più veloci della vita odierna, al necessario susseguirsi di innovazioni continue ed alla maggiore vivacità della concorrenza sul piano nazionale, internazionale ed intercontinentale.

Questa prima esigenza trasmette alla produzione un carattere di necessaria flessibilità: tutto il sistema produttivo deve assumere caratteristiche di crescente flessibilità e non solo per quanto attiene alla diversificazione dei prodotti, ma anche per i metodi di produzione ed i cicli di lavoro.

Per potere attuare questa condizione di flessibilità i «mezzi produttivi» devono integrarsi: non possono più costituire un assieme di macchine, adibite alla fabbricazione di uno stesso prodotto in grandissime quantità, con livelli

produttivi pressoché costanti, ma un «sistema di macchine e impianti» efficacemente collegati ed integrati con mezzi informatici, che operino in «tempo reale» per modificare — appena richieste — le caratteristiche del prodotto ed i volumi od i livelli produttivi.

L'integrazione coinvolge tutta la gamma delle attività produttive: dalla progettazione alla programmazione, dalla fabbricazione ai montaggi ed ai collaudi di qualità.

Il tutto, controllato da un sistema di monitoraggio che non soltanto informa sulle varie attività in corso, ma considera i dati rilevati nei vari punti del sistema produttivo quali «input» per intervenire e modificare — se occorre — l'andamento della produzione stessa.

Si è dunque di fronte ad una forte presenza di nuove tecnologie utilizzate con sistemi gestionali-manageriali anch'essi di nuova concezione.

Non è pensabile che si possa affrontare il problema della produzione «efficiente e concorrenziale» quale deve essere oggi, sul piano di un confronto teorico di valori fra le nuove tecnologie e i nuovi metodi gestionali: entrambi ed insieme devono concorrere al risultato, giacché certamente non sarebbe sufficiente il solo — anche se massiccio — apporto delle prime senza un forte impegno contestuale dei secondi.

Ne sta a conferma, proprio nei tempi attuali, la confrontazione fra il «modo di produrre» europeo, americano e giapponese.

E qui il riferimento alla industria automobilistica è particolarmente significativo: si noti che le nuove tecnologie produttive presentano livelli molto simili nelle tre aree, laddove sono le metodologie gestionali o manageriali a presentare — appunto — le maggiori differenziazioni.

Forse che i successi giapponesi dipendano più da una gestione efficace, che da superiori presenze di nuove tecnologie nelle fabbricazioni?

Una risposta molto articolata e complessa consentirebbe, attraverso una analisi attentamente accurata, di trarre valide conseguenze ed interventi correttivi nelle situazioni di criticità che rappresentano l'assillante problema dell'industria di oggi.

Il citato riferimento all'industria dell'auto è motivato e sottolineato da una molto approfondita analisi, compiuta fra il 1986 ed il 1990, dal Massachussets Institute of Technology — MIT —

(\*) Ordinario di Tecnologia meccanica, vice rettore per il Coordinamento dei rapporti internazionali, Politecnico di Torino.

nell'ambito di un esteso Progetto Internazionale, IMVP (International Motor Vehicle Programme).

Obiettivi del Progetto: fare il punto sulle diverse tecniche di produzione dell'auto attraverso un excursus storico-tecnologico dalla *produzione artigianale* a *produzione di massa* ed infine alla *produzione snella* (*lean production*, nella dizione anglosassone).

I dati sono stati raccolti in 90 stabilimenti di 17 Paesi, assumendo come riferimento il produttore dell'auto (final assembler) ossia quello che integra la progettazione: dai particolari ai componenti, al prodotto finale, coordinando i fornitori ed attuando – in via diretta – la più qualificante fase del montaggio e del collaudo finale, che immediatamente precede la consegna del prodotto.

Si può facilmente comprendere quale tremendo impegno rappresenti il coordinamento di circa 10.000 particolari raggruppati in un centinaio di componenti e sottogruppi, che costituiscono l'insieme di ogni autoveicolo e che devono convergere, al momento giusto, nella quantità e nella sequenza richiesta sui punti predefiniti dei montaggi dapprima parziali (per il componente), per proseguire poi verso il punto di coordinamento dei componenti stessi e gradualmente costituire il prodotto finito, lungo le linee automatiche dei montaggi finali.

### La produzione artigianale

La comparsa e la prima diffusione dell'autoveicolo hanno conosciuto all'origine il tipo di produzione artigianale propria degli albori del secolo: veniva attuata in una miriade di officine, attirate dalla grande avventura del mezzo semovente, sostanzialmente disponendo di validi operai e tecnici specializzati (si tenga conto che la precisione dei particolari era allora alquanto approssimata, talché occorreva sempre intervenire con aggiustaggi per poter montare le parti fra loro). Questa necessità, oltre a richiedere un lungo e delicato lavoro per esperti, non consentiva nella sostanza di ottenere prodotti realmente uguali. Il montaggio delle auto Ford, nel 1903, era di fatto eseguito su banchi di lavoro, dove sovente operava un montatore unico.

Risulta che nel 1908 il ciclo di lavoro di un montatore ammontava a 514 min (quasi 9 ore): ogni operaio assemblava una parte consistente dell'auto, prima di trasferirsi al banco successivo. Fu pertanto considerato un rilevante progresso la decisione di fare arrivare tutti i pezzi alla postazione di montaggio, anziché richiede-

re al montatore di andarseli a prendere personalmente.

In sostanza, la produzione artigianale era caratterizzata dai seguenti fattori:

- manodopera altamente specializzata per progettazione, lavorazioni e montaggi;
- strutture molto decentrate, anche se ubicate nella stessa città: i pezzi provenivano da piccole officine meccaniche più o meno disseminate nell'intorno;
- macchine utensili utilizzate di tipo «universale», ossia multiuso (e, sotto tale aspetto, certamente flessibili);
- livello quantitativo della produzione necessariamente ridotto (un migliaio di autoveicoli all'anno).

### La produzione di massa

L'industria dell'auto conobbe il passaggio dallo stadio artigianale alla produzione di massa dopo la prima guerra mondiale.

Risale però al 1908 – come dianzi osservato – una concezione già più evoluta (il Modello T della Ford), che teneva presenti due obiettivi: auto progettata in funzione sia delle esigenze di produzione, sia di una facile utilizzazione.

Il concetto base per la produzione di massa non era tuttavia la linea di montaggio in movimento (od a flusso continuo), bensì *l'intercambiabilità completa dei pezzi e la semplicità del loro accoppiamento*.

Si pervenne a queste condizioni per l'apporto di macchine utensili divenute più precise e, soprattutto, poste in grado di lavorare pezzi pretemprati (il che comprova, già in allora, l'intreccio proficuo di progressi tecnici fra mezzi di fabbricazione e pezzi da lavorare).

Si aggiunga la brillante idea di imporre che un medesimo sistema di calibratura fosse utilizzato lungo l'intero processo produttivo.

Con queste premesse, Ford diede avvio ad una nuova fase: assegnare al montatore una mansione unica e farlo muovere da vettura a vettura.

Nel 1913, subito prima dell'introduzione della «linea di montaggio mobile», il ciclo di lavoro corrispondente alle prestazioni del singolo montatore medio della Ford era stato ridotto dai 514 min a 2,3 min.

Con la linea di montaggio in movimento (1913) nel nuovo Stabilimento Ford di Highland Park a Detroit, il suddetto ciclo di lavoro/montatore fu ridotto ulteriormente a 1,19 min (la differenza con i 2,3 min precedenti essendo praticamente dovuta al risparmio di tempo dell'operaio, che poteva stare fermo nella pro-

pria postazione anziché doversi muovere fra banchi di lavoro successivi).

Si constatò che, con queste modalità e con il maggiore numero di veicoli prodotti, minore risultava il costo per veicolo: Ford produsse 2 milioni di vetture/anno e ridusse di 2/3 il prezzo sul mercato.

Le caratteristiche della produzione di massa si possono così riassumere:

- l'intercambiabilità del pezzo e dell'operaio;
- l'intercambiabilità dell'operaio conseguente alla non richiesta specializzazione (gli si affida una singola operazione, semplice e breve);
- la divisione o parcellizzazione del lavoro.

Si tenga presente che al montatore non era richiesta alcuna partecipazione al ciclo produttivo, che non fosse la semplice esecuzione dell'operazione affidatagli.

In parallelo vennero composte squadre di operai, limitatamente specializzati per il «lavoro indiretto»: riparatori, ispettori per la qualità, ritoccati, manutentori etc. Furono inoltre introdotti i «tecnicisti del lavoro», realmente specializzati per le operazioni di assemblaggio, di lavorazione, per la costruzione delle attrezzature etc.

L'era della produzione di massa si è estesa e permane tuttora, con tutte le caratterizzazioni, dell'evoluzione tecnologica, dell'introduzione della elettronica e dell'apparizione della informatica: è un lungo percorso storico, il cui arco appoggia i punti estremi dall'inizio degli anni '20 al finire degli anni '80.

## La produzione snella

Si ritiene che gli artefici di quella che potrebbe presentarsi come la nuova era, la terza via dopo la produzione artigianale e la produzione di massa, siano stati Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, ideatori della cosiddetta «produzione snella».

Eiji Toyoda compì un «pellegrinaggio industriale» nel 1950 agli Stabilimenti di River Rouge della Ford a Detroit, ripetendo un precedente «pellegrinaggio» di uno zio risalente al 1929.

La Toyota Motor Co. nacque nel 1937 (la denominazione Toyota sostituì il nome Toyoda, che in giapponese significa «fertile risaia» e che non sembrava commercialmente idoneo).

Eiji Toyoda nel 1950 esaminò dunque a Detroit le caratteristiche della produzione di massa (si noti che a quel tempo la produzione della Ford era di 7000 vetture/giorno; la Toyota aveva prodotto dalla fondazione al 1950, 2.685 vetture in tutto).

La riflessione comparata della visita a Detroit portò Toyoda ed Ohno ad una netta conclusio-

ne: la produzione di massa di stile fordiano in Giappone non avrebbe mai funzionato.

Alla base dell'idea di produzione snella (detta all'inizio «produzione Toyota»), stavano vincoli precisi: risorse assai limitate del Giappone, che usciva dalla guerra con una economia devastata e pertanto con la necessità di «usare meno di tutto»: meno lavoro umano, minor tempo per sviluppare i prodotti nuovi, minori stock, minore superficie di stabilimento (la strettezza di spazio è connaturata al modo di pensare giapponese).

È noto che la «produzione artigianale» era caratterizzata dall'elevato fabbisogno di manodopera di alta professionalità, da uno hardware tecnicamente semplice seppure utilizzabile in maniera flessibile, da una fabbricazione a costi estremamente elevati che avveniva quasi su diretta richiesta del consumatore.

Nella «produzione di massa» – come già osservato – la specializzazione della maggior parte dei lavoratori è scarsa, mentre la dotazione di hardware produttivo di alto ed altissimo livello tecnologico è elevata; inoltre le macchine svolgono in genere una sola funzione, con scarsissima flessibilità.

Quanto alle linee di montaggio, nella produzione di massa sono valutate in funzione del *rendimento* (ossia il numero di automobili prodotte rispetto al previsto) e della *qualità finale* (ossia dopo riparazioni e ritocchi dei pezzi difettosi o dei montaggi non validi).

Il «must» nella produzione di massa consiste nel non fermare mai la linea di montaggio; le prescrizioni si recuperano con i ritocchi finali.

Secondo Ohno, questa procedura è fonte di ingiustificati e costosi sprechi: egli decise di riorganizzare il processo, costituendo squadre di operai con un caposquadra; a ciascuna squadra assegnare una fase di montaggio, e ad ogni montatore richiedere di collaborare per eseguire al meglio le operazioni occorrenti.

In seguito alle squadre furono anche affidati i compiti delle piccole riparazioni di attrezzature e utensili, ecc.

Nel caso di errori la linea – secondo Ohno – si sarebbe dovuta fermare subito e tutta la squadra sarebbe dovuta intervenire per rimediare velocemente, evitando che il pezzo difettoso proseguisse, per poi dover essere ripreso alla fine della linea, con l'intervento di lavorazioni correttive. Nasceva il nuovo assioma: la *qualità subito*.

Constatato alla Toyota il funzionamento valido del metodo si può asserire che cominciava a nascere la *produzione snella*.

Ohno allora chiese agli operai di fornire suggerimenti pratici per migliorare il lavoro e la

qualità: facevano la loro apparizione i primi *circoli della qualità*.

L'obiettivo perseguito di produrre momento per momento in modo ineccepibile i prodotti, nelle necessarie quantità e nel tempo opportuno richiesto dal mercato, riusciva a garantire un flusso continuo che non conosce interruzioni lungo l'intero percorso: dalla materia prima o dai semilavorati (coinvolgendo i fornitori) sino al momento della spedizione e della consegna. In altri termini, per realizzare tali condizioni, si progettano il processo produttivo e l'intero sistema, in modo tale che si possa produrre per piccoli lotti (all'estremo limite, il lotto ideale potrebbe essere l'unità), rendendo il flusso più scorrevole e tale da poter concludere rapidamente, appena i segnali del mercato preannuncino una fase di declino di un modello, o di recessione: questi sono il *kanban* (*Just in time*) ed il *kaizen* che considera anche il flusso continuo di piccoli miglioramenti al prodotto ed al sistema produttivo.

La «sistematizzazione» delle molte tecnologie produttive ed organizzative dà quindi luogo alla «produzione snella», che potrebbe essere considerata come una combinazione e porsi alla confluenza delle due tipologie precedenti di produzione «artigianale» e di «massa», ottimizzando i due parametri fondamentali: la flessibilità della prima ed i bassi costi della seconda.

L'automazione, asservita dalla versatilità di una informatica distribuita che rileva, elabora, governa, memorizza, e la facilità dei montaggi, accelerati dall'introduzione delle tecnologie più recenti, si sono rivelate essenziali, ma per sfruttare interamente il loro potenziale occorre ripensare e strutturare una gestione di prim'ordine nella globalità dell'azienda e non solo nei reparti di produzione. Ci si domanda quindi quale sia il modo più proprio per introdurre ed applicare gli elementi caratterizzanti della organizzazione snella. In particolare: *il trasferimento del massimo numero di mansioni e di responsabilità ai lavoratori, i quali contribuiscono concretamente a conferire valori tecnologici (e dunque economici) aggiunti ai prodotti lungo l'intero percorso del loro divenire attraverso i progradienti assemblaggi, definendo un ordinato sistema per l'individuazione dei difetti e l'identificazione della vera origine di ogni problema rilevato.*

### Il Ciclo produttivo integrato: progettazione/produzione

Ancora rifacendoci al Progetto IMVP già citato, uno studio specifico sulla delicata problematica della progettazione rilevò – dall'esame di 29

progetti di sviluppo «inediti», che avrebbero raggiunto il mercato fra il 1983 ed il 1987 – come per una nuova autovettura giapponese occorsero circa 1,7 milioni di ore di progettazione, per un totale di 46 mesi dal momento del progetto iniziale alla consegna ai clienti. Analoghi progetti americani ed europei richiedevano per contro circa 3 milioni di ore di progettazione, per un totale di 60 mesi: una attestazione indiscutibile e concreta, che le tecniche adottate nello sviluppo snello di un prodotto riducono, al tempo stesso, lavoro e tempo di fabbricazione.

Un esame rivolto alle varie aree dei Paesi industrializzati nell'occidente conferma che l'attenzione si va peraltro concentrando sui problemi di progettazione e – con buone ragioni – sulla integrazione «progettazione/produzione», in funzione del neo-teorema «design for producibility» (progetto in funzione della fabbricabilità).

Un'ampia gamma di strumenti è stata fortunatamente messa a punto, per migliorare la qualità e l'efficienza della progettazione, mirando a specifiche applicazioni, e non trascurando la necessità di favorire una convergenza fra la conoscenza di base (*fundamental knowledge*) e le tecniche consolidate dalla prassi, sempre in vista d'una concezione globale di sistema integrato di produzione.

Questa esigenza è diventata il problema centrale per i progettisti, ai quali infatti si richiede di ideare i prodotti con tutti i loro componenti, in guisa che possa essere fabbricato nel modo più efficiente.

Si approfondiscono modalità e procedure per definire da quali lati si debba esplorare e penetrare in questa area, individuata come CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering), facendo confluire in un identico momento creativo progettazione e fabbricazione: ossia, il *progetto del prodotto* ed il *progetto del processo di fabbricazione*, quest'ultimo essendo connaturato con il primo.

È un punto di importanza basilare, dal quale dipenderanno per ogni azienda gli sviluppi a venire, ponendo che nel termine «progetto» siano inclusi cinque elementi:

- formulazione dei problemi;
- generazione delle idee;
- traduzione delle idee in progetti con scelta del più valido;
- implementazione della esecuzione;
- sviluppo delle strategie di mercato.

Nel concetto di fabbricabilità è necessariamente implicito il concetto di ottimizzazione fra i seguenti fattori:

- caratteristiche del progetto e realizzabilità delle operazioni per il processo produttivo;

- conseguimento della massima produttività;
- contenimento dei costi;
- rispetto degli attributi di qualità.

Nel quadro della criticità di percorso progetto-prodotto è evidente la stretta correlazione fra le soluzioni scelte nella fase di progettazione, con i costi di fabbricazione: è nelle prime fasi della progettazione, quando sono stati maturati soltanto costi per un 5% del costo totale, che sono già state prese decisioni le quali incidono sul 50% del costo del prodotto (J. Mason), a prescindere dalle immancabili varianti nel corso dello svolgimento, difficili da quantificare con ragionevole prevedibilità negli effetti sul costo complessivo, che alla fine risulta sensibilmente alterato.

L'ostacolo persistente sta nel rimuovere i vincoli dovuti a *barriere organizzative*, conseguenti alle perduranti *barriere culturali*.

Una analisi di tali barriere è allora indispensabile, in particolare per gli aspetti derivanti da tradizionali contrasti fra progettazione e produzione, che si protraggono più per convenzione che per fondatezza razionale.

Un valido ausilio per affrontare l'ottimizzazione dei processi di sviluppo proviene certamente dall'efficace interazione fra CAD, CAE e soft-ware ideati per gestire progettazioni flessibili, integrando fra loro fattori funzionali complessi.

Un nuovo modo di progettare deriva dalla recente concezione di «*simultaneous engineering*» o «*concurrent engineering*», traducibili in «*progettazione simultanea*» o «*progettazione convergente*».

Questa procedura va intesa come «definizione, studio e sviluppo di un prodotto, condotti simultaneamente con lo studio e lo sviluppo dell'equipaggiamento occorrente per realizzarlo».

L'idea di un «giuoco di squadra» fra progettisti, uomini della produzione, venditori ed utilizzatori non è nuova. Tuttavia tale procedura è avanzata lentamente, nonostante il fatto che la vita del prodotto risulti abbreviata, ed in un clima di competitività aggressiva. Un approccio integrato invece (che consenta al progetto di essere aggiornato e perfezionato in «tempo reale» con una interazione immediata con il processo produttivo) presenta aspetti di sicuro ed attuale interesse.

È altresì chiara l'importante funzione che può essere svolta a questi fini dalle banche dati, per la rapidità con la quale possono rendere disponibile al progettista il materiale di archivio, sempre utile per semplificare e normalizzare i prodotti, oltre che per la disponibilità di cicli di lavorazione già attuati, tipi e caratteristiche delle macchine, attrezzature e utensili.

Un sensibilissimo passo avanti nella banche dati è costituito dai «sistemi esperti» che consentono di disporre dei dati non soltanto come insiemi di elenchi, ma con precise valutazioni interpretative, le quali facilitano ed abbreviano l'iter di progetto-programma-produzione.

La terna di attività sopra proposte può essere affrontata con i già ampiamente attuati collegamenti fra CAD e CAM (Computer Aided Manufacturing).

Le informazioni di progetto relative ad un particolare o ad un prodotto sono generate e mantenute elettronicamente nel sistema CAD; le operazioni di molte macchine utensili o centri di lavorazione sono eseguite sotto controllo elettronico (CNC).

Si va consolidando la possibilità di usare il computer per generare informazioni non soltanto destinate alla progettazione, ma altresì per controllare il processo di produzione, con risparmio di materiali, riduzione dei tempi di attesa, miglioramenti della qualità, rispetto dei termini di consegna.

La comparsa del CAD a costi largamente accessibili ed anche su Personal Computer ha favorito l'amplificazione dell'utenza, dapprima con la possibilità di realizzare obiettivi, quali disegni a 2D, (per i quali sono sufficienti software relativamente semplici), in via di rapida estensione al 3D (tridimensionale).

Contemporaneamente si intensificano le didattiche di addestramento per utilizzatori ed ancor più per programmati, con particolare vantaggio di aziende medie e piccole, aventi capacità di tecnologie avanzate ed oggi bene allineate su questa qualificante frontiera informatica.

Un esempio, a chiarimento del procedimento di «*simultaneous engineering*», sta nella metodologia per lo sviluppo degli stampi.

Si prenda il caso di uno stampo per pannelli di carrozzeria.

Nella produzione di massa si attende che tutti i dati e i disegni del particolare da produrre siano completati; indi viene ordinato al «reparto produzione stampi» di predisporre i blocchi metallici per ricavarne gli stampi, successivamente lavorati sulle macchine specifiche alle quali sono richieste molte operazioni inframmezzate da notevoli tempi di attese (il tempo fra l'ordine di un nuovo gruppo di stampi ed il momento di inizio del lavoro di stampaggio per pannelli è calcolato in circa 2 anni).

Per converso, i «produttori snelli» cominciano la produzione degli stampi nello stesso momento in cui inizia la progettazione della scocca, in quanto è imposto il più stretto contatto fra gli uni e gli altri.

## Confronti fra risultati di produzioni: di massa e snella

I rilievi ottenuti dagli esperti del già ricordato Progetto IMVP, attraverso analitiche osservazioni in alcuni stabilimenti ritenuti particolarmente significativi, esprimono in forma quantitativa alcuni risultati.

Occorre premettere che le osservazioni degli esperti suddetti sono relative a Stabilimenti USA (capitale americano nell'America del Nord "USA/NA"), a Stabilimenti giapponesi

(capitale giapponese in Giappone "G/G"), a Stabilimenti in USA (capitale giapponese in USA "G/NA"), a Stabilimenti europei (capitale europeo in Europa "E/E") a stabilimenti in Europa (capitale americano e giapponese in Europa "USA/G/E") ed a Stabilimenti in Paesi di nuova industrializzazione (Non Industrialized Country "NIC").

Il primo confronto riguarda tre stabilimenti *tipo*: Framingham della General Motors in USA, Takaoka della Toyota in Giappone; NUMMI (New United Motor Manufacturing Inc.) a Fre-

Tabella 1 - Confronti fra gli stabilimenti: Framingham (General Motors), Takaoka (Toyota), Nummi di Fremont (Usa) (Joint Venture G.M. - Toyota)

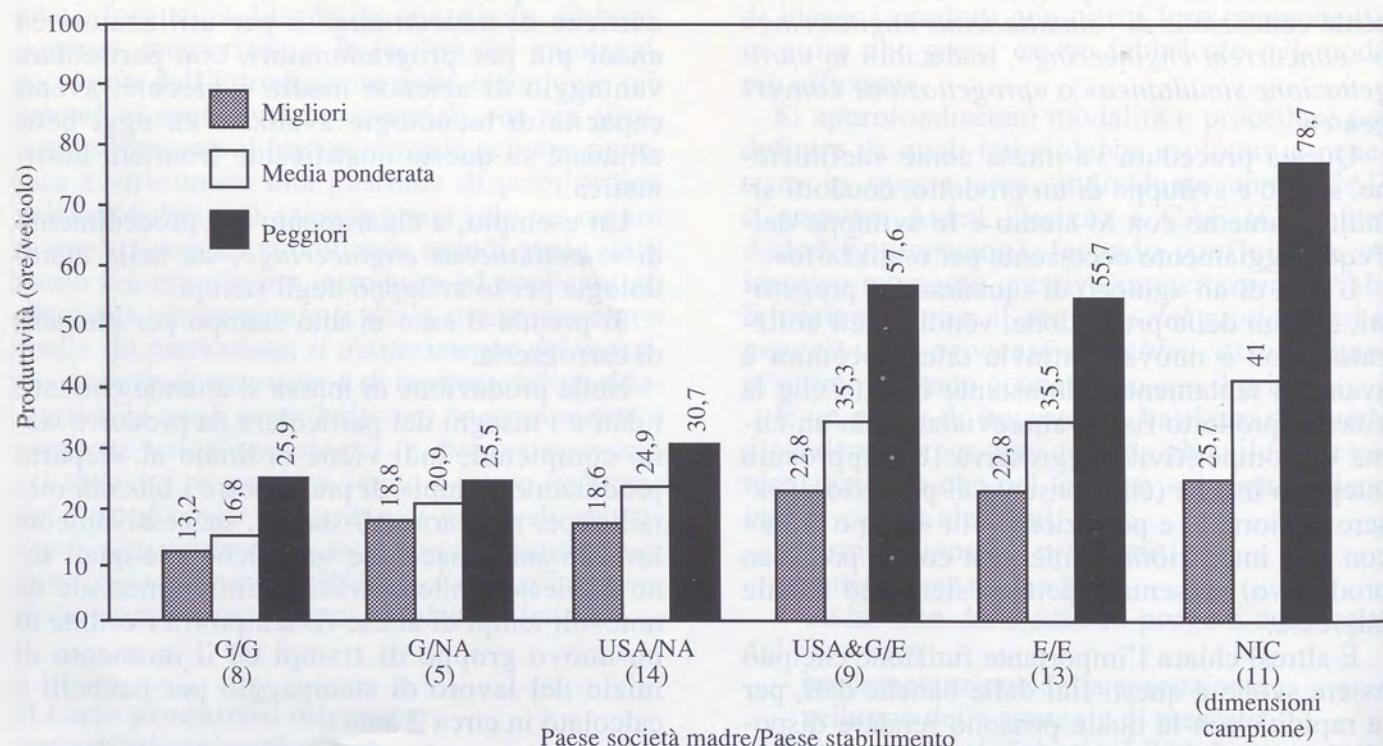
	General Motors	Toyota	Nummi
Ore di assemblaggio per auto*	31	16	19
Difetti di assemblaggio/100 auto**	130	45	45
Spazio di assemblaggio/auto (mq/veicolo tipo/anno)	0.75	0.45	0.65
Scorte di pezzi (media per i particolari principali)	2 settimane	2 ore	2 giorni

\* Le ore complessive di assemblaggio per veicolo sono calcolate dividendo le ore totali di manodopera per il numero totale di automobili prodotte.

\*\* Calcolati in base all'indagine J.D. Power Initial Quality Survey (1987).

da: IMVP World Assembly Plant Survey (1987)

Figura 1 - Produttività degli impianti di assemblaggio produttori di grandi serie (1989).



Nota: NA = Nord America, G = Giappone, E = Europa.

Per i produttori americani i valori riguardano le 3 grandi case: Ford, G.M. e Crysler; per gli europei: Fiat, PSA, Renault, Volkswagen; per i giapponesi tutte le società.

da: IMVP World Assembly Plant Survey

mont in California costituito quale joint venture fra Toyota e G.M.

La tabella 1 riporta alcuni parametri atti ad individuare l'efficienza nei tre stabilimenti.

La figura 1 considera i confronti fra valori medi di efficienza calcolati per tutti gli stabilimenti oggetto della indagine ripartendo le medie in tre fasce: i migliori, i peggiori e la media ponderata fra tutti.

La figura 2 mette a confronto valori medi di qualità, calcolati per tutti gli stabilimenti, oggetto dall'indagine con le stesse notazioni della figura precedente.

La tabella 2 riporta una sintesi delle caratteristiche relative agli stabilimenti di assemblaggio finale di produttori di grandi serie, con i valori medi per stabilimenti suddivisi per area geografica.

Da un'analisi dei dati è possibile, nel confronto, rilevare i numerosi punti a favore dei produttori giapponesi.

## La produzione snella ed il lavoro umano

Si è già ricordato e sottolineato come la pro-

duzione artigianale fosse caratterizzata dall'elevato fabbisogno di mano d'opera dotata di grande esperienza, e quindi di professionalità per un tipo di lavoro responsabilizzante e coinvolgente.

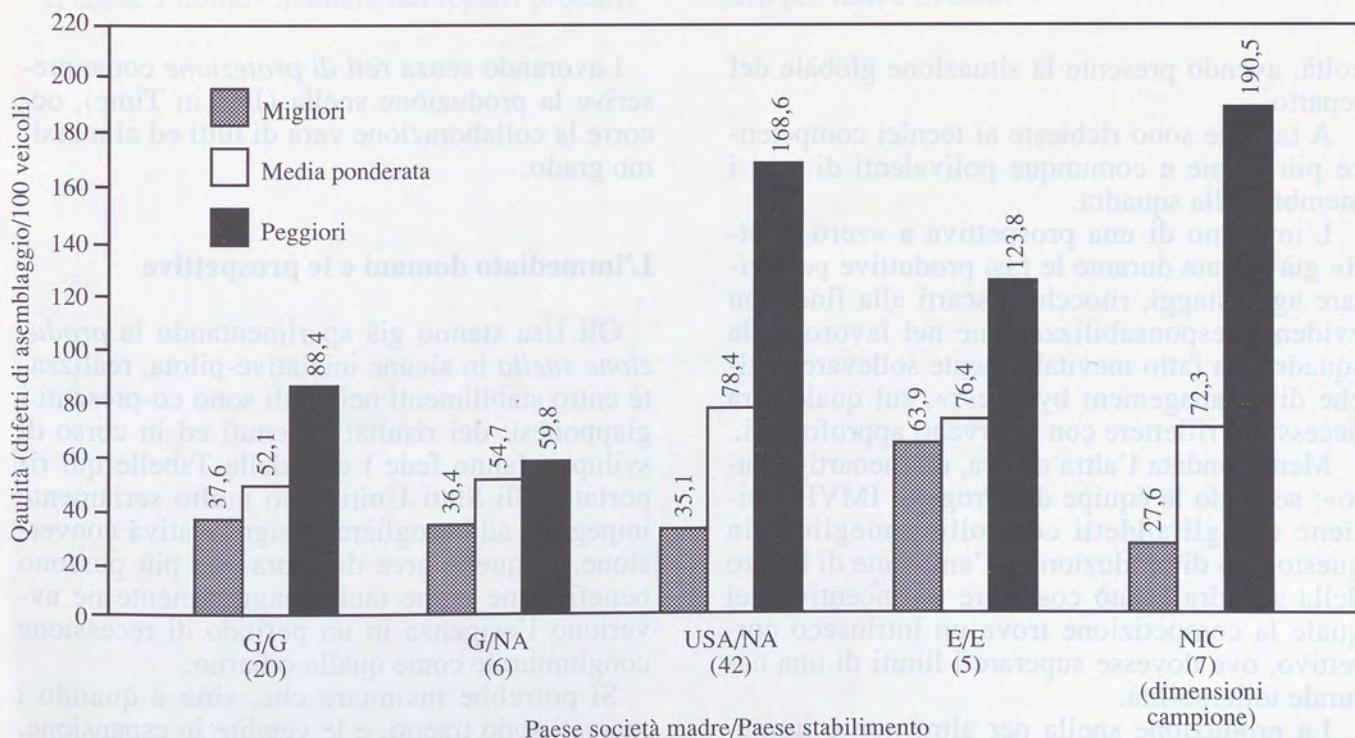
Basti pensare al ciclo di operazioni affidato ad un medesimo montatore, con durata di svariate ore.

Sulla produzione di massa esiste una letteratura vasta e altrettanto poliedrica, con un costante e motivato leit motiv sulla monotonia di operazioni che hanno durata di poche decine di secondi (parcellizzazione) e che non possono coinvolgere coloro che le svolgono. Non si ritiene qui utile ripetere quanto già largamente risaputo.

È invece opportuno esporre qualche considerazione comparativa sul tipo di lavoro della *produzione snella*.

Una prima caratteristica è da ravvisare nel concetto di lavoro di squadra, che richiede a ciascuno dei membri un impegno solidale e di capacità tecnica nel caso si richieda di sostituire un altro componente della squadra; inoltre, è da attivare una informazione continua sull'andamento della produzione monitorizzata con mezzi visivi efficaci, affinché ognuno possa reagire sollecitamente a problemi od insorgenti diffi-

Figura 2 - Qualità degli impianti di assemblaggio produttori di grandi serie (1989).



La qualità è espressa in numero di difetti per 100 veicoli imputabili all'impianto di assemblaggio, secondo quanto riferito dagli utenti nei primi 3 mesi di uso.

I dati si riferiscono unicamente alle auto vendute negli USA.

da: IMVP World Assembly Plant Survey  
(secondo la classificazione dei difetti per impianto di assemblaggio fornita dalla J.D. Power and Ass.)

Tabella 2 - Sintesi delle caratteristiche degli stabilimenti di assemblaggio di produttori di grandi serie (1989) (medie per stabilimenti suddivisi per area geografica)

	Aziende giapponesi in Giappone	Aziende giapponesi nell'America del nord	Aziende americane nell'America del nord	Aziende europee
<i>Prestazioni:</i>				
Produttività (ore/veicolo)	16,8	21,2	25,1	36,2
Qualità (difetti di assemblaggio/100 veicoli)	60,0	65,0	82,3	97,0
<i>Assetto:</i>				
Spazio (metri quadrati/veicoli/anno)	0,53	0,85	0,73	0,73
Area di ritocco (% dell'area di assemblaggio)	4,1	4,9	12,9	14,4
Scorte (numero giorni per 8 pezzi campione)	0,2	1,6	2,9	2,0
<i>Forza lavoro:</i>				
% della forza lavoro in squadre	69,3	71,3	17,3	0,6
Rotazione della manodopera (0 = nessuna, 4 = frequente)	3,0	2,7	0,9	1,9
Suggerimenti/dipendente	61,6	1,4	0,4	0,4
Numero di categorie d'impiego	11,9	8,7	67,1	14,8
Addestramento nuovi operai (ore)	380,3	370,0	46,4	173,3
Assenteismo	5,0	4,8	11,7	12,1
<i>Automazione:</i>				
Saldatura (% delle operazioni)	86,2	85,0	76,2	76,6
Verniciatura (% delle operazioni)	54,6	40,7	33,6	38,2
Assemblaggio (% delle operazioni)	1,7	1,1	1,2	3,1

Fonte: IMVP World Assembly Plant Survey, 1989 e J.D. Power Initial Quality Survey, 1989.

coltà, avendo presente la situazione globale del reparto.

A tal fine sono richieste ai tecnici competenze più ampie e comunque polivalenti di tutti i membri della squadra.

L'impegno di una prospettiva a «zero difetti» già attuata durante le fasi produttive per evitare aggiustaggi, ritocchi o scarti alla fine, con evidente responsabilizzazione nel lavoro della squadra, ha fatto inevitabilmente sollevare critiche di «management by stress», sul quale sarà necessario riflettere con interventi approfonditi.

Meno fondata l'altra critica, di «neoartigianato»; secondo la équipe del Progetto IMVP si ritiene che gli addetti controllino meglio – in questo tipo di produzione – l'ambiente di lavoro della squadra e può costituire un incentivo nel quale la competizione trova un intrinseco correttivo, ove dovesse superare i limiti di una naturale tollerabilità.

La produzione snella per altro non è immune da rischi; è un tipo di produzione «fragile», in quanto mancano tutte le (costose!) scorte di sicurezza, che costituiscono *reti di protezione* nella produzione di massa, quando si verificano ritardi, errori, disgradi.

Lavorando senza *reti di protezione* come prescrive la produzione snella (Just in Time), occorre la collaborazione vera di tutti ed al massimo grado.

### L'immediato domani e le prospettive

Gli Usa stanno già sperimentando la *produzione snella* in alcune iniziative-pilota, realizzate entro stabilimenti nei quali sono co-presenti i giapponesi: dei risultati ottenuti ed in corso di sviluppo fanno fede i dati delle Tabelle qui riportate. Gli Stati Uniti sono molto seriamente impegnati ad accogliere la significativa conversione, in quelle aree di punta che più possono beneficiarne e che tanto maggiormente ne avvertono l'esigenza in un periodo di recessione congiunturale come quello odierno.

Si potrebbe insinuare che, sino a quando i mercati sono traenti, e le vendite in espansione, si pensa solo a produrre e non a cambiare metodo. Ma quando l'inversione di tendenza, dopo i primi segnali premonitori, si accentua e si aggrava, allora una valutazione critica retrospettiva si impone e si esplorano – magari drammatici-

camente – le soluzioni, anche quelle che comportano mutamenti sostanziali di principi, di strategie, di trasformazioni alle radici del pensare e dell'agire.

La «produzione snella», con gli adattamenti applicativi richiesti dagli environments sociali ed economici peculiari in cui si intende adottarla, appare anche per l'Europa come la sola efficace alternativa, a sostegno della quale esemplificamente stanno metodologie e successi attestati dal Giappone. Non si deve mai dimenticare che ciclicamente il mercato attraversa stadi di saturazione che neanche la più intensa pubblicità consumistica può infrangere e pone inoltre limiti invalicabili di livello ai prezzi, giacché il parco dei consumatori non può salire più di tanto in base alle proprie disponibilità finanziarie individuali e familiari.

Non resta che contenere i costi, abbassarli, farli rientrare nei livelli dell'accettabilità media.

La problematica è tecnica (*hardware*), è gestionale (*software*), è umana (*humanware*).

Umana: nel coinvolgimento globale del termine.

Non è solo l'uomo che – ad alto livello intellettuale e scientifico – si pone al di sopra dei mezzi informatici, perché ne è l'inventore, perché li programma, perché li modifica e li potenzia, perché ne pilota il comportamento, perché ne guida l'evoluzione.

E anche l'uomo chiamato nei reparti produtti-

vi ad eseguire, che si avvale di intelligenza, esperienza, perizia, ed è responsabile quanto basta per capire che il fattore umano è tutto, meno che una «variabile indipendente».

Al contrario è, e resta, co-protagonista del progredire e dell'avere successo. È e resta validissima la consapevolezza (diffusa a livello individuale e condivisa solidalmente da tutti, non sotto forma di costrizione, ma di partecipazione voluta ed apprezzata) che il ruolo della presenza e dell'attività umana è essenziale fattore di progresso, è la chiave di volta della conversione nel panorama produttivo industriale.

Le prospettive dovranno muoversi in questa direzione. Le tecnologie sono strumenti versatili, e si inclinano a fornire risposte – in termini di materiali, mezzi, processi – sicuramente idonee.

L'elettronica e l'informatica, nei loro contenuti immateriali, assicurano un ausilio agilissimo e velocissimo.

È il gestire e il corrispondere, che vanno ripensati e posti in essere quanto più rapidamente possibile.

*Manpower*: manodopera, ma anche «potere dell'uomo», che si ritrova nelle mani, ovunque presti il proprio lavoro, l'impegno delle soluzioni e la configurazione del futuro aziendale.

Un futuro non solo industriale, poiché è il futuro per tutti e di tutti.

# Centri e sistemi di lavorazione flessibili e loro monitoraggio

Giorgio CONTE (\*)

Il centro di lavoro a CN, diffusosi nel mercato europeo a partire dagli anni '60, ha rappresentato senza dubbio una rivoluzione tecnologica, il cui impatto ha modificato profondamente il modo di produrre.

L'introduzione del CN e del centro di lavoro in particolare ha avuto infatti una duplice conseguenza: da un lato ha migliorato l'efficienza tecnologica, grazie alla realizzazione di una macchina che raggruppava in sé le funzioni di altre e garantiva la flessibilità totale; dall'altro ha trasferito dall'officina agli uffici tecnici la realizzazione della qualità finale, che dipende in tal modo dal progetto e dalla programmazione piuttosto che dall'abilità manuale dell'operatore, come avveniva in passato.

Il centro di lavoro si è andato evolvendo, sia a livello meccanico che a livello di CN, arricchendo in modo significativo prestazioni, affidabilità e flessibilità.

## Centro di lavoro

Si illustra brevemente un centro di lavoro dell'ultima generazione (fig. 1) — nel caso specifico, il modello Mandelli 7 — avente le sottolineate specifiche tecniche di base:

Pallet	ISO 630x800 mm.
Corse di lavoro	XYZ 1000x800x550 mm.
Potenza continuativa sul mandrino	30 Kw

Caratteristiche salienti di un moderno centro di lavoro sono motori brushless su assi e mandrino, elevate velocità di lavoro e di spostamento rapido sugli assi (accompagnate da elevate accelerazioni), ampia gamma di velocità sul mandrino, diverse configurazioni di testa (orizzontale, bidirezionale, tiltante continua), predisposizione per l'integrazione in un sistema flessibile di produzione, espandibilità modulare sia meccanica che elettronica.

## A) Espandibilità modulare meccanica

È rappresentata sinteticamente nella fig. 2, dove appaiono le diverse configurazioni del magazzino utensili semplice o doppio, nonché la possibilità di collegare il Centro di lavoro ad un multipallet bidirezionale o ad un tran-

spallet, realizzando in tal modo un modulo flessibile di produzione, che può lavorare nel terzo turno senza operatore.

Lo stesso centro di lavoro può essere inserito in un FMS (Flexible Manufacturing System), essendo predisposto sia al trasferimento automatico degli utensili dal proprio magazzino alla tool room, sia al collegamento con il sistema di trasporto automatico, che movimenta i pallet.

## B) Espandibilità modulare elettronica

Una unità di governo (Plasma) è in grado di gestire il centro di lavoro unitamente al multipallet anche nel turno notturno senza operatore, assicurando le seguenti prestazioni indispensabili per la sicurezza del sistema:

b-1) *Tool life* - provvede a cambiare automaticamente l'utensile in funzione della sua vita programmata.

b-2) *Power monitor* - misura la potenza assorbita dal mandrino e provvede di conseguenza ad adeguare la velocità di avanzamento alle mutate condizioni (ad esempio variazioni del sovrametallo o della durezza del materiale).

b-3) *Presenza utensili* - controlla a mezzo raggio laser la presenza degli utensili, in particolare punte e maschi, comandando l'arresto del centro di lavoro in caso di utensile mancante.

b-4) *Probe di misura* - esegue misure nel corso delle lavorazioni su quote significative, determina la centratura automatica del pezzo

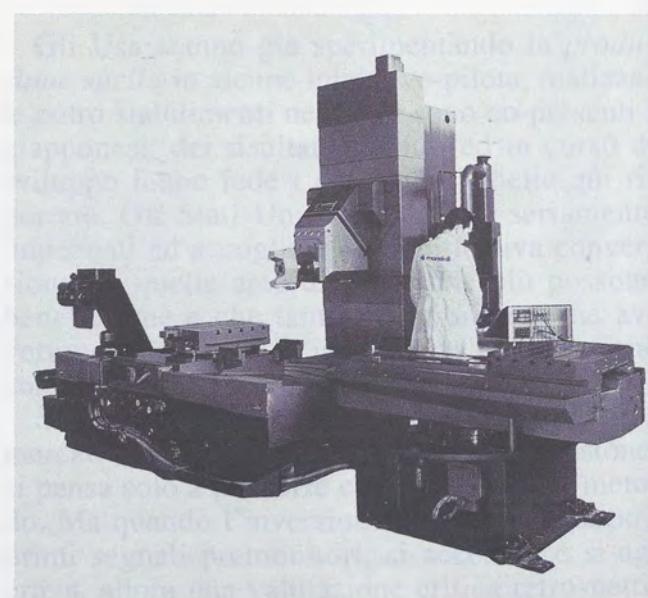


Fig. 1 - Centro di lavoro.

(\*) Vice presidente Mandelli SpA.

all'inizio della lavorazione, controlla i riferimenti geometrici di lavorazione.

## Flexible Manufacturing System

Gli anni '70 sono stati gli anni della diffusione e del perfezionamento del CN e del centro di lavoro in particolare, che sostituiva massicciamente le macchine tradizionali, grazie alla carta vincente della flessibilità, determinante in un mercato in evoluzione.

Il successivo step innovativo risale all'inizio degli anni '80, quando hanno fatto la loro comparsa i primi FMS.

Il centro di lavoro era infatti insuperabile come flessibilità, ma la necessità di eseguire gran parte delle lavorazioni con utensile singolo limitava la sua convenienza alle piccole serie, lasciando scoperto il settore delle medie produzioni, dove spesso si era costretti a ricorrere a soluzioni rigide (transfer, macchine speciali monoscopo) che rendevano costose e difficili, se non impossibili, le modifiche richieste dalle esigenze di mercato.

Il centro di lavoro «stand alone» inoltre non risolveva completamente il problema della logistica, inteso come razionalizzazione dell'intero ciclo produttivo, dall'ingresso dei componenti grezzi all'uscita del prodotto finito.

Queste limitazioni cominciarono ad essere avvertite nei primi anni '80, quando la concorrenza esasperata e la globalizzazione dei merca-

ti hanno ridotto la vita dei prodotti, richiedendo tempi più brevi di introduzione sul mercato e varianti più frequenti al modello base.

Tale esigenza del mercato ha spinto l'industria a studiare un sistema produttivo che abbinasse l'alta produttività alla flessibilità, o che, in termini più empirici, realizzasse il miglior compromesso fra la transfer ed il centro di lavoro.

La risposta a questa esigenza è stato l'FMS, che rappresenta la soluzione più completa del problema della flessibilità.

L'FMS è caratterizzato dalla presenza di un certo numero di centri di lavoro (ed eventualmente di altre macchine con CN), collegate da un sistema di trasporto automatico dei pallets; il tutto completato da stazioni di sosta e di carico/scarico dei pallets, apparecchiature ausiliarie (macchine di misura in line, lavatrici), movimentazione utensili fra centro di lavoro e tool room.

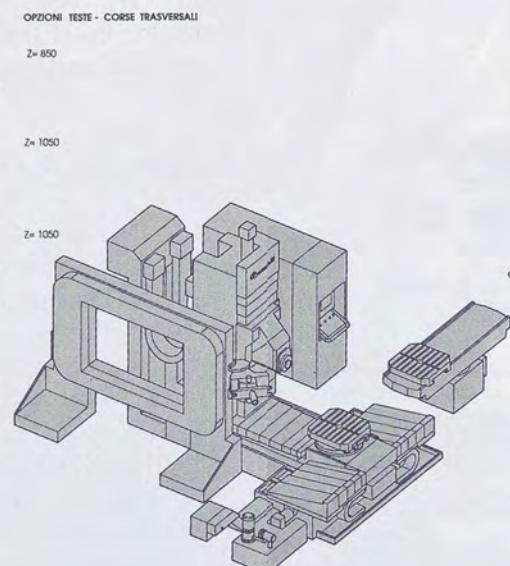
Uno — o più — host computer o supervisori impianto gestiscono l'intero sistema in termini di operatività delle macchine, ottimizzazione del carico, controllo della movimentazione, elaborazione di programmi alternativi, pianificazione della produzione, programmi statistici.

I vantaggi conseguenti all'introduzione di un FMS sono noti; sottolineando i principali:

1) massima flessibilità nel modificare l'output produttivo, per adeguare lo stesso il più rapidamente possibile alle richieste del mercato

2) riduzione dei magazzini dei pezzi grezzi e semilavorati

Le opzioni che realizzano la modularità



Le opzioni che realizzano la modularità

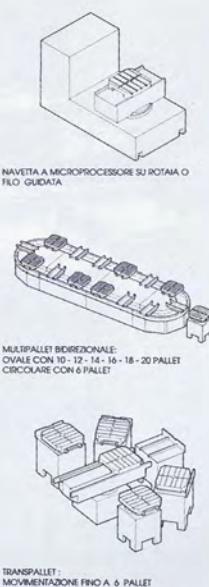


Fig. 2 - Espandibilità modulare meccanica.

- 3) riduzione dei costi di manodopera diretta ed indiretta
- 4) riduzione dei tempi di sosta del materiale in produzione
- 5) riduzione di attrezzature, maschere ed utensili
- 6) ottimizzazione del carico macchina e del flusso produttivo
- 7) riduzione dei tempi di produzione
- 8) possibilità di lavorare su tre turni, con il terzo turno non presidiato
- 9) riduzione dello spazio occupato
- 10) ritorno dell'investimento in tempi rapidi
- 11) miglioramento della qualità, particolarmente in termini di costanza della stessa.

La fig. 3 rappresenta schematicamente l'architettura dei principali moduli hardware del sistema; per quanto riguarda l'architettura software, i più importanti programmi applicativi residenti nell'host computer svolgono le seguenti funzioni:

a) *Gestione impianto*: coordina tutte le attività dell'FMS necessarie per realizzare il piano di produzione con la massima efficienza.

In particolare tali attività comprendono sia il controllo in real-time delle unità operatrici (centro di lavoro, sistemi di trasporto, magazzini automatici) sia il coordinamento delle attività umane legate al carico-scarico dei pezzi ed al riattrezzaggio del sistema.

b) *Gestione utensili*: consente la gestione in tempo reale di tutti gli utensili presenti nell'impianto fornendo tutte le informazioni sul loro stato (vita residua, dislocazione, condizioni) ed inviando automaticamente i dati caratteristici alle unità operatrici (correzioni, compensazioni).

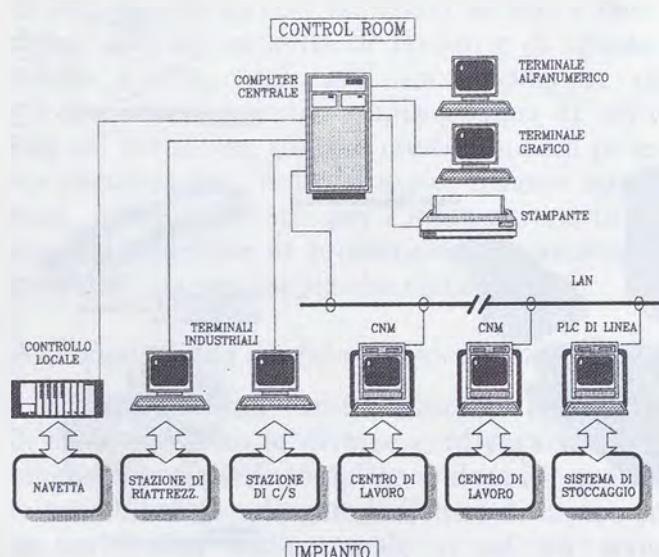


Fig. 3 - Principali moduli hardware del sistema.

c) *Gestione tool room*: fornisce all'operatore della tool room, per mezzo di appositi menu, tutte le informazioni-guida relative alle operazioni di montaggio, presetting ed ispezione degli utensili.

d) *Pianificatore strategico*: consente di verificare e determinare la fattibilità di nuovi mix produttivi, in particolare per quanto riguarda il dimensionamento delle risorse ed il bilanciamento della produzione richiesta.

e) *Pianificatore operativo*: verifica la fattibilità della produzione assegnata, in base ai vincoli dell'impianto e delle risorse disponibili; consente inoltre di elaborare programmi di simulazione o alternativi in funzione delle variazioni che possono aver luogo (modifiche del mix, disponibilità macchine ecc.).

f) *Reporting statistico*: fornisce in tempo reale tutti i dati statistici relativi allo sfruttamento dell'impianto ed alla sua efficienza.

g) *Manutenzione preventiva*: fornisce all'operatore addetto alla manutenzione una guida interattiva che consente di organizzare gli interventi necessari.

h) *Controllo qualità*: effettua il controllo «in process» delle qualità di produzione, grazie agli elementi trasmessi dalla macchina di misura integrata nel FMS; è inoltre possibile ottenere alle stazioni di carico/scarico la certificazione automatica della qualità del prodotto lavoro.

i) *Slide editor*: consente la creazione di immagini grafiche che possono essere visualizzate in ausilio ad alcune attività dell'operatore di impianto (riattrezzaggio montaggio, preparazione utensili ecc.).

j) *Inventory system*: assicura la gestione dei magazzini collegati all'attività degli FMS.

m) *Gestione trasporto utensili*: consente la gestione ed il trasporto degli utensili dalla tool room alle unità operatrici.

### Un esempio di richiamo: FMS Ferrari Auto

Un esempio significativo di FMS Mandelli è costituito dal sistema in funzione alla Ferrari Auto di Maranello e rappresentato schematicamente nella fig. 4.

L'FMS comprende principalmente:

n. 15 centri di lavoro Regent 1001 H, ATC 120 con magazzino a doppio scudo, 120 utensili, pallet ISO 800x800

n. 1 macchina cambio teste operatrici M3HE con magazzino teste a 24 posti

n. 4 navette

n. 3 aree di carico e scarico per un totale di 6 stazioni

n. 3 macchine di lavaggio

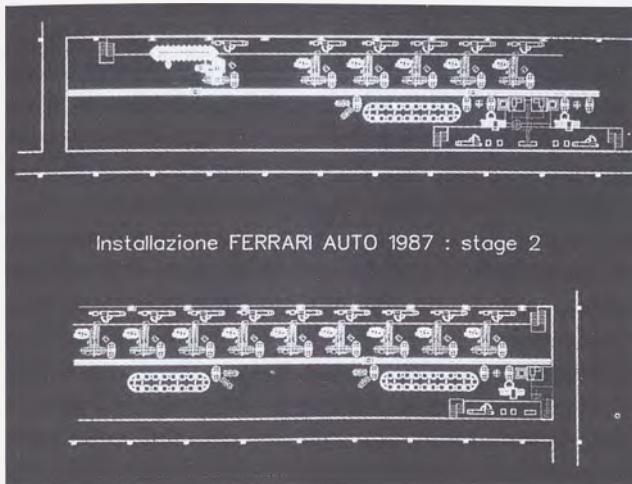


Fig. 4 - Un esempio di FMS Mandelli.

- n. 3 multipallets a 22 posti
- n. 3 macchine di misura in linea
- n. 1 controllo di linea CNM Plasma per gestione moduli di servizio
- n. 1 supervisore impianto VAX 750 (Master) e VAX 750 (Slave) collegati in cluster, con i compiti di:
- pianificazione tattica strategica della produzione

La Ferrari, utilizzando il software proprio del FMS, installato nel supervisore, può variare in ogni momento il mix produttivo giornaliero e abbinando priorità diverse ai singoli componenti può soddisfare le richieste della linea di assemblaggio.

Il sistema è utilizzato su tre turni (di cui il terzo non presidiato) sabato compreso, mentre la domenica è riservata alla manutenzione ordinaria e straordinaria; su di essa vengono lavorati i principali gruppi meccanici delle vetture Ferrari (basamento e testata motore, gruppo cambio-frizione e differenziale, supporti vari), che alimentano una produzione di oltre 4000 vetture/anno, suddivisa su quattro modelli base di motore.

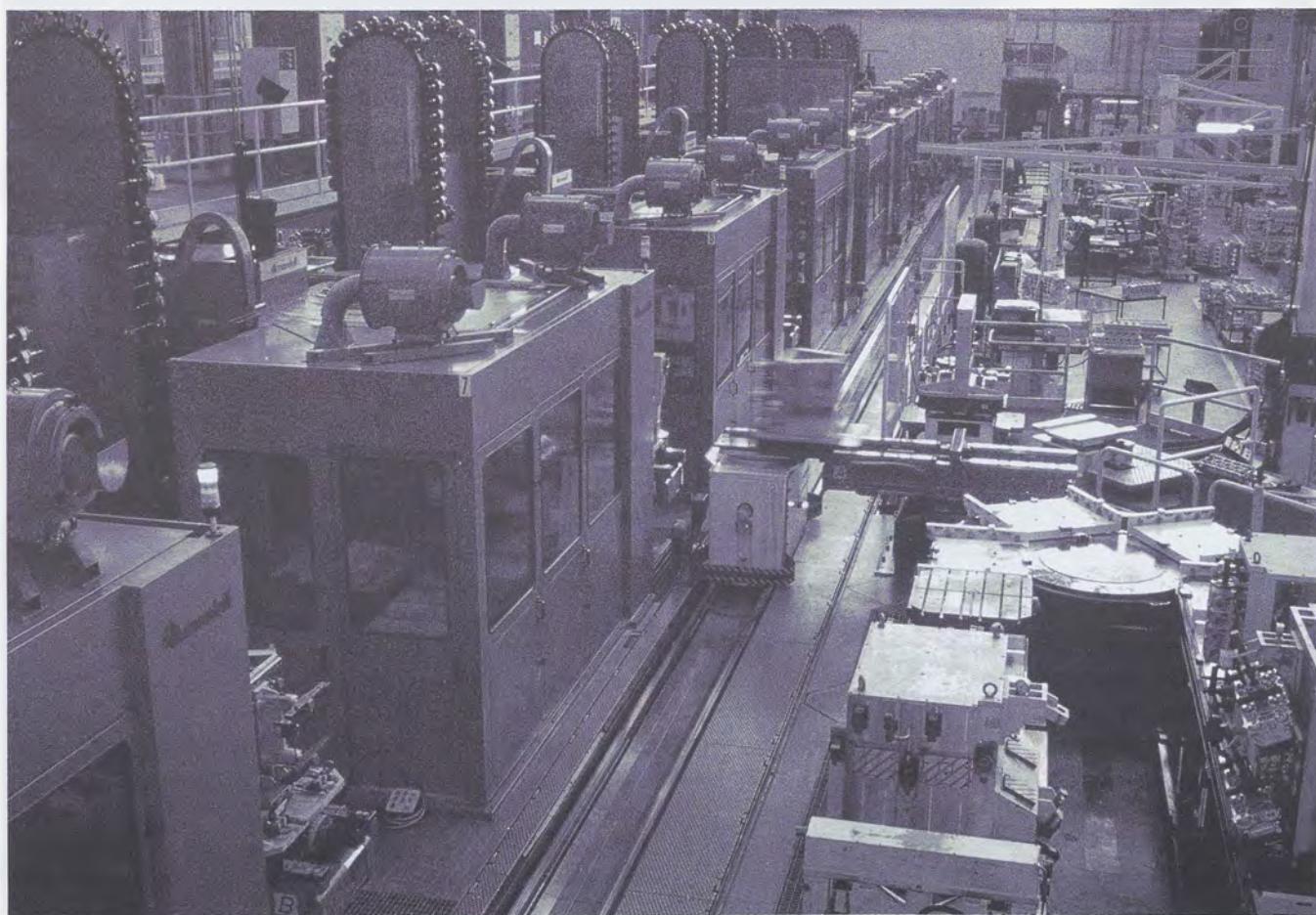


Fig. 5 - Vista del FMS.

Le Figg. 5-8 illustrano alcuni particolari dell'impianto, e precisamente:

- Figg. 5-6 viste del FMS
- Fig. 7 particolare componenti sul multi-pallet
- Fig. 8 particolare macchina di misura e lavatrice.

*C) Impatto FMS sull'organizzazione aziendale:  
evoluzione verso la fabbrica automatica ed  
il CIM*

I sistemi FMS si sono oggi lasciati alle spalle la fase pionieristica, e si sono diffusi nei principali settori produttivi: la Mandelli, ad es., si è inserita in modo lusinghiero in questo settore, proponendo un centinaio di FMS funzionanti presso le più importanti industrie europee ed americane, e guardando con attenzione all'evoluzione futura.

Sarebbe infatti riduttivo limitare l'impatto sulla struttura aziendale al solo aspetto tecnolo-

gico-produttivo: in realtà gli FMS rappresentano il primo passo verso la fabbrica automatica ed il CIM, ed interferiscono pesantemente sull'organizzazione dell'azienda. Non percorre questa strada in modo coerente significherebbe perdere una grossa opportunità.

La diffusione del CN in officina ha favorito l'introduzione dell'informatica e della micro-elettronica nei processi produttivi; parallelamente sono comparsi sistemi informatici per l'automatizzazione dei magazzini, la programmazione della produzione, la gestione di robot e di apparecchi di controllo.

Il concetto di FMS ha avuto il grosso merito di fare da catalizzatore a tutte queste iniziative, aprendo una finestra sull'evoluzione della fabbrica automatica.

Sfruttando infatti coerentemente le potenzialità si individuano due linee di evoluzione, ossia l'integrazione con altri sistemi in senso orizzontale e verticale.

Rientrano nella prima linea i collegamenti



Fig. 6 - Vista del FMS.

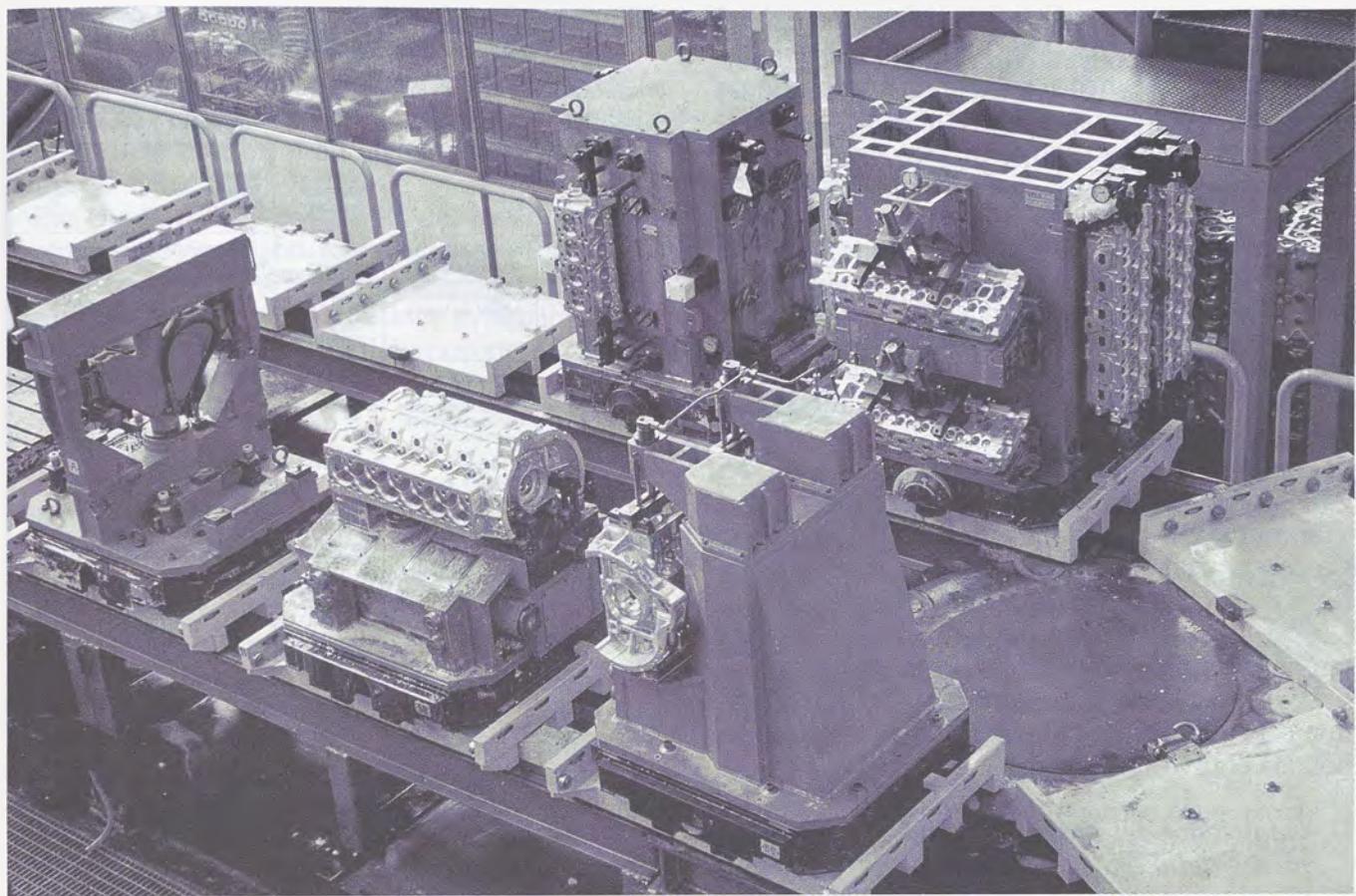


Fig. 7 - Particolare componenti sul multipallet.

con altri sistemi produttivi (ad esempio moduli di assemblaggio automatico, trattamenti termici), con moduli di misura, con i magazzini automatici dei grezzi e dei semilavorati.

Nella seconda linea di evoluzione si colloca la possibilità di integrare ogni FMS nel sistema informatico aziendale, utilizzando tecnologie informatiche di avanguardia, come i sistemi esperti e l'intelligenza artificiale.

Punti salienti di questa integrazione:

C-1) sistemi computerizzati CAD-CAM (Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing)

C-2) sistemi computerizzati di pianificazione dei processi produttivi CAPP (Computer Aided Process Planning)

Perseguendo nell'obiettivo di giungere alla fabbrica automatica, si interviene con moduli software nell'area progettuativa aziendale, creando l'anello di congiunzione fra CAD e CAM.

Sarà quindi possibile passare dal disegno su stazione CAD del nuovo particolare al part-program di lavorazione, attraverso un processo di produzione guidato dal calcolatore, che rispecchi globalmente i criteri aziendali di pianificazione, standardizzazione e ottimizzazione e riduca al minimo costi e tempi.

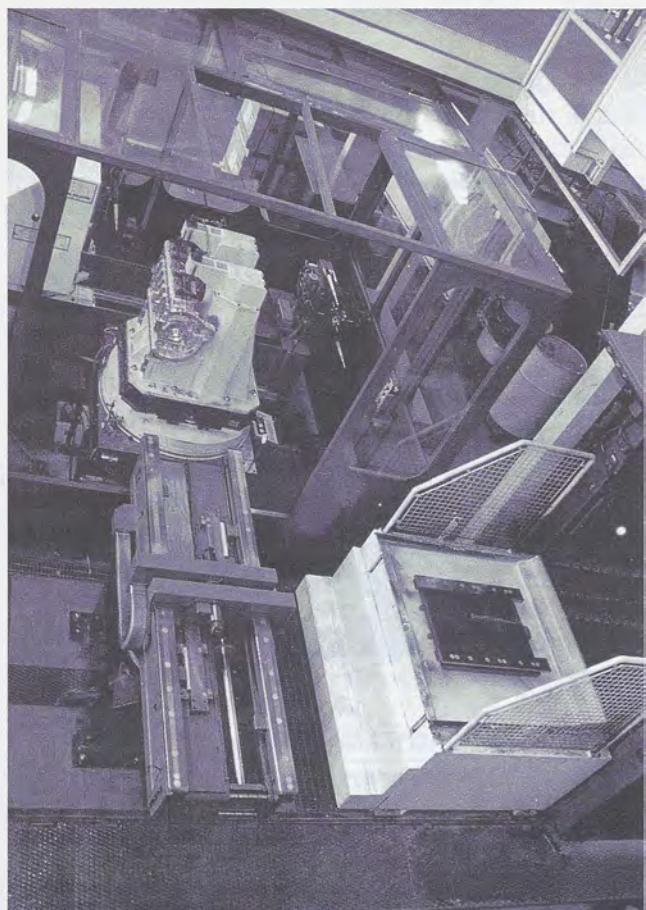


Fig. 8 - Particolare macchina di misura e lavatrice.

### C-3) sistemi di comunicazione

Detti sistemi consentono ai modelli di pianificazione tattica e strategica a disposizione del sistema di gestione del FMS, di dialogare con i livelli informatici superiori, e precisamente a livello fabbrica automatica (Gestione produzione, MRP - Material Requirement Planning, EDP - Editing Data Processing) e a livello CIM (DSS - Decision Software System).

In queste condizioni l'area produttiva sarà completamente integrata con tutte le aree aziendali, realizzando il CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Per meglio comprendere l'integrazione dei vari modelli applicativi nel CIM, si rinvia alla «Piramide CIM» rappresentata nella Fig. 9; la successiva tabella di Fig. 10 fornisce un ulteriore dettaglio sull'architettura del sistema.

Con la realizzazione del CIM risulta completamente rivoluzionata non solo la struttura produttiva, ma l'intera organizzazione aziendale: non esiste infatti funzione che, in qualche modo, non sia coinvolta (v. oltre).

### D) Contributo del FMS e del CIM al raggiungimento della qualità globale

Il raggiungimento della qualità globale passa attraverso quattro tappe fondamentali.

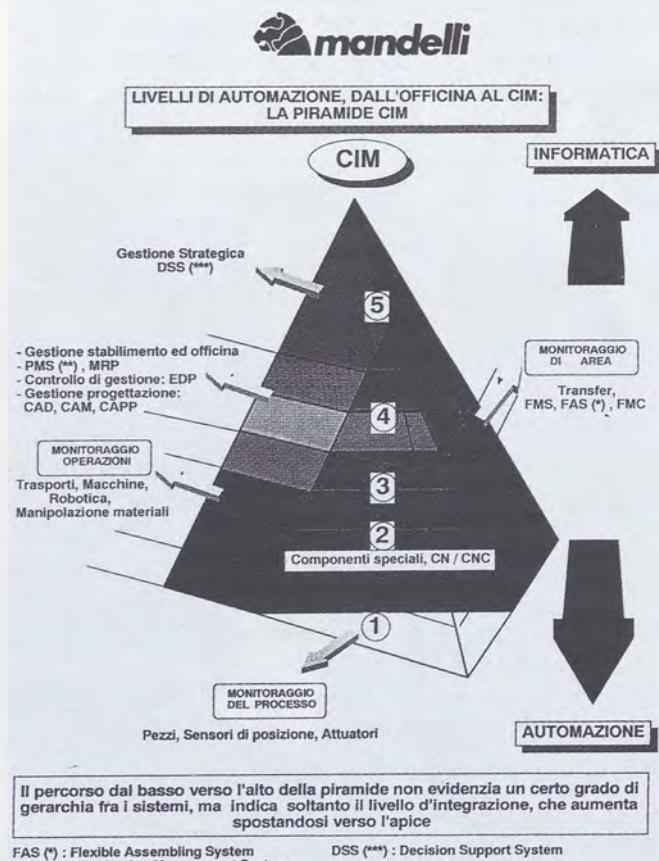


Fig. 9 - Piramide CIM.

LIVELLI DI AUTOMAZIONE, DALL'OFFICINA AL CIM:  
LA PIRAMIDE CIM

LIVELLI	TECNOLOGIE ORGANIZZATIVE	TECNOLOGIE INFORMATICHE SOFTWARE	TECNOLOGIE INFORMATICHE HARDWARE	TECNOLOGIE DI PRODUZIONE
5 AZIENDA		DSS (Decision Support System)	Mainframe Minicomputer LAN / WAN	
4 FUNZIONALE	Push-Pull JIT, Kanban Task di Progetto Office Automation Analisi del Valore	BIS (Business Information System) CAD, CAE, CAPP, CAM, MMS, MRP	Minicomputer Workstations LAN	Logistica
3 AREA	Turni non presidiati Schedulazione Gestione Magazzini Collaudo in Prova Gestione Lotti	Pianificazione lay-out di produzione DNC Protocollari di comunicazione	Minicomputer LAN	FMS, FMC, Transfer Linee Robotizzate Movimentazione automatica dei materiali Magazzini Automatici
2 MODULO	Avanzamento produzione Turni presidiati Pianificazione della Produzione	Sistemi operativi in real time Part Programs Ladder Type Programs BIT - BUS	Microcomputer PLC CNC	Robot Macchine utensili Macchine dedicate AGV
1 DEL PROCESSO		Microcodici	Microprocessori Convertitori D/A Unità I/O	Switch Sensori Servo Motori

Fig. 10 - Dettaglio sull'architettura del sistema.

#### D-1) Qualità del prodotto

È il concetto più tradizionale della qualità, che rappresenta pur sempre la condizione necessaria ed indispensabile per la successiva evoluzione.

La qualità del prodotto si ottiene principalmente con:

- introduzione di controlli statistici e puntuali sulla produzione
- certificazione del prodotto
- progetto finalizzato sull'affidabilità e manutenibilità del prodotto

#### D-2) Sistemi organizzativi interni

Vi rientrano tutte le iniziative che tendono ad un coinvolgimento globale delle funzioni aziendali sul problema della qualità globale; ad esempio:

- circoli di qualità
- CWQC (Company Wide Quality Control)
- passaggio dall'organizzazione aziendale piramidale a quella matriciale per una maggior rapidità di decisione
- introduzione dei sistemi CAD-CAM e CAPP

#### D-3) Rapporti con il mondo esterno

Il rapporto con fornitori e clienti concettualmente presenta la stessa problematica, poiché ogni azienda, mutati i criteri operativi, è contemporaneamente fornitore e cliente.

Questo rapporto, specie quando si tratta di grandi impianti, assume sempre più il carattere di una partnership tecnologica, con un coinvolgimento del fornitore che non si esaurisce con la consegna del prodotto, ma continua nel tempo.

Più che la ricerca esasperata del basso prezzo diventano determinanti le capacità del fornitore di dare un servizio «Time to market», per poter seguire in tempo reale le continue evoluzioni del mercato e garantire una collaborazione duratura ed affidabile.

#### D-4) Nazione

A livello nazionale lo Stato può contribuire al raggiungimento della qualità globale garantendo certi servizi essenziali, come ad esempio:

- formazione: scuole professionali, università
- programmi di ricerca
- servizi: un sistema efficiente e sicuro di trasporto è la premessa indispensabile, ad esempio, per il raggiungimento del «just in time» o scorte zero
- campagne nazionali della qualità.

Poste queste premesse, si può affermare che l'introduzione FMS nel processo produttivo — e più in generale del CIM — nella struttura organizzativa aziendale esercita un grosso impatto sulle prime tre fasi della qualità globale definite precedentemente.

Persino ovvio è sottolineare il miglioramento decisivo ottenuto nella prima fase (qualità del prodotto), conseguentemente all'introduzione di un FMS nel processo produttivo, in quanto viene garantita:

- la costanza della qualità e la ripetibilità del prodotto finito;
- la correzione in tempo reale degli errori di esecuzione, grazie all'introduzione di macchine di misura in linea.

Ma ancora più significativo è il contributo fornito dai livelli superiori di automazione (fabbrica automatica e CIM) alla seconda e terza fase (organizzazione interna e rapporti con il mondo esterno).

Se qualità globale significa «conciliare la soddisfazione del cliente con l'efficienza dell'azienda», risulta evidente che la fabbrica automatica possiede tutti gli strumenti per rendere non solo possibile, ma addirittura conveniente, il raggiungimento di questo obiettivo.

L'intera organizzazione aziendale viene pro-

fondamente rivoluzionata in tutte le sue funzioni dall'introduzione del CIM. Il marketing avrà a propria disposizione uno strumento formidabile, che consentirà di adeguare in tempo reale l'output produttivo alle esigenze del mercato, offrendo un'arma vincente nei confronti della concorrenza.

L'area progetto e l'area manifatturiera saranno via via più integrate, grazie all'introduzione del CAD-CAM e del CAPP; il tempo necessario all'implementazione di modifiche, variazioni del mix produttivo, realizzazione di nuovi modelli sarà ridotto drasticamente.

Quasi tutte le operazioni saranno automatizzate, grazie all'introduzione di linee automatiche di assemblaggio, di robot di misura, di collegamenti automatici con i magazzini.

Un ruolo importante rivestirà la logistica, e più in particolare la gestione dei magazzini, la programmazione della produzione, la gestione dei materiali tramite il MRP: l'obiettivo finale sarà il just in time o scorte zero.

Anche l'area amministrativo-finanziaria subirà l'impatto di questa rivoluzione organizzativa dovendosi adeguare alle nuove esigenze delle altre funzioni aziendali (General Accounting Management, EDP).

La pianificazione strategica disporrà in tempo reale di una massa di informazioni che le consentiranno un miglior controllo dei fenomeni ed una migliore programmazione.

Il top management infine potrà pilotare l'azienda con una conoscenza delle variabili aziendali infinitamente più ampia di quella disponibile solo qualche anno fa; potrà inoltre intervenire con una rapidità di risposte ed una flessibilità del sistema anch'esse impensabili nel recente passato.

Concludendo: il CIM consente il raggiungimento della competitività dei processi produttivi passando dalle «economie di scala» alle «economie di campo».

Questo significa che la saturazione dei mezzi produttivi non è più legata ad un prodotto realizzato in grandi quantità (con tutti i rischi conseguenti legati all'evoluzione del mercato), ma a più prodotti che possono essere introdotti o modificati facilmente; si riducono inoltre tutti gli sprechi dovuti all'inerzia del sistema ed agli errori di programmazione assicurando al cliente un miglior servizio globale.

Questa è la miglior conferma che «qualità globale» e miglior efficienza dell'azienda sono traguardi fra loro sinergici.

# La macchina di misura tridimensionale in ambiente di automazione flessibile

Maurizio ERCOLE (\*)

Nel corso dell'ultimo ventennio l'evoluzione delle leggi fondamentali del mercato internazionale ha generato una rivoluzione nei metodi e nei mezzi di produzione. In particolare la notevole riduzione della vita media del prodotto è stata una delle componenti principali dell'insieme di ragioni la cui risultante ha generato il passaggio dalla automazione convenzionale all'automazione flessibile.

In generale esiste una proporzione diretta tra il grado di automazione di un processo, indipendentemente dalla sua natura, e la necessità di controllare, in tempo reale, il livello qualitativo in corso di generazione attraverso il processo stesso. All'evoluzione dei processi di lavorazione meccanica in termini di automazione flessibile, ha pertanto fatto riscontro l'evoluzione delle tecniche di Controllo Qualità dimensionale.

Partendo pertanto da una unità operatrice, la Macchina di Misura a Coordinate a Controllo Numerico, che di per se stessa già costituisce un elemento di automazione flessibile, il Controllo Qualità Dimensionale si è evoluto sia nel metodo che nei mezzi, modificando il luogo ed il tempo delle misurazioni e, soprattutto, gli obiettivi delle misurazioni stesse, passando da una filosofia di «constatazione» ad una filosofia di «prevenzione».

Evidentemente questa evoluzione ha sottinteso profondi mutamenti nella Macchina di Misura a Coordinate sia dal punto di vista meccanico che elettronico ed informatico, mutamenti che sono stati resi possibili anche dalla disponibilità, a costi ragionevoli, di materiali ausiliari, in particolare di tipo elettronico.

Le moderne tecniche di Controllo Qualità Dimensionale in ambienti ad automazione flessibile hanno consentito di modificare l'approccio tradizionale al processo manifatturiero, dove era compito della Produzione fabbricare il prodotto ed al Controllo Qualità spettava collaudarlo per verificarne la corrispondenza alle specifiche teoriche, rendendo possibile un approccio di tipo preventivo, che consente di monitorare il livello di efficienza qualitativa del processo stesso.

## Il processo

In un qualsiasi processo esiste una proporzione diretta tra il grado di automazione dello stesso

so e la necessità di controllarne, in tempo reale, il prodotto. Un sistema di controllo di processo può essere descritto come un sistema ad anello chiuso, Fig. 1, articolato su quattro punti fondamentali, vale a dire:

— *il processo*: cioè la combinazione di persone, macchinario, informazioni, materiali, metodi ed ambiente che concorrono per produrre un risultato. Le prestazioni globali del processo, la Qualità del risultato e la sua efficienza produttiva, dipendono dal modo in cui il processo è stato progettato e costruito e dal modo in cui viene gestito. Il controllo del processo è utile solo se contribuisce ad aumentare le prestazioni del processo stesso;

— *informazioni sulle prestazioni*: molte informazioni sulle reali prestazioni del processo possono essere raccolte analizzandone il risultato. In generale, il prodotto globale del processo è funzione del risultato di ogni operazione intermedia che ne costituisce le fasi operative. Se le informazioni, relative ad ogni fase del processo, vengono raccolte ed analizzate correttamente ed in tempo utile, esse possono rivelare se siano necessarie azioni volte a correggere il processo o una fase intermedia dello stesso. La raccolta e l'analisi delle informazioni risulta tuttavia sterile se non consente di intraprendere azioni appropriate e tempestive;

— *azioni sul processo*: si tratta di azioni a carattere preventivo, esse vengono intraprese, quando necessario, allo scopo di prevenire la produzione di materiale di scarto o comunque non conforme alle proprie specifiche teoriche. Le azioni sul processo possono riguardare mo-

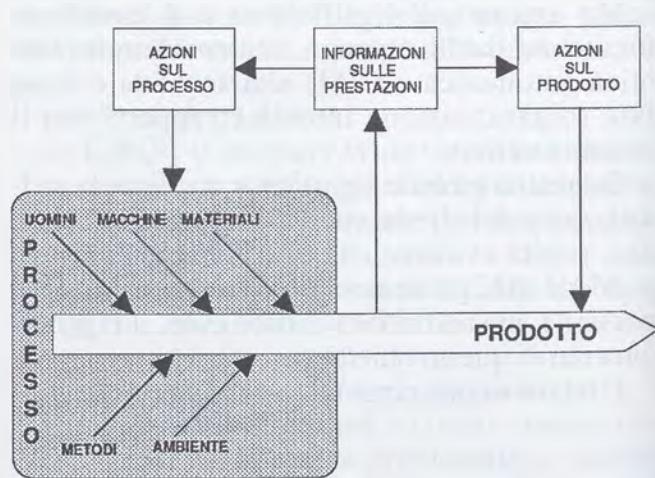


Fig. 1 - Schema di controllo di processo ad anello chiuso.

(\*) Direttore marketing DEA spa.

difiche alle operazioni (ad esempio istruzione di un operatore, cambio dei semilavorati ecc.), oppure agli elementi di base del processo stesso (ad esempio interventi sul macchinario, sulle attrezzature oppure su concetti stessi di fabbricazione). Gli effetti di queste azioni debbono essere monitorati e dare luogo ad ulteriori analisi ed azioni qualora necessario;

— *azioni sul prodotto*: si tratta di azioni retrospettive in quanto portano alla constatazione di materiale non conforme alle specifiche teoriche allorché questo è già stato prodotto. Ovviamen-  
te se il prodotto correntemente lavorato non soddisfa, in maniera consistente, le specifiche di progetto, occorre isolarlo e scartarlo o rilavorar-  
lo. Questo processo continuerà fino a quando non saranno state effettuate le necessarie azioni correttive sul processo o fino a quando non sa-  
ranno state modificate le specifiche.

È abbastanza evidente che il collaudo, effettuato sul prodotto finito, non consente di ottene-  
re l'ottimizzazione del processo in termini di ef-  
ficienza qualitativa. Le moderne tecniche di Controllo Qualità Dimensionale, applicate in  
ambiente ad alto livello di automazione flessibile, prevedono pertanto il collaudo integrato nei luoghi e nei tempi opportuni, allo scopo di rac-  
cogliere le informazioni necessarie alla corre-  
zione preventiva del processo.

#### *Variabilità qualitativa del processo: Cause Comuni e Cause Speciali*

Allo scopo di utilizzare correttamente i dati di misura generati dal controllo di processo, è necessario comprendere il concetto di «variabi-  
lità». Nella realtà oggettiva è impossibile reali-  
zare due prodotti, o due caratteristiche ad essi relative, perfettamente identici; le differenze tra di essi possono essere grandi o quasi impercettibili, tuttavia sono sempre presenti. Il diametro di una alesatura, per esempio, è suscettibile di variazioni che possono essere causate da un cer-  
to numero di cause quali:

- macchina operatrice (usura cuscinetti, giochi, ecc.)
- utensile (usura, preset non corretto, ecc.)
- materiale (durezza, composizione, ecc.)
- operatore (errori di programmazione, mon-taglio scorretto delle parti, ecc.)
- manutenzione (lubrificazione, montag-  
gio scorretto delle attrezzature ecc.)
- ambiente (condizioni ambientali, mancanza di corrente, ecc.).

Alcune cause di variazione qualitativa del processo possono generarsi in uno spazio assai ridotto, altre in tempi molto lunghi; pertanto il luogo, il tempo e le condizioni nelle quali le mi-

surazioni vengono effettuate influenzano la dimensione delle variazioni stesse.

Allo scopo di controllare un processo, e ri-  
durne conseguentemente la variabilità, occorre risalire alla sorgente di variazione. Il primo pas-  
so verso questo obiettivo è la discriminazione tra cause «comuni» e «speciali» di variazione. Le cause comuni sono relative a molte sorgenti di variazione nell'ambito di un processo sotto controllo statistico. Sebbene i valori di misura individuali della stessa caratteristica rilevata su di un lotto di parti siano tra di loro differenti, essi tendono a formare un insieme che viene de-  
finito «distribuzione». La distribuzione (Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4) è caratterizzata dai seguenti pa-  
rametri o da una qualsiasi combinazione di essi:

- Posizione (valore medio)
- Ampiezza (differenza tra il minimo ed il massimo valore)
- Forma (forma della variazione: simmetri-  
ca, appuntita, ecc.)

Se in un processo sono presenti solo cause di variabilità comuni la qualità generata è stabile nel tempo e, di conseguenza, l'evoluzione ad essa relativa è prevedibile (Fig. 5).

Se in un processo sono presenti cause di variabilità speciali la qualità generata non è stabile nel tempo e, di conseguenza, l'evoluzione ad essa relativa non è prevedibile (Fig. 6).

Le cause speciali sono invece relative a qualsiasi fattore, causa di variazioni qualitative, che rendono il processo non stabile e quindi non prevedibile come sarebbe, invece, se il processo stesso fosse sotto controllo statistico. Se le cau-  
se di variabilità speciali non vengono identifica-  
te e corrette, esse producono degenerazioni qua-  
litative non prevedibili sul prodotto.

Vi è una relazione tra i due tipi di variabilità di processo precedentemente descritti ed i tipi di azioni necessarie alla riduzione della variabi-  
lità stessa.

Le Cause Speciali di variazione possono es-  
sere rilevate tramite semplici tecniche statisti-  
che. La scoperta di una causa speciale di varia-  
bilità, e la sua rimozione, è generalmente re-  
sponsabilità di personale direttamente coinvolto in modo operativo; pertanto la risoluzione di problemi relativi alle cause speciali richiede «a-  
zioni locali».

Gli effetti delle Cause Comuni di variabilità possono anch'essi essere rilevati tramite l'appli-  
cazione di semplici tecniche statistiche, tuttavia le cause stesse necessitano di più dettagliate ana-  
lisi per essere isolate. È generalmente respon-  
sabilità del management definire le azioni cor-  
rettive atte ad eliminare le cause comuni di de-  
generazione; tali azioni sovente vengono eserci-  
tate sul sistema («azioni sul processo»).

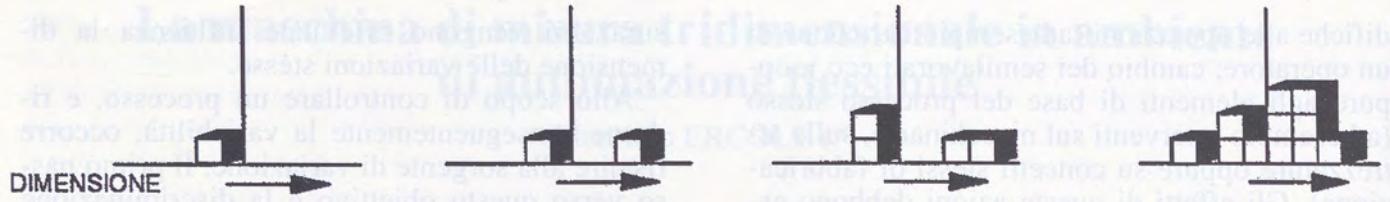


Fig. 2 - Variazioni dimensionali.

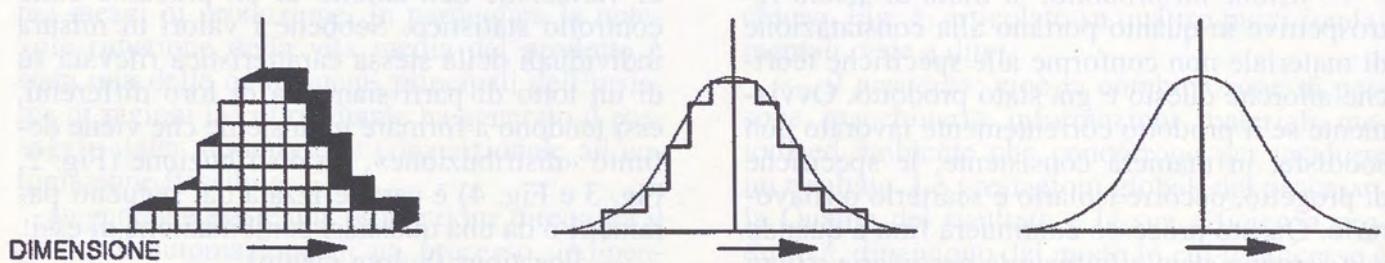


Fig. 3 - Variazioni dimensionali stabili: distribuzione.

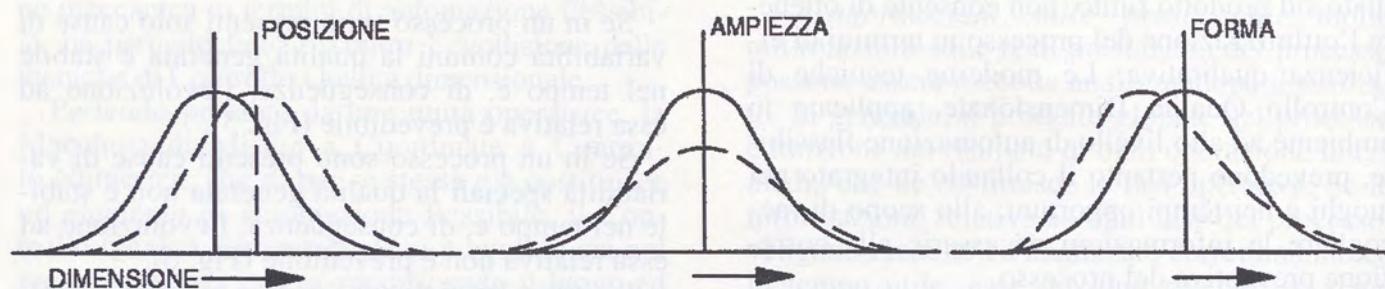


Fig. 4 - Elementi caratterizzanti la distribuzione.

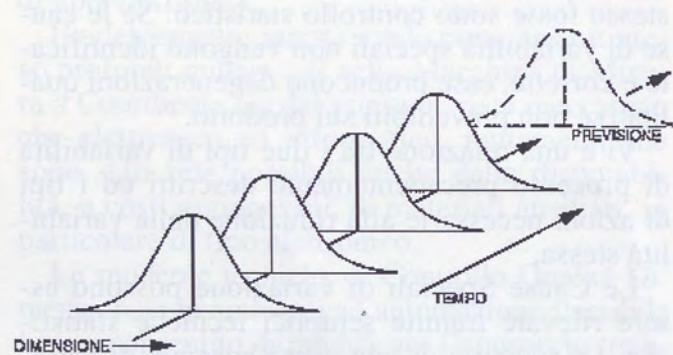


Fig. 5 - Evoluzione della qualità prevedibile.

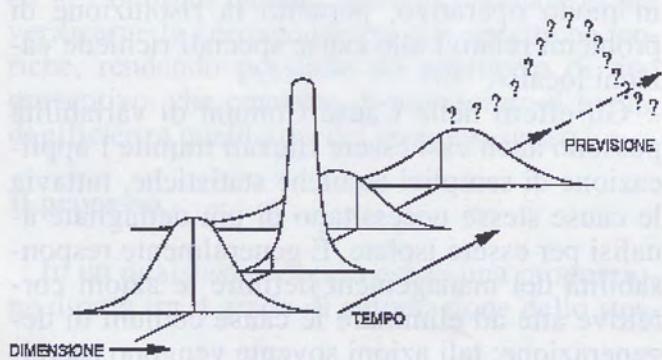


Fig. 6 - Evoluzione della qualità non prevedibile.

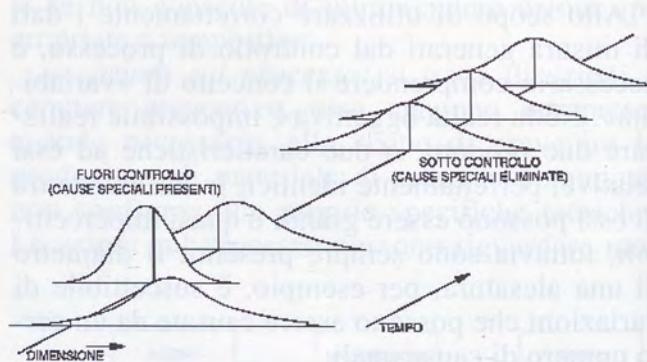


Fig. 7 - Controllo di processo.

Soltanto una piccola percentuale di tutti i problemi ai quali un processo può essere soggetto, su base storica circa il 15%, sono risolvibili con azioni locali applicate da personale operativo; la maggior parte dei problemi, il restante 85%, è risolvibile soltanto con azioni sul processo pianificate dal management.

La confusione sul tipo di azioni da intraprendere risulta assai dispendiosa in termini di sprechi di energie e di ritardata soluzione del problema. Sarebbe grossolanamente sbagliato, ad

esempio, intraprendere un'azione locale tipo ricalibrare una unità operatrice, quando occorrebbe magari un intervento manageriale sul processo come, ad esempio, scegliere fornitori capaci di consegnare migliori materiali semilavorati.

Lo scopo del controllo di processo è di consentire decisioni economicamente valide sulle azioni che influenzano il processo. Ciò significa gestire il controllo in modo equilibrato allo scopo di ridurre al minimo il rischio di intraprendere azioni quando non siano necessarie (errore di IPERCONTROLLO) e quello di non agire quando effettivamente necessario (errore di IPOCONTROLLO). Il rischio deve tuttavia essere gestito nel contesto delle due sorgenti di variabilità precedentemente descritte.

Un processo si dice sotto controllo statistico quando la sola sorgente di variabilità è dovuta a cause comuni (Fig. 7).

Tuttavia lo stato di controllo statistico non è lo stato naturale per un processo manifatturiero; esso è invece il risultato raggiunto eliminando, ad una ad una e con applicazione continua e determinata, le cause speciali di eccessiva variabilità<sup>(1)</sup>.

Pertanto la funzione iniziale del controllo di processo è di provvedere segnali statistici in presenza di cause speciali di variabilità e di evi-

(1) W. Edwards Deming, *On Some Statistical Aids Toward Economic Production*, Interfaces, Vol. 5, No. 4, August 1975, The Institute of Management Sciences, Providence, Rhode Island, Page 5.

tare falsi segnali quando queste ultime non esistono; ciò consentirà di intraprendere azioni appropriate che eliminaranno le cause di degenerazione e ne preverranno il riformarsi.

La «Capacità del Processo» viene determinata dalla variabilità totale derivante da cause comuni meno la minima variabilità che può essere conseguita dopo la eliminazione di tutte le cause speciali (Fig. 8).

Pertanto la capacità di processo rappresenta l'efficienza in termini di prestazioni dello stesso, come dimostrato quando il processo stesso opera in stato di controllo statistico. Dal momento che un processo in stato di controllo statistico può essere descritto da una distribuzione prevedibile, la proporzione di parti fuori tolleranza prodotte può essere stimata in funzione della distribuzione stessa; fintanto che il processo rimane sotto controllo statistico, esso continuerà a produrre la stessa proporzione di parti fuori tolleranza.

Riassumendo: il processo deve essere dapprima condotto in stato di controllo statistico identificando ed eliminando le cause di variabilità speciali; quindi le sue prestazioni saranno prevedibili e la sua capacità di produrre parti in tolleranza ottimizzata.

Non si intende descrivere in questo contesto gli algoritmi statistici di elaborazione dei dati di misurazione necessari al controllo di processo, essi possono essere trovati in qualsiasi buon manuale di statistica applicata al processo; lo scopo principale di quanto precedentemente illustrato può essere riassunto nei punti seguenti:

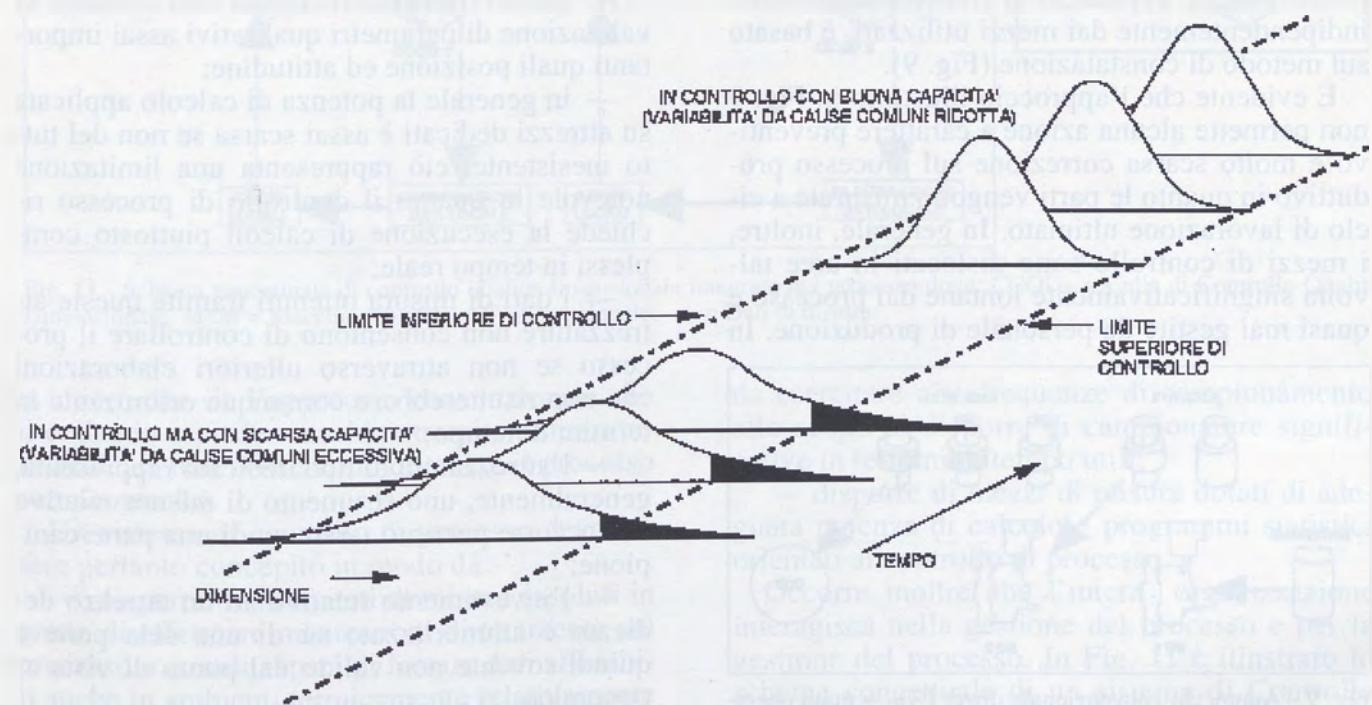


Fig. 8 - Capacità di processo.

- al fine di evitare la produzione di parti di scarto occorre tenere il processo sotto controllo
- per tenere il processo sotto controllo occorre adottare tecniche di prevenzione in luogo di tecniche di constatazione
- se il processo è sotto controllo il relativo *pattern* di degenerazione qualitativa è prevedibile
- per consentire azioni correttive a carattere preventivo il controllo e l'analisi devono avvenire in tempo reale.

## I metodi di controllo

Tutte le considerazioni fatte precedentemente valgono per qualsiasi tipo di processo e, particolarmente, per processi manifatturieri ad alto contenuto di automazione flessibile. Un sistema di lavorazione flessibile può e deve essere tenuto sotto controllo allo scopo di ottimizzarne l'efficienza in termini di Qualità e Produttività.

La Qualità Dimensionale, intendendo come tale la qualità di dimensione, forma, posizione ed attitudine delle caratteristiche geometriche relative ad una parte, rappresenta forse l'aspetto più importante nella valutazione globale del livello qualitativo di un manufatto; la qualità dimensionale è una funzione del processo e quindi può essere tenuta sotto controllo al fine di garantirne la conformità al modello teorico.

Come già osservato per tenere un processo sotto controllo occorre effettuare delle misurazioni sul prodotto; i metodi ed i mezzi di misura si sono evoluti con l'evolversi delle tecniche di produzione. L'approccio di tipo convenzionale, indipendentemente dai mezzi utilizzati, è basato sul metodo di constatazione (Fig. 9).

È evidente che l'approccio illustrato in Fig. 9 non permette alcuna azione a carattere preventivo e molto scarsa correzione sul processo produttivo in quanto le parti vengono misurate a ciclo di lavorazione ultimato. In generale, inoltre, i mezzi di controllo sono dislocati in aree talvolta significativamente lontane dal processo e quasi mai gestite da personale di produzione. In

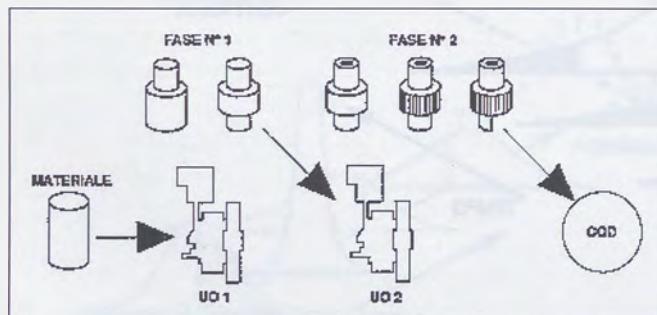


Fig. 9 - Approccio convenzionale dove:  $UO_n$  = unità operatrice; CQD = Controllo Qualità Dimensionale.

questi casi l'informazione sullo stato qualitativo della parte misurata impiega tempi assai lunghi per ritornare all'ambiente produttivo, quasi mai essa è analizzata a fondo, quasi sempre è materia di contestazione, mai è generatrice di azioni correttive sul processo. In realtà i limiti di questo tipo di approccio sono molteplici:

- notevole ritardo nel ritorno di informazione
- scarsa utilità dell'analisi statistica (quando questa viene effettuata)
- mancanza di corresponsabilità nella gestione del processo tra Produzione e Controllo Qualità
- mancanza di controllo di processo
- constatazione del materiale non conforme a distanza di ore o giorni dal momento della lavorazione.

Nonostante le limitazioni di cui sopra siano note il tipo di approccio è ancora assai diffuso.

Nelle produzioni di media e grande serie, principalmente allo scopo di evitare di completare il ciclo di lavorazione di una parte quando questa risulti fuori tolleranza già alle fasi iniziali del ciclo di lavorazione, è stata ed è sovente utilizzata la tecnica di collaudo interoperazionale per mezzo di strumentazione dedicata (Fig. 10).

L'approccio illustrato in Fig. 10, sebbene presenti qualche vantaggio rispetto all'approccio di tipo convenzionale, risulta anch'esso con notevoli limitazioni:

- la mancanza totale di flessibilità delle attrezzature dedicate le rende non idonee all'utilizzo in ambienti di lavorazione flessibile;
- questo tipo di attrezzatura non consente la valutazione di parametri qualitativi assai importanti quali posizione ed attitudine;
- in generale la potenza di calcolo applicata su attrezzi dedicati è assai scarsa se non del tutto inesistente, ciò rappresenta una limitazione notevole in quanto il controllo di processo richiede la esecuzione di calcoli piuttosto complessi in tempo reale;
- i dati di misura ottenuti tramite queste attrezzature non consentono di controllare il processo se non attraverso ulteriori elaborazioni che non risulterebbero comunque ottimizzate in termini di tempo;
- l'attrezzatura di tipo dedicato rappresenta, generalmente, uno strumento di misura relativo che occorre pertanto tarare su di una parte campione;
- l'investimento relativo ad un attrezzo dedicato è ammortizzato su di una sola parte e quindi sovente non valido dal punto di vista economico.

A causa delle limitazioni sopra elencate risul-

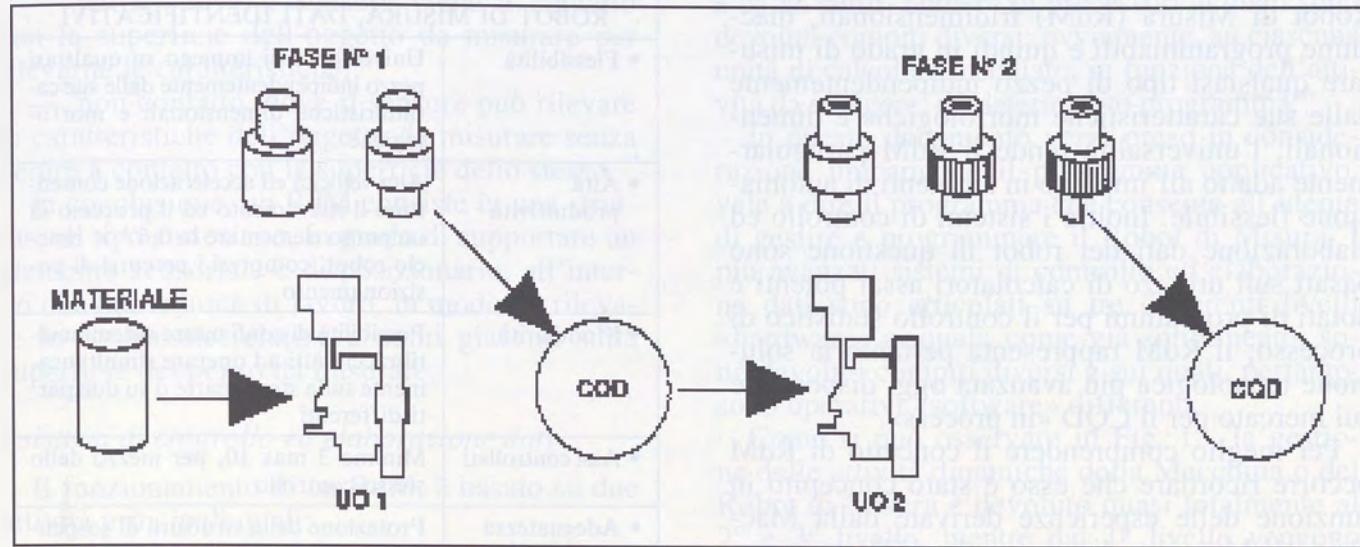


Fig. 10 - Controllo interoperazionale per mezzo di strumentazione dedicata dove:  $UOn$  = unità operatrice; CQD = attrezzi di collaudo monoscopico.

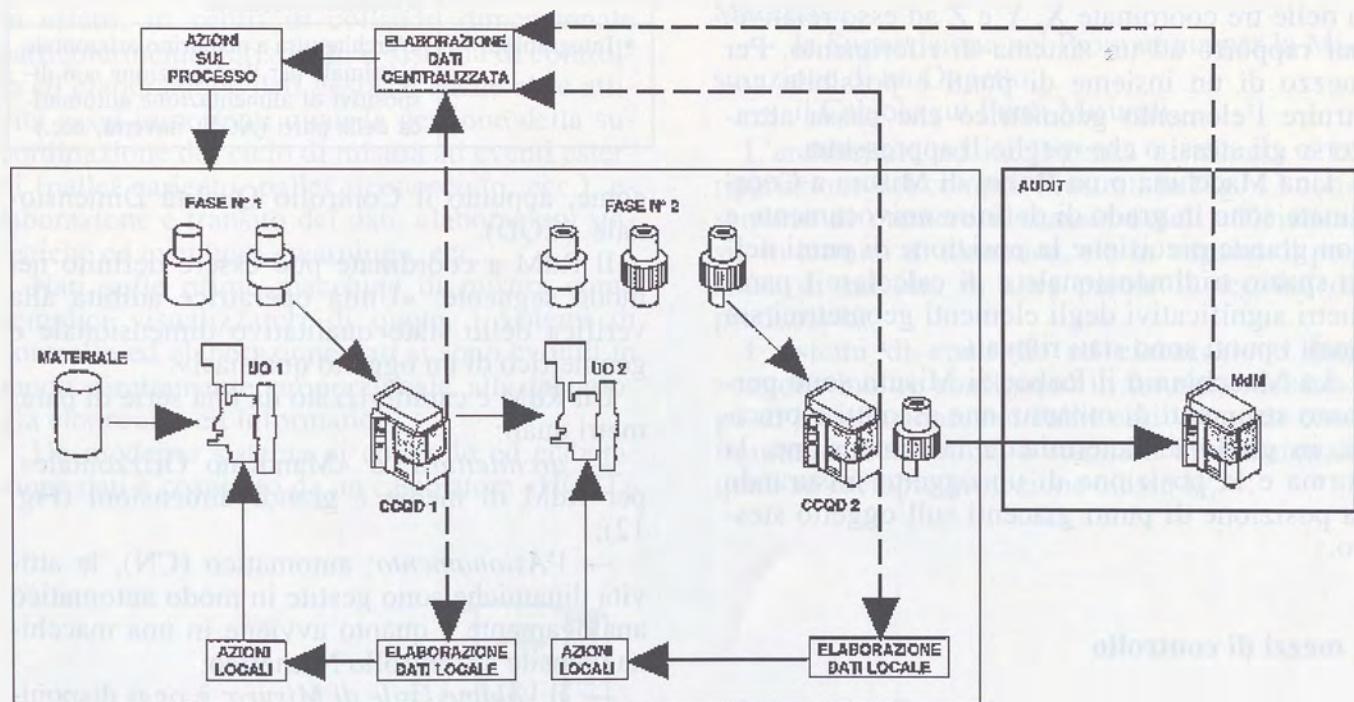


Fig. 11 - Schema concettuale di controllo qualità dimensionale integrato nel processo dove:  $CCQDn$  = Cella di Controllo Qualità Dimensionale; MdM = Macchina di Misura Tridimensionale; --- = Dati di misura.

ta chiaro che sia l'approccio convenzionale che il collaudo a piede macchina tramite attrezzatura dedicata non consentono di tenere il processo sotto controllo.

Un sistema di controllo di processo deve essere pertanto concepito in modo da:

- disporre di strumenti di misura assoluti in grado di effettuare misurazioni direttamente sul processo e quindi capaci di fornire dati affidabili anche in ambienti termicamente relativamente instabili;

- misurare ad alta velocità in maniera tale

da esercitare alte frequenze di campionamento allo scopo di disporre di campionature significative in termini di tempo utili;

- disporre di mezzi di misura dotati di adeguata potenza di calcolo e programmi statistici orientati al controllo di processo.

Occorre inoltre che l'intera organizzazione interagisca nella gestione del processo e per la gestione del processo. In Fig. 11 è illustrato lo schema concettuale di un sistema di Controllo Qualità Dimensionale integrato nel processo.

Lo schema di Fig. 11 prevede l'utilizzo di

Robot di Misura (RdM) tridimensionali, macchine programmabili e quindi in grado di misurare qualsiasi tipo di pezzo indipendentemente dalle sue caratteristiche morfologiche e dimensionali; l'universalità rende il RdM particolarmente adatto all'impiego in ambienti di automazione flessibile. Inoltre i sistemi di controllo ed elaborazione dati dei robot in questione sono basati sull'utilizzo di calcolatori assai potenti e dotati di programmi per il controllo statistico di processo; il RdM rappresenta pertanto la soluzione tecnologica più avanzata oggi disponibile sul mercato per il CQD «in process».

Per meglio comprendere il concetto di RdM occorre ricordare che esso è stato concepito in funzione delle esperienze derivate dalla Macchina di Misura tridimensionale a CN e ne rappresenta l'evoluzione logica per il collaudo in ambiente di officina; si consideri inoltre che:

- la posizione di un punto in uno spazio cartesiano, è definita in modo univoco dai valori delle tre coordinate X, Y e Z ad esso relative, per rapporto ad un sistema di riferimento. Per mezzo di un insieme di punti è possibile costruire l'elemento geometrico che passa attraverso gli stessi o che meglio li approssima.

Una Macchina o un Robot di Misura a Coordinate sono in grado di definire univocamente e con grande precisione la posizione di punti nello spazio tridimensionale e di calcolare i parametri significativi degli elementi geometrici sui quali i punti sono stati rilevati.

La Macchina o il Robot di Misura sono pertanto strumenti di misurazione assoluti e precisi, in grado di determinare la dimensione, la forma e la posizione di un oggetto misurando la posizione di punti giacenti sull'oggetto stesso.

## I mezzi di controllo

Allo scopo di effettuare, lungo il processo, le misurazioni che consentono di tenere il processo stesso sotto controllo, occorre disporre di mezzi di collaudo dimensionale aventi le caratteristiche descritte al paragrafo precedente ed illustrate in Fig. 11; la tecnologia di collaudo tridimensionale mette oggi a disposizione Robot di Misura adeguati allo scopo.

### *Il Robot di Misura a coordinate*

Allo scopo di facilitare la comprensione dell'argomento trattato, è opportuno ribadire alcuni concetti fondamentali relativi al Robot di Misura (RdM), inteso come unità operatrice adibita ad una attività tecnologica di processo,

ROBOT DI MISURA, DATI IDENTIFICATIVI	
• Flessibilità	Universalità di impiego su qualsiasi pezzo indipendentemente dalle sue caratteristiche dimensionali e morfologiche
• Alta produttività	Alta velocità ed accelerazione consentono il rilevamento ed il processo di un punto elementare in $0,6'' \times$ braccio robot, compresi i percorsi di posizionamento
• Modularità	Possibilità di configurare sistemi multibraccio atti ad operare simultaneamente sulla stessa parte o su due parti differenti
• Assi controllati	Minimo 3 max 10, per mezzo dello stesso controllo
• Adeguatezza ambiente di officina	Protezione della struttura di sospensione d'olio e pulviscolo tramite coperture e carterizzazione a perdita d'aria controllata.
• Protezioni termiche	Programmi di compensazione termica, condizionamento interno della struttura meccanica
• Integrabilità	L'architettura a mandrino orizzontale è ottimale per l'integrazione con dispositivi di alimentazione automatica delle parti (AGV, navetta, ecc.)

come, appunto il Controllo Qualità Dimensionale (CQD).

Il RDM a coordinate può essere definito nel modo seguente: «Unità operatrice adibita alla verifica dello stato qualitativo dimensionale e geometrico di un oggetto qualsiasi».

Un RdM è caratterizzato da una serie di parametri quali:

- *architettura*: a «Mandrino Orizzontale», per RdM di medie e grandi dimensioni (Fig. 12);

- *l'Azionamento*: automatico (CN), le attività dinamiche sono gestite in modo automatico analogamente a quanto avviene in una macchina utensile a Controllo Numerico;

- *il Volume Utile di Misura*: è oggi disponibile sul mercato una vasta scelta di modelli, con volumi utili di lavoro che vanno da pochi  $\text{dm}^3$  fino a parecchie decine di  $\text{m}^3$ .

- *la Precisione*, in effetti ciò che viene garantito e verificato in un RdM è la «Incertezza di Lettura», vale a dire l'errore massimo assoluto che il robot può commettere nella certificazione di un campione di dimensioni note; gli standard che vengono seguiti per la certificazione di un RdM sono:

- CMMA e VDI, per l'Europa;

- ANSI B89, per gli USA;

- *il controllo*: numerico punto a punto;

- *la Tecnica di Rilevamento*, la quale può essere:

— tattile, dove il sensore viene a contatto con la superficie dell'oggetto da misurare per rilevarne le caratteristiche;

— non contatto, dove il sensore può rilevare le caratteristiche dell'oggetto da misurare senza venire a contatto con la superficie dello stesso.

In conclusione, un RdM consiste in una struttura di tipo cartesiano, in grado di supportare un elemento sensoriale e di posizionarlo, all'interno del suo volume di lavoro, in modo da rilevare le coordinate relative a punti giacenti sulla superficie del pezzo da misurare.

#### *I sistemi di controllo ed elaborazione dati*

Il funzionamento di un RdM, è basato su due attività principali quali:

— Attività di Posizionamento e di Rilevamento Punti;

— Attività di Calcolo sui Punti Rilevati.

Nel RdM entrambe le attività vengono gestite dal Sistema di Controllo ed Elaborazione Dati. In effetti, in centri di collaudo dimensionale particolarmente sofisticati, il sistema di controllo ed elaborazione dati gestisce anche altre attività assai importanti quali la gestione della subordinazione del ciclo di misura ad eventi esterni (pallet caricato, pallet riconosciuto, ecc.), elaborazione e transito dei dati, elaborazioni statistiche ed eventuali «warning», ecc..

Nati sulle prime macchine di misura come semplici visualizzatori di quote, i sistemi di controllo ed elaborazione dati si sono evoluti in modo direttamente proporzionale alla tecnologia elettronica ed informatica.

Un moderno sistema di controllo ed elaborazione dati è costituito da un calcolatore «HOST»

e da un certo numero di processori ai quali sono devoluti compiti diversi; ovviamente, su ciascuna unità di calcolo è installato, in funzione dell'attività da svolgere, un determinato programma.

In questo documento verrà preso in considerazione unicamente il programma applicativo, vale a dire il programma che consente all'utente di gestire e programmare il Robot di Misura. I più avanzati sistemi di controllo ed elaborazione dati sono articolati su tre differenti livelli «hardware» ai quali, come già sottolineato, sono devoluti compiti diversi e sui quali, pertanto, sono operativi «software» differenti.

Come si può osservare in Fig. 13, la gestione delle attività dinamiche della Macchina o del Robot di Misura è devoluto quasi totalmente al 2° e 3° livello, mentre dal 1° livello vengono controllate:

— la Gestione della Comunicazione con il Mondo Esterno;

— la Gestione della Comunicazione Uomo/Macchina;

— la Supervisione nel Programma per la Misurazione di un Oggetto;

— il Calcolo sui Punti Misurati.

L'architettura ad intelligenza distribuita e la ripartizione dei compiti illustrati in Fig. 13 consentono di ottenere il massimo dell'efficienza, sia in termini di dinamica, sia in termini di potenza di calcolo; in altre parole in termini di produttività.

I sistemi di controllo ed elaborazione dati vengono inoltre configurati in funzione del luogo di installazione, nel RdM essi vengono configurati in conformità a standard internazionali quali ad esempio protezione classe IP54;

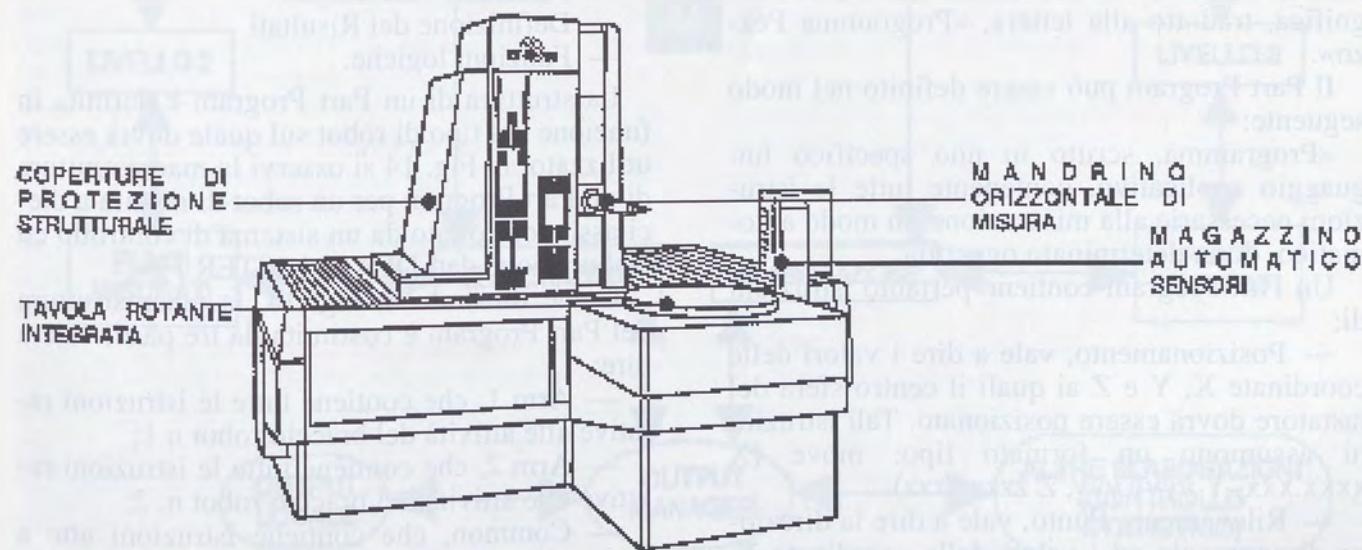


Fig. 12 - Robot di misura A coordinate Dea «Ace 10».

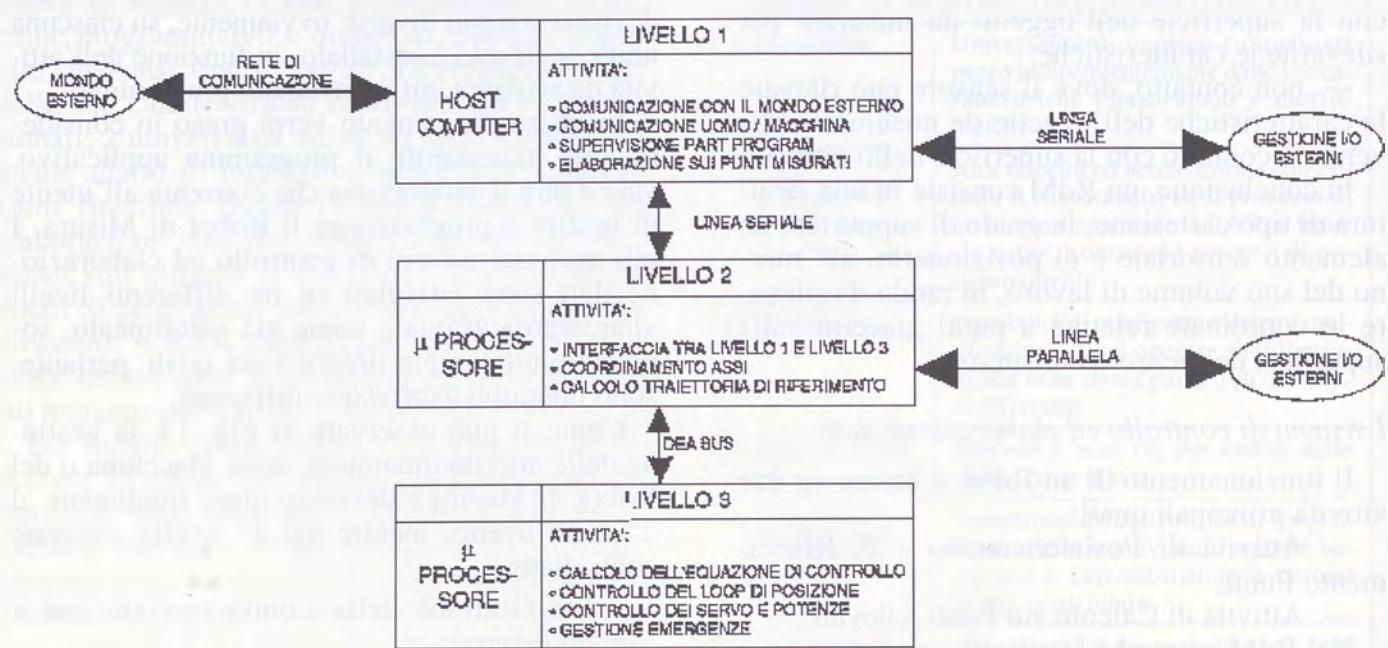


Fig. 13 - Struttura di un sistema di controllo ed elaborazione dati **Dea «Master F2»**.

SISTEMA DI CONTROLLO ED ELABORAZIONE DATI PER ROBOT DI MISURA, DATI IDENTIFICATIVI	
• Architettura	Ad intelligenza distribuita
• Controllo	Punto a punto
• N° max assi gestiti	10; 3 + 3 cartesiani, 2 + 2 di rotazione
• Protezione	Tipo IP54

### Il «Part-program»

«Part Program» è un neologismo ormai divenuto di uso comune nel mondo del CQD, e significa, tradotto alla lettera, «Programma Pezzo».

Il Part Program può essere definito nel modo seguente:

«Programma, scritto in uno specifico linguaggio applicativo, contenente tutte le istruzioni necessarie alla misurazione, in modo automatico, di un determinato oggetto».

Un Part Program contiene pertanto istruzioni di:

— Posizionamento, vale a dire i valori delle coordinate X, Y e Z ai quali il centro sfera del tastatore dovrà essere posizionato. Tali istruzioni assumono un formato tipo: move (X xxxx.xxx, Y yyyy.yyy, Z zzzzz.zzz).

— Rilevamento Punto, vale a dire la direzione di approccio ed i valori delle coordinate X, Y e Z del punto da rilevare sulla superficie del pezzo. Tali istruzioni assumono un formato ti-

po: direction (X valore, Z valore) nome=meas-point (X xxxx.xxx, Y yyyy.yyy, Z zzzzz.zzz).

— Scelta dei Parametri Tecnologici, ad esempio l'abilitazione alla misura di un determinato sensore. Tali istruzioni assumono un formato tipo: tool (codice).

— Elaborazione di Elementi Geometrici, Relazione tra Elementi Geometrici, Scelta del Formato dei Risultati, ecc.

In generale, le istruzioni delle quali un Part Program è costituito, appartengono ad una delle seguenti categorie:

- Posizionamento e Misura
- Elaborazione
- Parametri Tecnologici
- Definizione dei Risultati
- Funzioni logiche.

La struttura di un Part Program è definita in funzione del tipo di robot sul quale dovrà essere utilizzato; in Fig. 14 si osservi la macrostruttura di un Part Program per un robot di misura a dieci assi, controllato da un sistema di controllo ed elaborazione dati DEA «MASTER F2».

Come illustrato in Fig. 14, la macrostruttura del Part Program è costituita da tre parti, vale a dire:

- Arm 1, che contiene tutte le istruzioni relative alle attività del braccio robot n.1;
- Arm 2, che contiene tutte le istruzioni relative alle attività del braccio robot n. 2;
- Common, che contiene istruzioni atte a sincronizzare l'attività dei due interpreti, allo scopo di svincolare il programmatore dalla gestione del sincronismo tra i vari processi; ge-

stione che, in sistemi multiasse, risulterebbe assai onerosa se non impossibile.

In Fig. 15 è schematizzato il modo in cui il Programma Applicativo Base MASTER gestisce, per mezzo degli INTERPRETI 1 e 2, il Part Program in modo trasparente all'utilizzatore. In particolare gli INTERPRETI generano i codici oggetto relativi alle azioni di posizionamento, misura, elaborazione e gestione dei risultati (OUTPUT).

Una struttura così concepita consente la part programmazione di un centro di collaudo in modo assai agevole ed indipendente dal numero di assi dello stesso.

#### *Le tecniche di part programmazione*

Un Part Program può essere generato per mezzo di tecniche differenti in funzione del tipo di strumenti a disposizione. I metodi part programmazione disponibili sono i seguenti:

- auto Apprendimento (o Self Teaching);
- linguaggi applicativi;

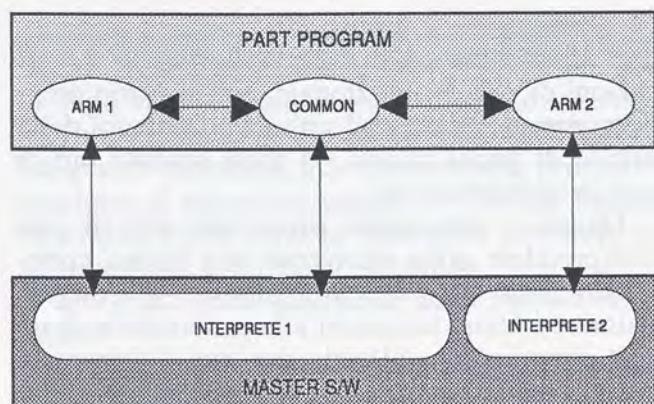


Fig. 14 - Macrostruttura di un part program per RdM Dea a 2 bracci.

— moduli CAM orientati al Collaudo Dimensionale.

Le tecniche precedentemente menzionate consentono di generare part program attraverso procedure e modalità assai differenti. Va tuttavia sottolineato che, nonostante la rilevante evoluzione delle metodologie di part programmazione, l'utente medio è ancora poco prepara-

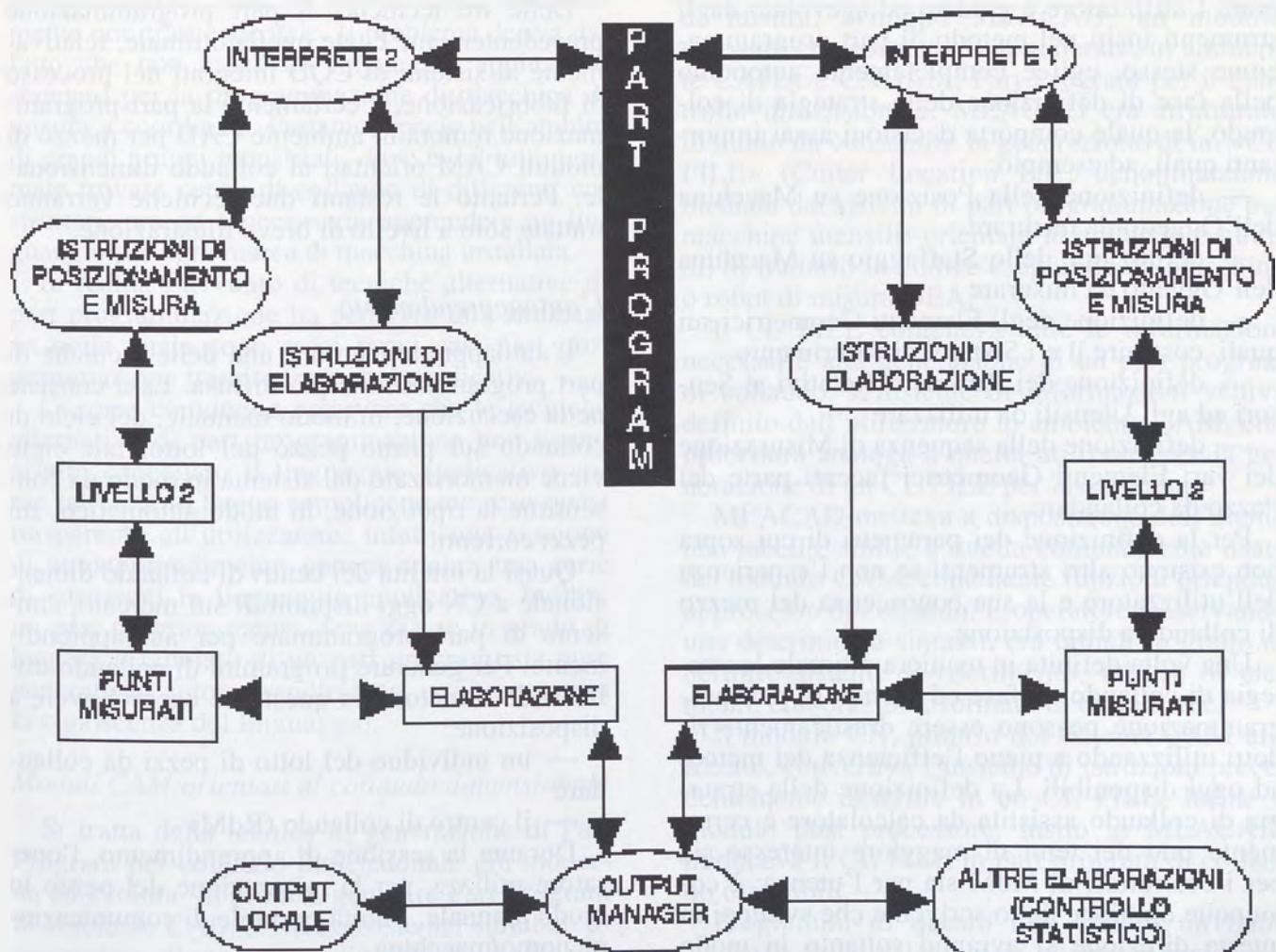


Fig. 15 - Microstruttura di un part program per RdM Dea a 2 bracci.

to alla gestione combinata di problemi metrologici ed informatici. Inoltre, al di là delle dichiarazioni di tipo promozionale, è necessario prendere atto che, dietro ad un ciclo di misura della durata di pochi minuti, vi sono sovente ore di part programmazione.

Questa è una realtà universale che si può comprendere solo attraverso una buona conoscenza dello stato dell'arte corrente. Per meglio valutare i tempi necessari alla generazione di un part program di collaudo per una determinata parte, è bene analizzare, indipendentemente dai mezzi a disposizione, i tipi di informazione che il programma stesso deve contenere cioè:

- strategia di Collaudo;
- istruzioni esecutive.

Premettendo che una buona strategia di collaudo consente di ottimizzare sia la durata del tempo di part programmazione sia la durata del ciclo di misura, si noti che la tendenza utente è di includere i tempi necessari alla definizione della strategia nei tempi di part programmazione; ciò impedisce di ottenere delle valutazioni affidabili.

In effetti, se per la generazione del part program l'utilizzatore è guidato ed agevolato dagli strumenti insiti nel metodo di part programmazione stesso, egli è completamente autonomo nella fase di definizione della strategia di collaudo, la quale comporta decisioni assai importanti quali, ad esempio:

- definizione della Posizione su Macchina dell'Oggetto da misurare
- definizione dello Staffoggio su Macchina dell'Oggetto da misurare
- definizione degli Elementi Geometrici sui quali costruire il o i Sistemi di Riferimento
- definizione dei Parametri Relativi ai Sensori ed agli Utensili da utilizzare
- definizione della sequenza di Misurazione dei vari Elementi Geometrici facenti parte del Pezzo da collaudare.

Per la definizione dei parametri di cui sopra non esistono altri strumenti se non l'esperienza dell'utilizzatore e la sua conoscenza del mezzo di collaudo a disposizione.

Una volta definita in maniera ottimale la strategia di collaudo, la fase ed i tempi di part programmazione possono essere drasticamente ridotti utilizzando a pieno l'efficienza dei metodi ad oggi disponibili. La definizione della strategia di collaudo assistita da calcolatore è certamente uno dei temi di maggiore interesse sia per i costruttori di MdM sia per l'utenza; è comunque opinione dello scrivente che sviluppi in questa direzione si avranno soltanto in modo parallelo allo sviluppo ed alla diffusione di «Sistemi Esperti».

In tema di efficienza di tecniche di part programmazione occorre altresì osservare che, oltre alla efficienza globale del metodo stesso, all'esperienza e alla conoscenza del part programmatore, giocano un ruolo fondamentale le caratteristiche del tipo di pezzo da collaudare. In effetti, parti aventi un elevatissimo numero di elementi geometrici da misurare costituenti «pattern» ripetitivi (ad esempio un «Jet Pipe»), possono dare luogo a cicli di misura di parecchie ore, mentre la generazione del part program ad essi relativi, può risultare assai contenuta in termini di tempo.

Ciò in quanto parti aventi caratteristiche analoghe a quelle precedentemente descritte rendono possibili l'utilizzo, in fase di part programmazione, di funzioni logiche (FOR, IF, THEN, ELSE, ecc.). Vi sono, per contro, categorie di pezzi nei quali i punti da misurare sono relativamente pochi (ad esempio un sottoinsieme di carrozzeria), ma che comportano tempi di part programmazione superiori alla media, a causa della loro complessità morfologica e delle elaborazioni necessarie ad una corretta misurazione degli stessi.

Delle tre tecniche di part programmazione precedentemente citate quella ottimale, relativamente ai sistemi di CQD integrati nel processo di fabbricazione, è certamente la part programmazione remota in ambiente CAD per mezzo di moduli CAM orientati al collaudo dimensionale. Pertanto le restanti due tecniche verranno trattate solo a livello di breve illustrazione.

### *L'autoapprendimento*

L'autoapprendimento è una delle tecniche di part programmazione più diffusa. Essa consiste nella esecuzione, in modo manuale, del ciclo di collaudo sul primo pezzo del lotto; tale ciclo viene memorizzato dal sistema in modo da consentirne la ripetizione, in modo automatico, sui pezzi correnti.

Quasi la totalità dei centri di collaudo dimensionale a CN oggi disponibili sul mercato, consente di part programmare per autoapprendimento. Per generare programmi di collaudo utilizzando il metodo in questione occorre avere a disposizione:

- un individuo del lotto di pezzi da collaudare
- il centro di collaudo (RdM)

Durante la sessione di apprendimento, l'operatore utilizza, per la misurazione del pezzo in modo manuale, l'unità portatile di comunicazione uomo/macchina.

Nei centri di collaudo dimensionale più evoluti, l'unità portatile precedentemente citata

comprende anche un video ed una tastiera ASCII, oltre ad un certo numero di altri comandi funzionali; ciò affinché l'unità stessa possa divenire, se necessario, un vero e proprio terminale di sistema.

### *I linguaggi applicativi*

Prima ancora che fosse disponibile la tecnica di autoapprendimento illustrata al paragrafo precedente, le MdM a CN venivano programmate per mezzo di linguaggi speciali, sviluppati dai costruttori delle macchine stesse, per consentire la generazione di Part Program di collaudo. Tali linguaggi vengono definiti «linguaggi» in quanto orientati alla soluzione di un'applicazione specifica, in questo caso la metrologia dimensionale applicata alla macchina di misura a coordinate.

L'utilizzo del linguaggio applicativo per la generazione di un part program consiste nella scrittura di un programma contenente tutte le istruzioni necessarie alla esecuzione di un ciclo di collaudo in modo automatico. Evidentemente, ciò richiede la conoscenza approfondita del linguaggio stesso, cosa di per sé stessa assolutamente non trascendentale. Il problema deriva dal fatto che non esiste un linguaggio applicativo standard per la programmazione di macchine di misura a coordinate. Pertanto, specie nell'ambito di grandi gruppi industriali, dove è del tutto normale trovare centri di collaudo di differenti costruttori, ora ed è necessario apprendere un linguaggio per ogni marca di macchina installata.

In realtà, l'avvento di tecniche alternative di part programmazione ha generato una situazione nella quale sono assai rari i casi part programmazione tramite linguaggi applicativi.

Occorre comunque osservare che le tecniche alternative di part programmazione non hanno affatto cancellato il linguaggio applicativo come tale, ma lo hanno semplicemente reso quasi trasparente all'utilizzatore; infatti una sessione di autoapprendimento genera ancora una serie di istruzioni in linguaggio applicativo. Inoltre, un part programmatore deve essere in grado di leggere il tabulato di un part program, sia pure generato in autoapprendimento, e ciò comporta la conoscenza del linguaggio.

### *Moduli CAM orientati al collaudo dimensionale*

Si tratta della tecnica di generazione di Part Program per collaudo dimensionale più moderna ed evoluta. In pratica, generare Part Program in ambiente CAD/CAM consiste nel simulare una sessione di autoapprendimento su una stazione di lavoro, utilizzando il modello matematico della parte da misurare.

La necessità di un approccio del tipo in questione ha iniziato a delinearsi nella prima metà degli anni '80, sulla spinta di grandi aziende già utilizzatrici esperte di sistemi CAD/CAM. La grande industria, già consueta alla programmazione di macchine utensili a CN per mezzo di moduli CAM, intuì la validità di un simile tipo di approccio anche per la MdM.

Ciò generò una situazione assai curiosa nella quale:

- i fornitori CAD/CAM conoscevano appena l'esistenza della MdM e della metrologia dimensionale

- i fornitori di MdM avevano una esperienza assai scarsa di ambienti di programmazione CAM (se non come utilizzatori diretti).

Tuttavia, sia per la validità del concetto in se stesso, sia per il grande potere contrattuale che i grandi gruppi industriali vantano nei confronti dei propri fornitori, iniziò lo sviluppo di interfacce software in ambienti CAM per la part programmazione di centri di collaudo a CN.

Questa prima fase vide i fornitori di CAD/CAM quasi completamente assenti.

La DEA, prima tra i costruttori di macchine di misura, sviluppò MEACAD, un modulo software che consentiva di generare, in ambiente CATIA e CADAM, Part Program per il controllo dimensionale. MEACAD era strutturato in modo da consentire la generazione di un «CL FILE» (Cutter Location File, denominazione mediata dai sistemi di part programmazione per macchine utensili) orientato al collaudo e quindi, di tradurlo in codice eseguibile da macchine o robot di misura DEA.

Il CL FILE conteneva tutte le informazioni necessarie alla generazione di un part program di collaudo. L'insieme di informazioni veniva definito dall'utilizzatore in ambiente CAM, con procedura analoga a quella utilizzata per la generazione di un CL FILE per lavorazione.

MEACAD metteva a disposizione dell'utente una tabella, simile a quella comunemente usata dal modulo CAM, contenente funzioni orientate al processo di collaudo. L'operatore, osservando una determinata sintassi, era quindi in grado di definire sistemi di riferimento, misure di elementi, elaborazioni, formato di output, ecc.

Il modulo CN, proprio del sistema CAM utilizzato, convertiva l'insieme di istruzioni precedentemente descritte in un CL FILE. Infine il modulo post processore, insito in MEACAD, traduceva il CL FILE in part program di collaudo eseguibili.

Programmi di questo tipo ebbero un buon successo principalmente in quanto rappresentavano l'unica soluzione disponibile; in realtà essi rappresentarono un rilevante investimento di

sviluppo e comportarono una serie di notevoli problemi di gestione quali:

- difficoltà di aggiornamento in funzione delle nuove versioni di programmi applicativi
- difficoltà di aggiornamento in funzione delle nuove versioni di CAD/CAM
- notevoli investimenti di tempo e risorse necessari al continuo miglioramento ed aggiornamento del prodotto.

In sostanza, i programmi in questione hanno costituito il punto di partenza di un approccio di tipo evoluto alla part programmazione assistita da calcolatore; tuttavia, essi non rappresentano più la soluzione valida né dal punto di vista tecnologico né da quello economico.

In seguito alla crescente diffusione della tecnologia di collaudo tridimensionale ed all'aumentata concorrenza nel settore della progettazione e lavorazione assistita da calcolatore, i fornitori di CAD/CAM iniziarono ad interessarsi della part programmazione per centri di collaudo dimensionale.

Quanto precedentemente descritto portò allo sviluppo, questa volta gestito direttamente dai fornitori di CAD/CAM, di moduli CAM già in origine orientati alla generazione di part program di collaudo. Inoltre, essendo questi programmi in ambiente CAD/CAM, è logico che abbiano tratto giovamento, in termini di potenza ed utilizzo di risorse, dal fatto di essere sviluppati dal fornitore del CAD/CAM stesso.

Occorre tuttavia osservare che tali programmi comporterebbero tutti i problemi precedentemente citati a riguardo dei moduli sviluppati dai costruttori di MdM se nel frattempo, non fosse stato sviluppato «DMIS».

«DMIS» (Dimensional Measuring Interface Specification) sembra rappresentare l'elemento destinato a portare ordine nel settore della part programmazione di centri di collaudo dimensionale in ambiente CAD/CAM.

DMIS è un progetto nato e sviluppato negli USA; i rappresentanti dei maggiori gruppi industriali americani, avvertendo i disagi causati dalla mancanza di un linguaggio di programmazione standard per l'attività di collaudo dimensionale, costituirono nel 1984 un gruppo di lavoro per la definizione delle specifiche di tale standard. A far parte del gruppo di lavoro vennero chiamati, oltre ai potenziali utilizzatori, anche un certo numero di qualificati consulenti di metrologia dimensionale: per il settore della MdM venne richiesta la partecipazione della DEA. Il progetto venne quindi affidato al CAM-I, gruppo internazionale per lo sviluppo delle attività di processo tecnologico assistite da calcolatore.

DMIS è oggi alla versione 2.1 ed è adottato

da tutti i maggiori costruttori di macchine di misura e fornitori di sistemi CAD/CAM.

Recentemente deliberato standard ANSI (il 26.02.90), DMIS è in corso di valutazione per la standardizzazione ISO; di fatto esso rappresenta già uno standard internazionale.

L'obiettivo di DMIS è quello di costituire un'interfaccia attraverso la quale un programma di misura, generato su un qualsiasi centro CAD, sul quale sia disponibile un modulo CAM orientato al collaudo, possa essere eseguito da un qualsiasi centro di misura a coordinate. Inoltre, scopo di DMIS è di ottenere risultati di collaudo universali, comprensibili sia a sistemi CAD/CAM sia a sistemi QIS (Quality Information System).

L'ovvio e grande vantaggio di un simile standard è costituito dal fatto che ogni fornitore di sistemi CAD/CAM o di centri di misura a coordinate deve approntare un'unica interfaccia verso DMIS, in luogo di sviluppare molteplici interfacce dedicate per ciascuno dei sistemi disponibili sul mercato. Ciò costituisce, evidentemente, un vantaggio sia per i fornitori sia per gli utilizzatori. Il vocabolario DMIS è simile, in quanto a sintassi, al linguaggio di part programmazione APT per macchine utensili a CN.

Alcune delle parole DMIS sono prese direttamente dal vocabolario APT. È bene, comunque, osservare che, sebbene alcune parole DMIS siano identiche a parole APT, esse possono avere differente significato o sintassi nel contesto di DMIS.

DMIS prevede due tipi di istruzione fondamentali, istruzioni orientate al processo ed istruzioni orientate alla definizione della geometria della parte. I comandi di processo sono quelli relativi ai posizionamenti macchina e parametri tecnologici della stessa, comandi, quindi, strettamente connessi al processo fisico di collaudo. Ad esempio, un'istruzione di posizionamento ha il seguente formato: GOTO/valore x, valore y, valore z.

Le definizioni geometriche sono invece utilizzate allo scopo di descrivere la geometria del pezzo, le tolleranze, sistemi di riferimento ed altri tipi di informazioni che possono essere tipicamente disponibili in una base dati CAD. Ad esempio, l'istruzione relativa alla definizione della tolleranza di un elemento circolare ha il seguente formato:

T (nome elemento) = TOL/DIAM, valore limite inferiore, valore limite superiore DMIS ha per ora, e probabilmente in maniera definitiva, avuto la meglio sui tentativi di standardizzazione europea quali CMMA ed NCEMESS. Lo

schema concettuale di una architettura DMIS è rappresentato in Fig. 16.

### I programmi di elaborazione statistica

Come illustrato al capitolo 1, è necessario, al fine di controllare un processo, che lo stesso sia tenuto nei limiti di controllo statistico. È stato inoltre descritto come i moderni sistemi di controllo ed elaborazione dati dei RdM siano dotati di potenti programmi per l'elaborazione statistica.

DEA DES (Data Evaluation System) è un ambiente di elaborazione dati che fornisce una serie di programmi applicativi, ognuno dei quali orientato all'analisi, in tempo reale, dei dati di misura con tecniche differenti.

Tutti i moduli fanno riferimento ad un'unica base dati, INGRES, dove possono essere archiviati i dati provenienti da tutti i RdM installati lungo il processo. I diversi moduli applicativi, rappresentati in Fig. 17, svolgono le seguenti attività:

— EXPERT. È un programma per la valutazione statistica off-line dei risultati di misura, che consente di valutare l'andamento produttivo tramite report alfanumerici, carte di controllo e grafici statistici.

— GLANCE. È un programma che fornisce, attraverso rappresentazioni di tipo grafico, uno strumento semplice per l'interpretazione visiva immediata dei risultati di misura.

— SYS. È il programma che gestisce la base dati e che è quindi sempre presente nell'ambiente DES, a prescindere dal numero e dal tipo di programmi applicativi in esso presenti. Mediante questo modulo è possibile modificare le informazioni contenute in archivio; si osservi che questa operazione non è mai consentita dagli altri moduli applicativi allo scopo di salvaguardare la base dati da erronee manipolazioni. Il modulo SYS permette di impostare molte delle variabili di sistema, come, ad esempio, la definizione dei dispositivi di misura, il metodo di confronto con i limiti di tolleranza, la formula per calcolare la capacità di processo ( $Cpk$ ), la dimensione dei sottogruppi per l'analisi statistica, il formato dei grafici statistici, e così via. Inoltre, SYS mette a disposizione alcune funzioni per riorganizzare la struttura interna dei dati, per farne il «back-up» e per cancellarli.

Per quanto concerne questo documento descriveremo brevemente solo l'ambiente statistico EXPERT.

EXPERT è un programma per l'analisi statistica in tempo reale dei risultati di misura allo scopo di controllare attraverso la qualità delle parti prodotte l'efficienza dei processi di lavoro-

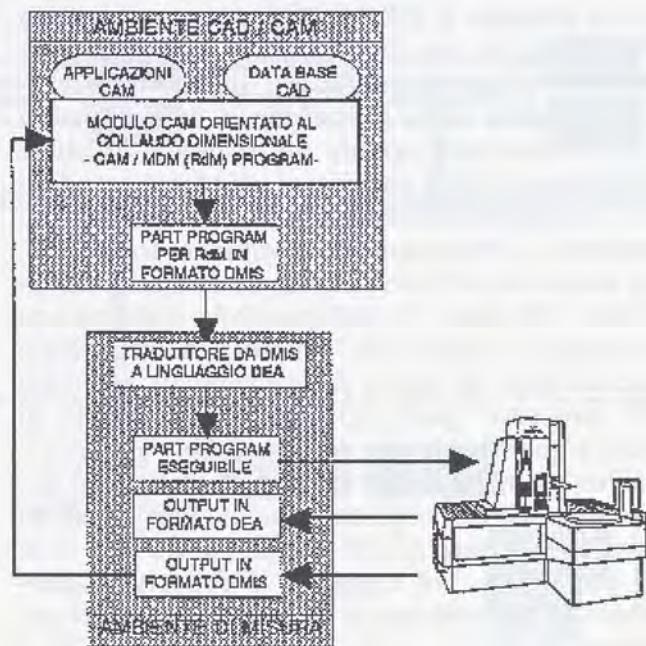


Fig. 16 - Microstruttura di un part program per **RdM Dea a 2 bracci**.

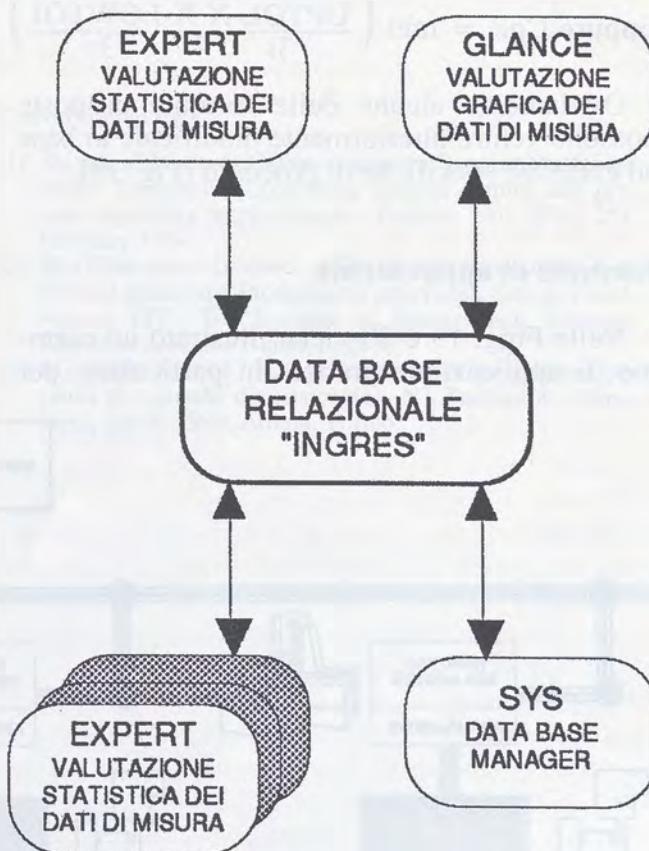


Fig. 17 - Architettura di Dea «Des».

razione. I risultati delle elaborazioni, forniti sotto forma di grafici e report alfanumerici, permettono di individuare rapidamente le cause responsabili della degenerazione qualitativa in corso sul processo di produzione e facilitano l'identificazione delle azioni da intraprendere per eliminare le potenziali fonti di errore.

La struttura di EXPERT consente un'estrema flessibilità sia per quanto riguarda i criteri di selezione dei dati da analizzare, sia per le possibilità di scelta nella formulazione delle funzioni statistiche e nel formato dei risultati. Infatti la selezione dei dati può essere effettuata prendendo contemporaneamente in considerazione più variabili, differentemente combinate tra di loro, in modo da definire insiemi di dati utilizzando criteri differenti. È così possibile stabilire una strategia di analisi che consenta di identificare rapidamente le cause delle eventuali anomalie del processo quali, ad esempio, materiale di scarsa qualità, utensili difettosi, ecc.

Per quanto riguarda le formule statistiche utilizzate nelle elaborazioni, l'utente può, in alcuni casi, selezionare quelle desiderate tra una serie di possibilità. Per esempio, la capacità di processo ( $Cpk$ ) può essere definita in uno dei seguenti modi:

$$Cpk = \frac{UPTOL - \bar{X}}{3s} \text{ oppure } Cpk = \frac{\bar{X} - LOWTOL}{3s}$$

$$\text{oppure } Cpk = \min \left( \frac{UPTOL - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - LOWTOL}{3s} \right)$$

Ovviamente alcune delle formule proposte possono venire ulteriormente modificate in base ad esigenze specifiche di processo (Fig. 18).

### Esempio di applicazione

Nelle Figg. 19 e 20 viene illustrato un esempio di applicazione pratica. In particolare, per

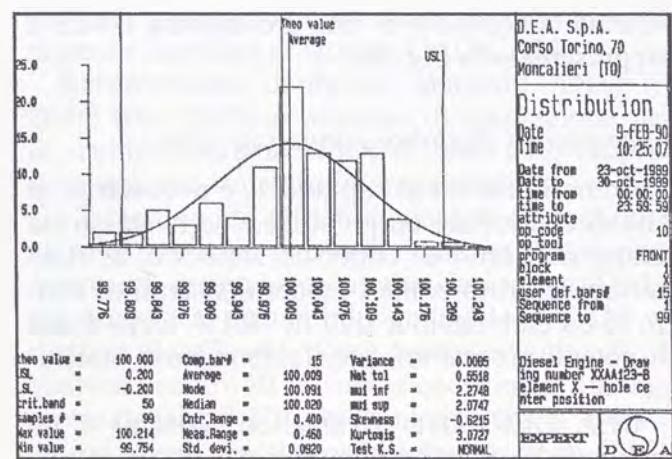


Fig. 18 - Esempio di distribuzione ottenuta tramite programma di elaborazione statistica Dea «Des-Expert».

quanto concerne l'integrazione informatica, si osservi in Fig. 19 e 20 come:

— il sistema di controllo ed elaborazione dati DEA MASTER gestisca, oltre alle normali attività di misura, sia il colloquio con il calcolatore supervisore di linea sia, attraverso il collegamento ad un PLC le attività di alimentazione delle parti da misurare.

— l'analisi dei dati di misura sia articolata su tre livelli differenti: piede macchina, linea, centralizzata, ciò allo scopo di garantire modularità di analisi distribuita ed in tempo reale, per la gestione a carattere preventivo dell'efficienza del processo e, conseguentemente, della Qualità del prodotto.

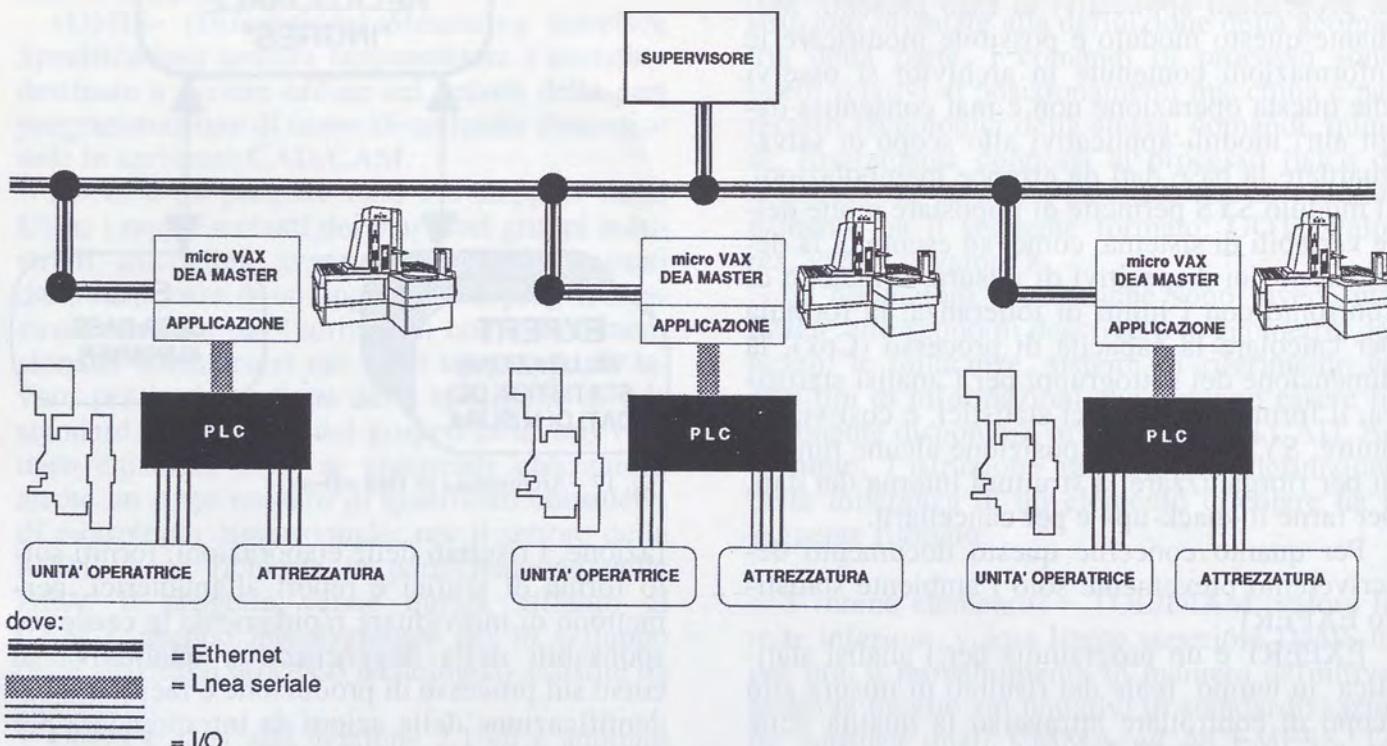
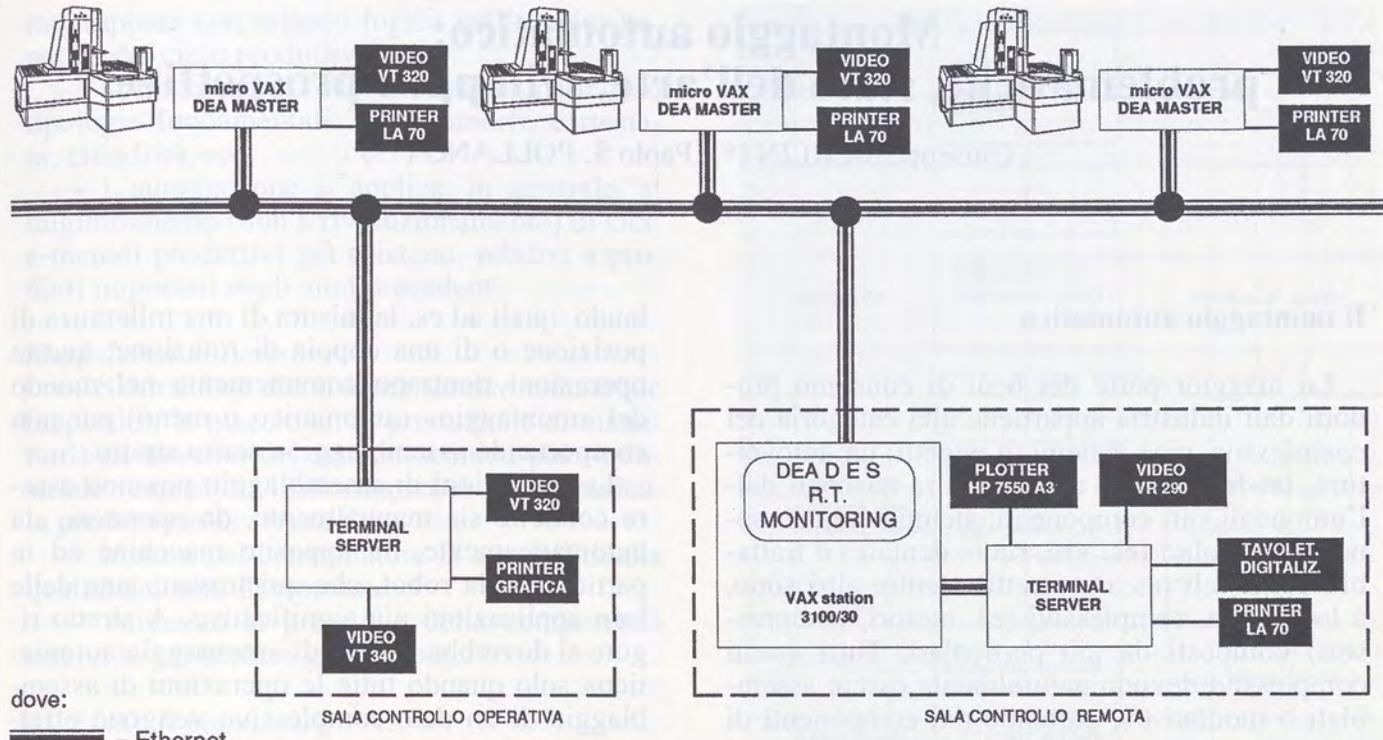


Fig. 19 - Schema collegamenti per CDQ integrato in sistema flessibile di lavorazione.



dove:

— = Ethernet

Fig. 20 - Schema collegamenti per trattamento statistico dati.

## Conclusioni

Le tecniche avanzate di CQD rendono disponibili mezzi adeguati al controllo qualitativo del processo; per raggiungere obiettivi di eccellenza occorre tuttavia che la misura venga pensata come una delle fasi fondamentali dell'iter produttivo e, di conseguenza, essa sia pianificata ed integrata in modo armonioso nel processo durante la progettazione dello stesso.

## Cenni Bibliografici

- [1] Statistical Methods Office Operation Support Staff Ford Motor Company, «Continuing process control and process capability improvement» Booklet No. 80-01-251, February 1984.
- [2] W. EDWARDS DEMING, «On Some Statistical Aids Toward Economic Production» Interfaces, Vol. 5, No. 4, August 1975, The Institute of Management Sciences, Providence, Rhode Island, Page 5.
- [3] MAURIZIO ERCOLE, «La generazione di programmi per centri di collaudo dimensionale», NT Tecnica & Tecnologia, Aprile 1990, Amma, Torino.

# Montaggio automatico: problematiche, stato dell'arte, sviluppi e prospettive

Giuseppe MERLIN (\*), Paolo S. POLLANO (\*\*)

## Il montaggio automatico

La maggior parte dei beni di consumo prodotti dall'industria appartiene alla categoria dei *complessivi*, cioè insiemi di oggetti: un'autovettura, un frigorifero, una serratura nascono dall'unione di vari componenti, alcuni dei quali sono pezzi isolati (es. viti, ruote dentate) o trattabili come tali (es. cuscinetti) mentre altri sono, a loro volta, complessivi (es. motori, compressori) composti da più particolari. Tutti questi complessivi devono naturalmente essere assemblati o montati<sup>(1)</sup>, partendo dai componenti di base: di norma si preferisce pre-assemblare i gruppi più semplici (es. un insieme biella-pistone), con questi comporre i più complessi (es. un motore), e così via fino ad ottenere il prodotto finale completo (es. un'autovettura).

Le operazioni di assemblaggio sono di natura assai varia, potendo comprendere:

- 1) avvitature (es. di bullonerie);
- 2) inserzioni (es. di ingranaggi su alberi);
- 3) calzamenti (es. di anelli Seeger);
- 4) piantaggi a pressa (es. di cuscinetti);
- 5) spalmature (es. di cordoni di silicone);
- 6) incollaggi;
- 7) riempimenti (es. con olio lubrificante);
- ecc.

ma il loro connotato comune è che, di norma, non comportano azioni di asportazione di materiale dall'oggetto assemblato (quali torniture, fresature, forature, ecc.) e dunque non richiedono l'uso di macchine utensili.

Le operazioni di saldatura possono essere comprese nelle sequenze di assemblaggio dei complessivi ma, di norma, solo per saldature «leggere» (piccoli particolari); le saldature «pesanti» (es. scocche di carrozzerie) sono generalmente eseguite da appositi impianti automatizzati, distinti da quelli destinati al montaggio vero e proprio. Nelle sequenze di assemblaggio, inoltre, sono spesso comprese operazioni di col-

laudo, quali ad es. la misura di una tolleranza di posizione o di una coppia di rotazione: queste operazioni rientrano comunemente nel mondo del «montaggio» (automatico o meno) pur non comportando assemblaggi in senso stretto.

Le operazioni di assemblaggio possono essere condotte sia manualmente, da operatori, sia automaticamente, da apposite macchine ed in particolare da robot, che qui trovano una delle loro applicazioni più significative. A stretto rigore si dovrebbe parlare di «montaggio automatico» solo quando tutte le operazioni di assemblaggio di un dato complessivo vengono effettuate automaticamente, ma in realtà il termine si estende a casi più generali, in cui si riscontra un mix di operazioni automatizzate (esempio tipico: avvitatura) ed operazioni manuali tradizionali (esempio tipico: aggiunta di accessori al complessivo). Peraltro, anche in presenza di automazione totale, due categorie di operazioni restano parzialmente o completamente manuali:

- 1) gli interventi manutentivi (programmati) o di ripristino delle macchine in caso di avaria;
- 2) gli interventi per il rifornimento delle macchine automatiche.

Si può dunque concludere questa «presentazione» del montaggio automatico definendo, con uno schema a blocchi, la sua posizione nell'ambito di un processo produttivo (fabbricazione di un'autovettura) scelto come esempio tipico (Figura 1).

## Dai primi approcci al «boom»

Sono proponibili diverse cronologie per l'evoluzione storica dell'automazione nel montaggio.

### Anni '70: primi approcci

— Congiuntura mondiale: critica, poi sfavorevole.

— Automazioni parziali: operazioni su macchina utensile (controlli numerici), saldature, verniciature; operazioni di misura e collaudo (robot di misura).

— Si imposta il concetto di «isola» di lavorazione automatizzata, come gruppo integrato di macchine automatiche che eseguono una determinata operazione, o sequenza di operazioni,

(\*) Presidente SARMAS, Macchine di montaggio.

(\*\*) Coordinatore programma Xirio, SARMAS.

(<sup>1</sup>) I due termini sono sinonimi e come tali verranno usati in questo articolo.

raggruppate con criterio logico nell'ambito generale del ciclo produttivo.

— Si impostano i robot industriali, nelle loro tipologie fondamentali: antropomorfi, cartesiani, cilindrici, ecc.

— L'automazione si applica, in generale, al miglioramento (non a rivoluzionario) di cicli e metodi produttivi già esistenti, relativi a prodotti impostati negli anni precedenti.

#### *Metà decennio: crisi.*

— Saturazione del sistema tecnico industriale (casisaldi: la macchina; la produzione di manufatti) ed avvento del sistema tecnico post-industriale (casisaldi: l'informatica e la telematica: la produzione di servizi).

— Matura nel consumatore la sensibilità alla qualità dei beni di consumo.

— Aumenta la pressione della concorrenza estera, in particolare giapponese.

#### *Anni '80: il boom*

— Congiuntura mondiale: favorevole.

— Rivoluzione tecnologica («seconda rivoluzione industriale»).

— Consolidamento del nuovo sistema tecnico e della relativa tecnologia: era dell'elettronica e delle sue applicazioni ad ampio spettro. Boom del microprocessore e del personal-computer.

— Espansione rapida e vigorosa dell'automazione industriale, sostenuta da:

- nuove generazioni di robot;
- nuove generazioni di supporti elettronici per il comando e controllo dei macchinari (PLC, CNC);
- nuove mentalità e filosofie, che si traducono in nuove strategie industriali.

— Automazione spinta, si procede verso l'automazione integrale.

— Maturazione dei concetti applicativi impostati nel decennio precedente e sviluppo di concetti nuovi: CIM/FMS/FAS<sup>(2)</sup>.

— Massima sensibilità del consumatore agli aspetti di qualità e costo/efficienza del prodotto.

— Massima pressione della concorrenza («pericolo giallo», ecc.).

(2) CIM = Computer Integrated Manufacturing: gestione informatizzata, completamente integrata, di tutte le fasi del processo produttivo. L'intero stabilimento (o gruppo di stabilimenti) è visto come un'unica macchina automatica, governata da uno staff di calcolatori.

FMS = Flexible Manufacturing System: uno stesso macchinario automatizzato (generalmente composto da più isole, robot, ecc.) può produrre più prodotti simili tra loro ma diversi (es. diverse versioni di una stessa famiglia di motori per automobili) commutandosi da un tipo all'altro senza richiedere riaffrettamenti o riconfigurazioni. Il FAS = Fl. Assembly Sy. è l'applicazione del concetto FMS al caso particolare del montaggio automatico.

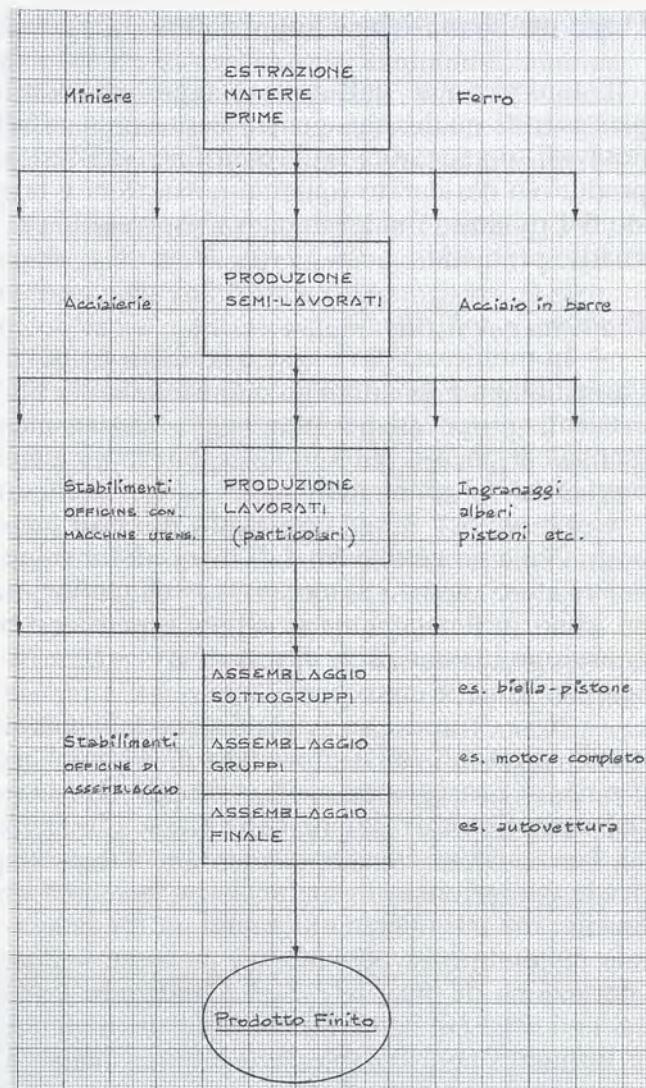


Fig. 1 - Montaggio automatico nell'ambito di un processo produttivo.

#### *Anni '90: l'equilibrio*

— Congiuntura mondiale: incerta.

— Affinamento delle tecnologie esistenti; loro evoluzione, non rivoluzione.

— Maturazione e prime analisi critiche dei concetti CIM/FAS e collegati. Primi riscontri storici e statistici dell'automazione totale, come introdotta alla fine degli Anni '80; prime analisi a medio-lungo periodo dei sistemi di produzione altamente automatizzati e dei relativi rapporti costo/prestazioni.

— Trend del mercato verso prodotti a breve ciclo di vita. Impostazioni di nuovi concetti: *carry-over* e *lean technology*<sup>(3)</sup>.

(3) *Carry-over*: a problemi analoghi, soluzioni analoghe. Evitare di re-inventare ogni volta le soluzioni ai problemi di automazione, ma sfruttare e, dove necessario, affinare soluzioni preesistenti dimostratesi valide. *Lean technology*: sistemi di produzione semplificati ed a basso costo, dunque con ridotti tempi di ammortamento (ma con elevata qualità produttiva) per prodotti a breve ciclo di vita.

## Oggi: problematiche e potenzialità

L'automazione dell'assemblaggio di complessivi, di qualunque genere essi siano, offre notevoli potenzialità nei confronti dell'esito produttivo desiderato (qualità, prestazioni e costo del prodotto finale) ma deve risolvere impegnativi problemi.

### Problemi e soluzioni:

— In molti casi deve essere studiato ex-novo l'assemblaggio in automatico di complessivi già esistenti, progettati per montaggio strettamente manuale e poco o nulla modificabili (approccio *bottom-up* del problema).

I casi opposti e più favorevoli, in cui il prodotto viene progettato fin dall'inizio in funzione del relativo metodo automatizzato di produzione, sono fortunatamente in rapida espansione e questa problematica è destinata a scomparire spontaneamente entro pochi anni.

— Non esistono, in generale, modelli matematici razionali delle procedure di assemblaggio né, di conseguenza, vere e proprie basi teoriche per l'ottimizzazione delle stesse<sup>(4)</sup>. Queste basi esistono invece, e sono ben sviluppate, per le operazioni convenzionali su macchina utensile: ma tali operazioni hanno un fondamentale denominatore comune nel processo dell'asportazione di materiale. Nel montaggio, invece, non esistono denominatori fondamentali così influenti: ogni complessivo è un problema a sé stante e lo studio deve essere condotto caso per caso.

L'unica soluzione razionale di questo problema è nella flessibilità intrinseca delle macchine automatizzate di montaggio. Queste, infatti, dovrebbero potersi adattare ad applicazioni sempre diverse (es. assemblaggio di un motore, di un frigorifero, di una serratura) conservando buone prestazioni e buona economicità di acquisto e gestione, senza per questo richiedere laboriose (e costose) riprogettazioni e riattrezzamenti. La flessibilità totale è ovviamente irraggiungibile: un'ottima flessibilità intrinseca è tipica dei robot, e questo contribuisce a spiegare la loro amplissima diffusione nei contesti industriali avanzati. I macchinari di contorno ai ro-

<sup>(4)</sup> Esistono bensì sofisticati modelli matematici per il controllo dei robot che, come si è detto, rivestono un ruolo primario nell'automazione del montaggio. Ma questi modelli si limitano ad analizzare i movimenti del robot (es. avanza, arretra, va in un dato punto); nulla dicono in merito all'operazione specifica che lo stesso robot deve eseguire (es. inserire un cuscinetto su un albero) la cui ottimizzazione, nell'ambito della sequenza complessiva di assemblaggio, non può avvalersi se non in misura minima di modellazioni matematiche e deve basarsi sull'esperienza.

bot (es. sistemi per il trasferimento dei complessivi da un'isola all'altra) sono generalmente «rigidi», a meno che la loro architettura non sia stata impostata fin dall'inizio su basi di modularità e riconfigurabilità. Questa tecnologia, che impone l'uso esteso di sottosistemi standard prefabbricati per la costruzione delle macchine, si è dimostrata vincente sotto ogni aspetto ma è, nel complesso, assai sofisticata e risulta attualmente adottata solo da pochi costruttori-leader nel campo dell'automazione.

### Potenzialità:

— *ottimizzazione* delle operazioni e delle sequenze di assemblaggio: è possibile studiare a tavolino operazione per operazione e sequenza per sequenza, fino ad ottenere il miglior rapporto costo/prestazioni dell'intero processo produttivo, e successivamente implementare i risultati sulle macchine automatiche, senza alcuna preoccupazione in merito alla difficoltà, laboriosità o «innaturalità» delle operazioni stesse<sup>(5)</sup>.

— *ripetibilità* delle operazioni e sequenze ottimizzate: è infatti chiaro che, in teoria, la macchina automatica opportunamente programmata eseguirà all'infinito le operazioni previste, in modo perfettamente ripetitivo. In pratica è necessario adottare alcune cautele, come vedremo in seguito, ma questo non altera l'importanza del principio.

### Il montaggio automatico come fattore di qualità

Si è già parlato della crescente sensibilità che, dalla seconda metà degli anni '70, i consumatori hanno dimostrato di provare in tema di qualità dei prodotti loro destinati e che, all'inizio di questi anni '90, è diventata il fattore trainante di quasi tutte le produzioni di beni di consumo. L'automazione dell'assemblaggio è, appunto, un fattore-chiave di qualità, sia interna che esterna.

— *Qualità interna*: beneficio diretto per il costruttore, beneficio indiretto per il consumatore. Si manifesta con una riduzione dei macro-difetti del prodotto, cioè di quei difetti che, pur non arrivando al consumatore perché intercettati durante il collaudo eseguito dal costruttore, determinano comunque un'alta percentuale di scarti di produzione e, di conseguenza, un aumento dei costi. *Esempio tipico*. Un motore per

<sup>(5)</sup> La scarsa naturalità dei gesti, che gli operatori avrebbero dovuto eseguire per ciascuna operazione e che erano stati oggetto di accurato studio su basi ergonomiche ma non psicologiche, fu una delle cause che concorsero all'accantonamento del taylorismo come metodo di ottimizzazione della produzione industriale.

automobili in cui, per errore, la testata non sia stata avvitata al basamento: il motore difettoso verrà facilmente bloccato al collaudo e non finirà sul mercato ma, in ogni caso, rappresenterà un onere economico per il costruttore. La qualità del prodotto potrà rimanere elevata, ma il consumatore dovrà pagarla a più caro prezzo.

— *Qualità esterna*: beneficio indiretto per il costruttore, beneficio diretto per il consumatore. Si manifesta con una riduzione dei microdifetti del prodotto, cioè di quei difetti che, sfuggendo al collaudo eseguito dal costruttore, raggiungono il consumatore con ovvio detimento all'immagine del prodotto stesso. *Esempio tipico*. Lo stesso motore dell'esempio precedente, in cui la testata sia stata avvitata al basamento ma senza stringere correttamente le viti. Il motore potrà così superare il collaudo (che normalmente è di breve durata) ma, inevitabilmente, andrà incontro a rottura prematura quando sottoposto ad uso prolungato: il prodotto si farà fama di cattiva qualità e sarà evitato dagli acquirenti.

### *Ma chi custodisce il custode?*

Si è già accennato che l'infallibilità delle macchine automatiche deve essere presa con cautela: non certo per sminuire l'importanza dell'automazione, ma anzi per esaltarne le prestazioni impiegandone razionalmente le risorse. Una macchina di montaggio automatica, per quanto ben progettata e correttamente programmata, può comunque commettere errori per due motivi principali:

1) guasto alla macchina (esempio: un robot deve prelevare un cuscinetto ed inserirlo su un albero, ma il suo attrezzaggio va in avaria: l'inserzione non viene più eseguita).

2) pezzo da assemblare non conforme al previsto (esempio: il robot di cui sopra viene alimentato, per errore, con cuscinetti diversi da quelli adatti per quel montaggio).

Anche in questo caso esiste una gerarchia degli errori o, meglio, delle loro conseguenze sulla qualità del prodotto finale:

— *Macroerrori*: operazione prevista non eseguita (es. cuscinetto non inserito sull'albero). Generalmente intercettati al collaudo, rappresentano comunque un costo aggiuntivo.

— *Microerrori*: operazione prevista eseguita in modo errato (es. cuscinetto mal inserito, o inserito cuscinetto sbagliato). Talvolta non intercettati, possono raggiungere il consumatore.

Può sembrare strano, ma la fallibilità delle macchine automatiche è una scoperta (o ri-scoperta) relativamente recente, nata in buona parte dalle analisi statistiche ad ampia base resesi ultimamente disponibili. Per questo problema,

che ha esercitato non poca influenza sulle odierne tendenze di pensiero nel campo dell'automazione, sono state escogitate svariate soluzioni. Tre, opportunamente combinate fra loro, si stanno rivelando vincenti in base alle esperienze:

1) *Monitoraggio*: controllo continuo ed in tempo reale delle attività e condizioni di ciascuna macchina automatica (diagnostica), esercitato mediante appositi sistemi di rilevamento ed elaborazione dei dati.

2) *Oggettivazione*: ciascuna operazione automatica interessa due macchine, diverse e indipendenti, che operano in sequenza: la prima macchina esegue l'operazione, la seconda ne controlla l'esito. *Esempio tipico*. Un robot inserisce un cuscinetto su un albero (operazione), un sistema di visione con telecamera «osserva» il risultato (controllo).

3) *Postazioni di ripristino (presidiate)*: le macchine automatiche eseguono tutte le operazioni di assemblaggio ma sono affiancate, ad opportuni intervalli, da postazioni di lavoro con operatori che, secondo necessità, eseguono interventi di ripristino su quei complessivi sui quali una o più delle previste operazioni automatiche non sono andate a buon fine. Questa

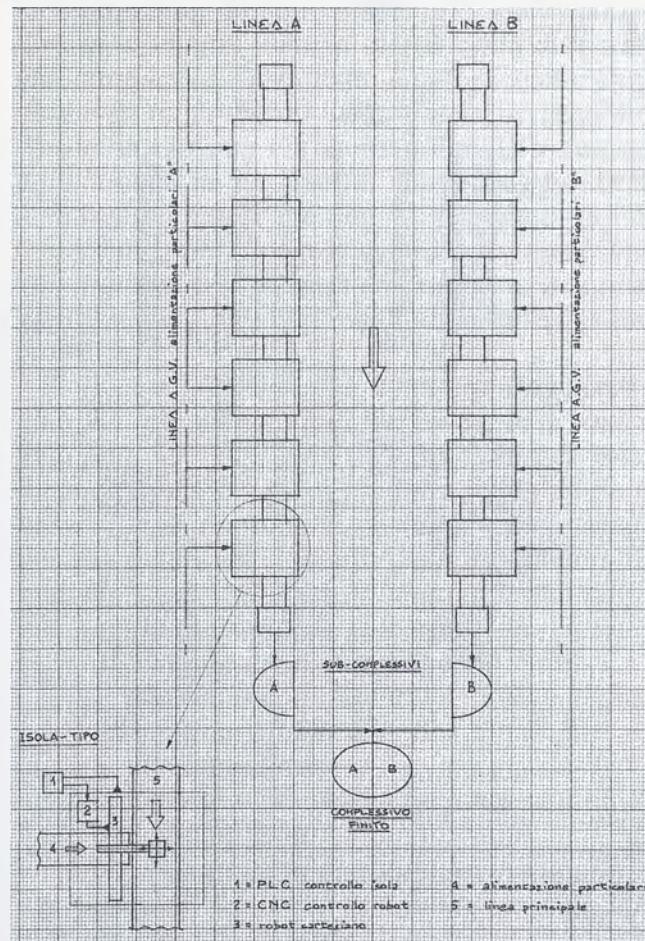


Fig. 2 - Impianto completamente automatizzato per produzioni intensive.

soluzione non «uccide» il concetto di automazione, ma lo razionalizza: si tenga presente che, di norma, la proporzione fra isole automatizzate e relative prestazioni di ripristino è dell'ordine di 5:1.

### Dallo stato dell'arte...

Come esempio significativo di stato dell'arte del montaggio automatico si illustra una realizzazione SARMAS, che segue l'assemblaggio di un complessivo destinato ad organi di trasmissione per autovetture. L'impianto, completamente automatizzato, attua concetti produttivi avanzati (CIM/FAS) ed è destinato a produzioni intensive (oltre 250 pezzi/ora su due o tre turni) con alto livello di qualità (Figura 2).

Il complessivo da assemblare è costituito da due sub-complessivi, simili ma diversi, che

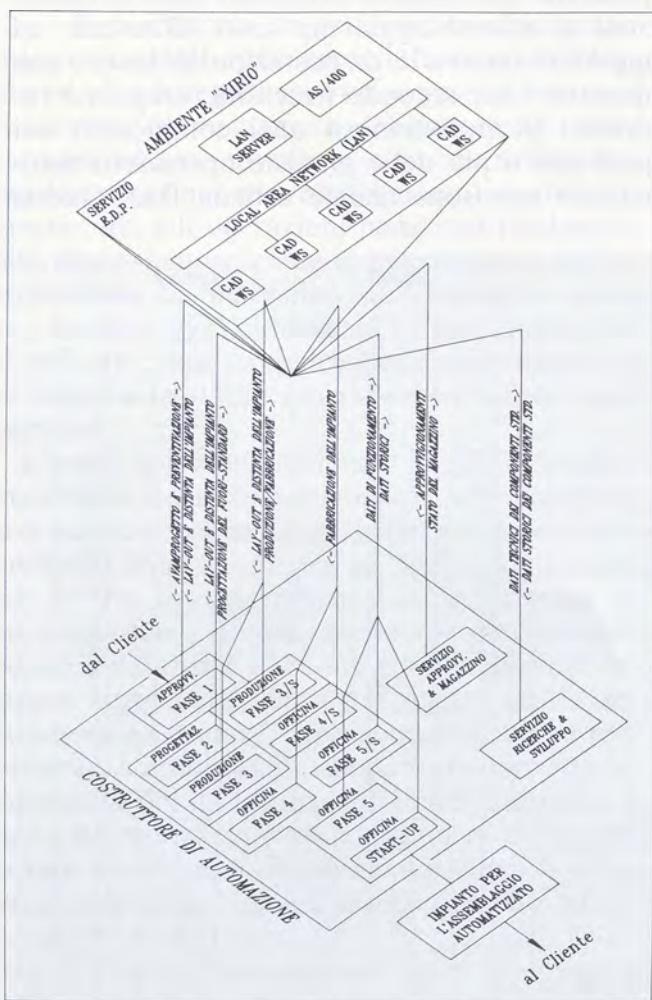


Fig. 3 - Schema generale a blocchi di un sistema informativo complesso (sistema XIRIO) per la progettazione, fabbricazione e gestione di impianti di montaggio automatizzati, basati su componenti standard modulari e componibili.

FASI: (1) avamprogetto; (2) progettazione di eventuali componenti fuori-standard; (3)-(4)-(5) loro fabbricazione, installazione e messa in servizio; (3/S)-(4/S)-(5/S) prelievo da magazzino, installazione e messa in servizio dei componenti standard.

chiameremo «A» e «B» e che devono essere prodotti simultaneamente ed in pari quantità. L'impianto, di conseguenza, è sdoppiato in due linee automatizzate parallele, che indicheremo come «Linea A» e «Linea B»; ciascuna linea è a sua volta composta da più isole di lavorazione robotizzate, connesse da un sistema di trasferimento del complessivo, ed alimentate da carrelli filoguidati AGV. L'assemblaggio del complessivo finale «A» + «B» avviene, secondo necessità, a valle dell'impianto.

L'impianto assembla globalmente 18 particolari nei due sub-complessivi, per un totale di 51 operazioni. Queste, come accennato, sono eseguite esclusivamente da macchine automatiche e da robot (cartesiani, in questo caso) e l'impianto stesso offre dunque un buon esempio di «montaggio automatico» in senso stretto: l'intervento degli operatori è richiesto solo per manutenzione od in caso di malfunzionamento. Conformemente alle più recenti tendenze tecnologiche, l'impianto è corredato di:

— *oggettivazione*: attuata su tutte le operazioni, con sistemi di visione ed altri dispositivi di controllo.

— *monitoraggio*: l'impianto è dotato di propria diagnostica, incorporata nel software degli apparati di governo (PLC-CNC);

— *ripristino*: quattro postazioni presidiate assicurano, secondo necessità, il ripristino di complessivi difettosi.

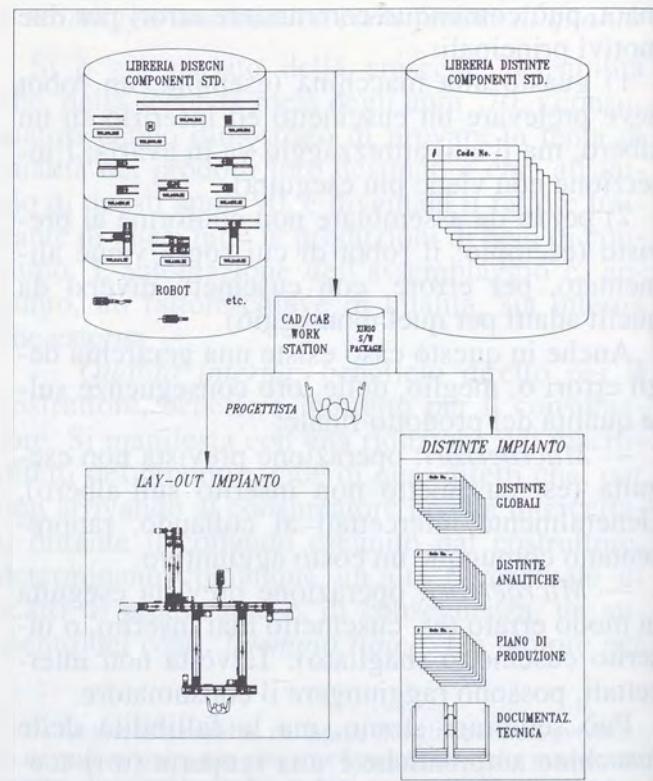


Fig. 3 bis - Schema funzionale del sistema XIRIO.

L'impianto è basato per oltre il 70% su componenti standard prefabbricati, modulari e componibili, assemblati secondo necessità per formare unità automatizzate complete: linee di trasferimento complessivi, isole di lavorazione robotizzate (i robot nascono a loro volta per composizione di sub-componenti standard), ecc. (6).

Grazie a questa peculiare architettura, la complessiva tecnologia dell'impianto e le sue elevate prestazioni non ne hanno impedito la costruzione ed avviamento in tempi brevi ed a costi relativamente contenuti, se confrontati con realizzazioni analoghe condotte con metodi tradizionali, a vantaggio di una riduzione dei tempi di *start-up* e dei tempi di ammortamento.

### ...alle frontiere avanzate

La progettazione, la fabbricazione e la gestione di impianti automatizzati così sofisticati non possono avvenire se non con un massiccio ricorso alle risorse più avanzate della tecnologia informatica:

- sistemi CAD/CAE per la progettazione;
- sistemi gestionali per la fabbricazione;
- sistemi di comando-controllo per il funzionamento;
- sistemi telematici per il monitoraggio.

Non potendo entrare nei dettagli di un argomento così complesso, risulta comunque utile riportare e commentare una figura schematica illustrante il programma XIRIO, un sistema integrato di sviluppo, progettazione, fabbricazione e gestione che la SARMAS ha sviluppato al proprio interno (7) (Figure 3 e 3 bis).

Il sistema XIRIO (acronimo per Complesso di Sistemi Integrati per la Realizzazione degli Impianti e la loro posa in Opera) è un complesso di pacchetti software e procedure che consentono la gestione informatizzata di ogni fase del ciclo di vita degli impianti per assemblaggi automatizzati: non è dunque un Sistema dedicato unicamente al governo dei macchinari (comando-controllo) poiché coinvolge in parallelo la loro progettazione e fabbricazione. Il Sistema è modellato sul principio dei gruppi-base standard preassemblati, ma può essere adattato a svariate architetture, purché modulari, e comprende applicazioni per simulazione e premoni-

(6) L'impianto è stato progettato con il Sistema XIRIO, descritto nel seguito dell'articolo.

(7) Il Sistema XIRIO è oggetto della relazione *Computer-aided design engineering for an automated assembly system as a quality assurance factor*, presentata da SARMAS alla Conferenza Internazionale *Integration of technical factory functions in mechanical automated industries* (Torino, 26-28 maggio 1992).

toraggio dei macchinari con esso progettati. I vantaggi previsti in termini di Qualità del prodotto finito sono contestuali: migliore qualità dei sistemi di produzione per una migliore qualità dei beni prodotti.

Il Sistema consente la gestione al calcolatore del «Metodo dei flussi paralleli» che, a propria volta, abbatte drasticamente tempi e costi per la realizzazione degli impianti automatizzati (Figura 4).

Con questo metodo non solo le varie fasi della realizzazione sono parallelizzate e di conseguenza si sovrappongono, ma un ulteriore livello di parallelismo è introdotto all'interno di ciascuna fase, scorporata in sottofasi a loro volta sovrapposte. Sono così possibili i massimi risparmi di tempi e costi, ma la gestione è decisamente sofisticata, dovendo avvalersi permanentemente di supporti informatici avanzati. Nel caso SARMAS, ove il MFP è stato attivato, l'introduzione di questo metodo è il logico corollario all'adozione dell'architettura modulare basata su standard componibili: il processo di progettazione-produzione dei gruppi-base standard si svolge infatti all'esterno della commessa, ed all'interno di quest'ultima restano le sole operazioni di prelievo da magazzino di tali Gruppi ed il loro successivo calzamento nell'impianto. Poiché, come già accennato, i Gruppi standard sono in effetti unità automatiche complete e funzionanti e compongono l'impianto in media per il 70%, consegue che l'impianto stesso può essere pre-collaudato non appena conclusa la fase di assemblaggio dello standard, in attesa che venga completata la fabbricazione del fuori-standard; il successivo *start-up* finale si riduce in tal modo ad una semplice integrazione funzionale di standard e fuori-standard.

Il Sistema XIRIO, che è tra i più avanzati e completi oggi disponibili, rappresenta la base di sviluppo per un vero e proprio CIM dell'automazione (un CIM il cui prodotto finale non è un bene di consumo, ma un sistema automatizzato per la produzione di tale bene) trasponendo alla realizzazione di sistemi automatizzati tutti i vantaggi finora tipici della produzione di grande serie. Il Sistema soddisfa ai seguenti requisiti:

— è uno strumento integrato tecnico-logistico, e garantisce il controllo di tutte le fasi del ciclo di vita della linea:

- a) avamprogetto/preventivazione (con simulazione);
- b) progettazione esecutiva (con simulazione);
- c) impostazione logistica;
- d) fabbricazione;
- e) avviamento;

Fig. 4 - Esempio tipico di diagramma temporale di commessa (planning e scheduling delle attività), in cui sono confrontati due impianti analoghi: uno realizzato con metodi tradizionali, l'altro con il metodo a flussi paralleli e l'uso esteso di componenti standard.

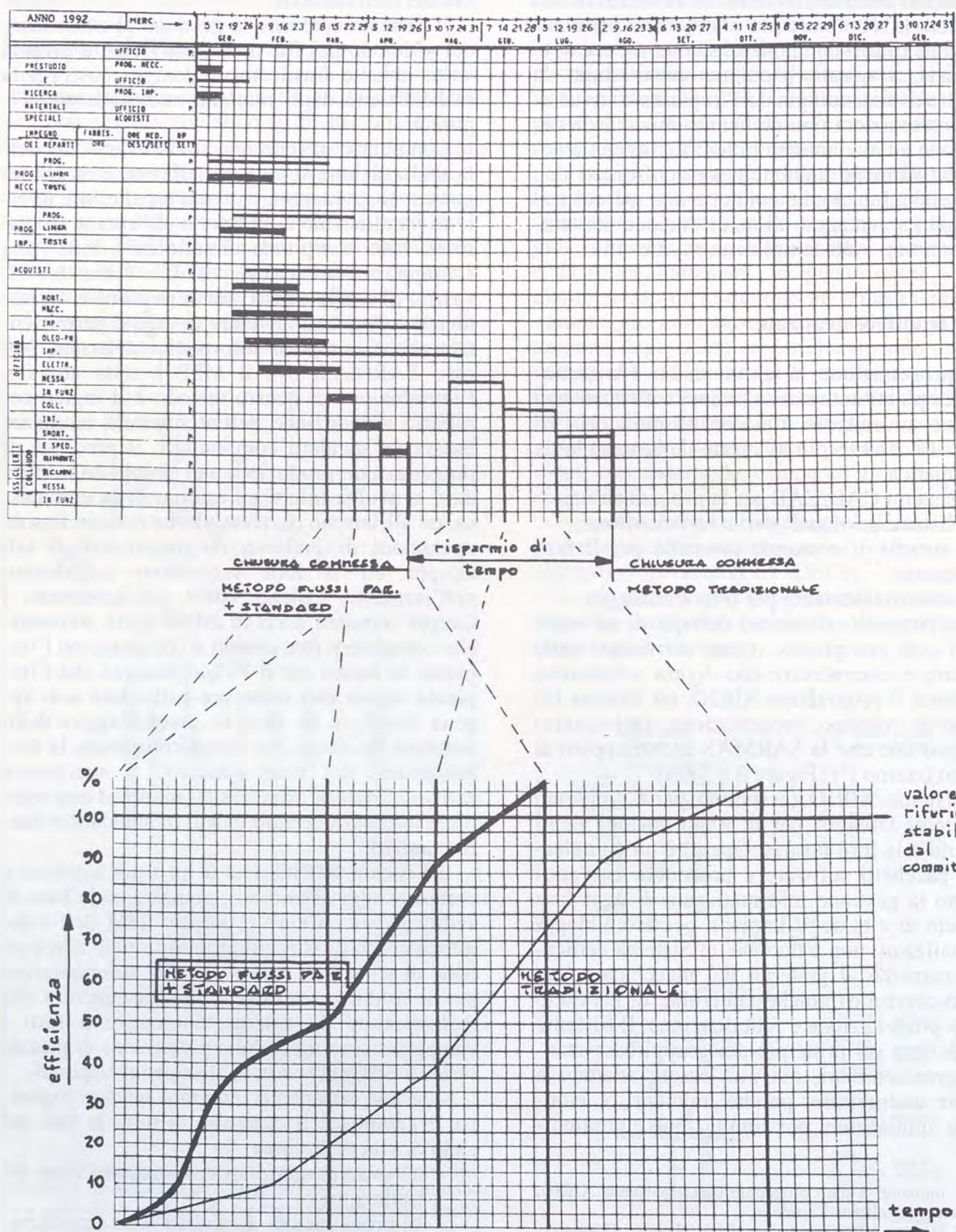


Fig. 4 bis - Esempio tipico di andamento nel tempo dell'efficienza produttiva di un impianto di montaggio automatizzato, nelle fasi di avviamento, collaudo e messa in servizio. Sono confrontati gli stessi impianti di cui alla Fig. 2.

consentendo in tal modo un'interazione continua e in tempo reale fra ambiente tecnico (progettazione) e ambiente logistico (approvvigionamenti-produzione).

— a livello tecnico, integra tutti gli aspetti significativi della progettazione, sia strutturali (meccanici) sia impiantistici (elettrici-fluidici) evitando approfondimenti di calcolo che, indispensabili al produttore di componenti, sono viceversa superflui per i costruttori di linee complete (*system integrator*);

— a livello logistico, è orientato alle problematiche della produzione di oggetti complessi e semi-prototipici, o comunque in serie limitata;

— è di uso facile ed immediato e comprende metodi di progettazione guidata, così da trovare impiego non solo per la progettazione vera e propria, eseguita da personale tecnico dedicato, ma anche per l'attività di avamprogetto e preventivazione, espletata da tecnici-commerciali;

— infine, permette un'efficiente retroazione verso i progettisti e fornisce un'adeguata base di conoscenza per elaborazioni statistiche, al duplice scopo di identificare i punti critici delle macchine (analisi dell'affidabilità, definizione del MTBF, ecc.) e di pianificare la produzione in serie dei gruppi-base standard (immagazzinamento a scorta minima).

Lo sviluppo e l'adozione di sistemi informativi complessi, come il Sistema XIRIO, costituisce un ulteriore fattore di qualità in aggiunta a quelli, già illustrati, tipici del montaggio automatico. È ben noto infatti che la qualità di un prodotto deriva direttamente dalla qualità del sistema che lo produce: anzi, nella maggior parte dei casi, la prima rappresenta una proiezione amplificata della seconda. Pertanto, ogni miglioramento alla qualità del sistema di produzione — precisione, affidabilità, ripetitività, manutenibilità, ecc. — si ripercuote immediatamente, amplificata, sulla qualità del bene prodotto.

L'ambiente XIRIO, intendendo con questo termine l'insieme dell'architettura standard, del MFP, e del Sistema *software* vero e proprio, consente un significativo miglioramento della qualità dei sistemi di produzione in un campo particolarmente critico quale il Montaggio Automatico, dove per «sistema di produzione» s'intende generalmente una linea od un sistema di linee per l'assemblaggio automatizzato e robotizzato. Siffatta superiore qualità della linea si traduce in termini di produzione intensiva, con la massima ripetitività, e senza fermi-macchina; ne consegue immediatamente che il livello qualitativo del prodotto risulterà, a propria volta, elevato e costante.

## Conclusione

Risultati più significativi, rilevati dalla SAR-MAS, nella gestione degli impianti di assemblaggio automatizzato:

— la correlazione fra le linee di assemblaggio automatizzate previste in sede di avamprogetto, e quelle definitive frutto dei vari processi iterativi, è risultata prossima al 100%;

— la fabbricazione delle linee con il Metodo dei Flussi Paralleli è risultata effettivamente e pienamente controllabile in ogni sua fase, incluso il controllo della qualità;

— le linee così prodotte hanno raggiunto il regime produttivo definitivo e desiderato, in termini di qualità del prodotto, in tempi non superiori al 20-25% di quelli necessari con metodi tradizionali;

— sono state rilevate drastiche riduzioni: nella percentuale di scarto del prodotto finito; nei tempi complementari per interventi di riparazione e/o di aggiustamento; nei tempi per la manutenzione.

# Il flusso dei materiali e la gestione degli utensili: veicoli filoguidati (AGV)

Mario BERTINO (\*)

## Aspetti generali sulla movimentazione dei materiali

L'industria mondiale ha dedicato molti sforzi all'ottimizzazione degli strumenti di produzione. Le tecniche di assemblaggio automatico e significativi sviluppi nella robotica hanno portato ad una progressiva diminuzione del costo del lavoro, offrendo nello stesso tempo maggiore costanza nella qualità e maggiore flessibilità produttiva.

I progressi tecnologici nel settore dei computer e dei microprocessori hanno indubbiamente facilitato questi sviluppi e avvicinato l'obiettivo finale dell'automazione totale per la maggior parte dei processi produttivi.

Come diretta conseguenza di queste aumentate possibilità produttive è diventato sempre più importante il problema della gestione delle aree di immagazzinamento e della movimentazione dei materiali, sia all'inizio/fine del processo, sia nelle fasi intermedie.

L'automazione e la razionalizzazione di queste operazioni, il cosiddetto problema logistico, insieme con l'automazione delle operazioni di trasformazione in senso stretto, determina il grado di efficienza di un complesso produttivo.

L'importanza economica delle gestioni logistiche si può rilevare osservando alcuni dati:

- in molte imprese industriali le scorte (materie prime, semilavorati, prodotti finiti, ecc.) rappresentano fino al 30% del capitale investito, con costi annui consistenti (costi finanziari, occupazione di spazi, ammortamenti);

- in molti impianti il tempo di trasporto e di attesa per i materiali è pari al 70-80% del totale, mentre il tempo effettivo di lavorazione non supera il 20-30%.

La movimentazione e lo stoccaggio non aggiungono null'altro che costo al prodotto e, se non si considera il materiale, essi assorbono in genere la percentuale più elevata del costo produttivo.

Risulta quindi di importanza fondamentale la necessità di concepire sistemi di «handling» coordinati ed adeguati alle necessità, in grado di funzionare con elevati livelli di affidabilità e di automazione per garantire la produttività richie-

sta, per interfacciarsi efficacemente con gli altri elementi della fabbrica, per consentire il necessario grado di flessibilità, per garantire risposte in tempo reale a variazioni produttive.

Esposti questi concetti generali va subito detto che l'organizzazione della logistica in uno stabilimento non ha una soluzione univoca, dipendendo dal peso relativo che si dà a una molitudine di fattori quali: costi e ritorno degli investimenti, aree disponibili, organizzazione, livello tecnico del personale di conduzione degli impianti, grado di automazione necessario, livello di flessibilità richiesto anche in prospettiva futura, livello di affidabilità.

Per valutare correttamente questi ed altri elementi in modo da definire un sistema di movimentazione e magazzinaggio adatto alla realtà aziendale, occorre effettuare alcuni passi fondamentali:

- Il management dell'azienda deve essere convinto e consapevole dell'importanza dell'aspetto logistico nel processo produttivo.

- Occorre formare un gruppo di progetto che includa esperti delle maggiori discipline coinvolte, cioè ingegneria, produzione, trattamento dei materiali, gestione computerizzata, controllo qualità.

- Si devono formulare gli obiettivi di movimentazione tramite la raccolta e l'analisi dei fatti salienti di produzione.

- Occorre definire il grado necessario di flessibilità basato sulle variazioni previste del tipo di lavorazione, sul «mix» dei prodotti, sulle variazioni nel tempo dei prodotti.

- Si devono precisare e analizzare le caratteristiche delle stazioni di lavoro (automatiche, manuali, tempi di lavorazione, ecc...) e il flusso ottimale dei materiali per alimentare le stazioni suddette.

- Devono essere definite le capacità di «recovery» del sistema da situazioni inaspettate o a seguito di guasti temporanei di elementi del sistema stesso. (Questo ultimo aspetto stabilisce anche quale livello di inaffidabilità è tollerato).

- Occorre stabilire l'architettura e le prestazioni del sistema di controllo, diagnostico e informativo.

Al termine di questa fase è possibile una prima definizione di massima del lay-out del sistema e dei suoi componenti. Una verifica delle ipotesi di partenza e delle prestazioni richieste e

(\*) Fata Automation Torino.

un affinamento del progetto è possibile utilizzando tecniche di simulazione computerizzata. Benché tali tecniche non siano di uso immediato e generalmente costose in termini di tempo e di risorse necessarie, esse sono ampiamente giustificate quando si tratta di sistemi di movimentazione automatizzati comprendenti estese possibilità di percorsi, di sequenze temporali e di variabili operative. Un buon programma di simulazione permette altresì di verificare e di affinare le ipotesi fatte a livello di strategia di controllo e di capacità di «recovery» del sistema.

Molto schematicamente una linea produttiva organizzata secondo i criteri di automazione e di flessibilità su esposte può includere uno o più dei seguenti sottosistemi, elencati nell'ordine secondo cui avviene normalmente il processo:

- immagazzinaggio automatico di parti non lavorate
- sistema flessibile di fabbricazione (FMS)
- immagazzinaggio automatico di parti da assemblare
- sistema flessibile di assemblaggio (FAS)
- magazzino automatico di spedizione.

Tra un sottosistema e l'altro e all'interno di ogni sottosistema il flusso dei materiali è regolato tramite mezzi di trasporto più o meno automatizzati in funzione delle esigenze specifiche.

Nel seguito si esamineranno le caratteristiche principali dei vari dispositivi di *handling* comunemente utilizzati, con particolare attenzione a quei sistemi che per loro concezione consentono i maggiori livelli di automazione e flessibilità, necessari nelle moderne organizzazioni logistiche.

### I sistemi automatizzati di immagazzinamento e prelievo (ASRS)

L'elemento principale di un ASRS è una serie di scaffalature lunghe fino a un centinaio di metri e alte fino ad alcune decine di metri, con una capacità dell'ordine di molte decine di migliaia di celle. Per poter svolgere le funzioni in modo automatico è necessario dotare il magazzino di opportuni sistemi di movimentazione dei materiali. Questi sono i traslo elevatori che depositano e prelevano dalle celle e i trasportatori di testata, normalmente piani a rulli, i quali si interfacciano a loro volta con i sistemi che trasportano i materiali dalle aree di processo al magazzino (fig. 1).

Il controllo di un ASRS è normalmente costituito da una serie di microcomputer e PLC che governano i singoli traslo elevatori e trasportatori di testata e da un computer di supervisione

che stabilisce la sequenza dei depositi/prelievi da effettuare.

In questo modo tutti gli elementi di un ASRS, inclusi i lettori di codice dei prodotti e le eventuali stazioni di controllo dimensionale e di pesatura, funzionano come un sistema integrato. Un tale sistema non controlla soltanto la movimentazione dei carichi in ingresso e in uscita dal magazzino, ma è in grado di fornire tutto un insieme di dati e informazioni ad altri computer per funzioni di inventario, per coordinare altre attività della fabbrica e per il sistema informativo aziendale. I vantaggi che un ASRS può portare all'azienda sono molteplici:

- sicurezza dei materiali immagazzinati, nel senso che è costantemente aggiornata e sotto controllo l'occupazione delle celle per tipo di prodotto, tempo, priorità, ecc;
- alta efficienza di utilizzo dello spazio di immagazzinaggio;
- maggiore produttività (incremento delle movimentazioni orarie e ottimizzazione delle stesse);
- inventario in tempo reale.

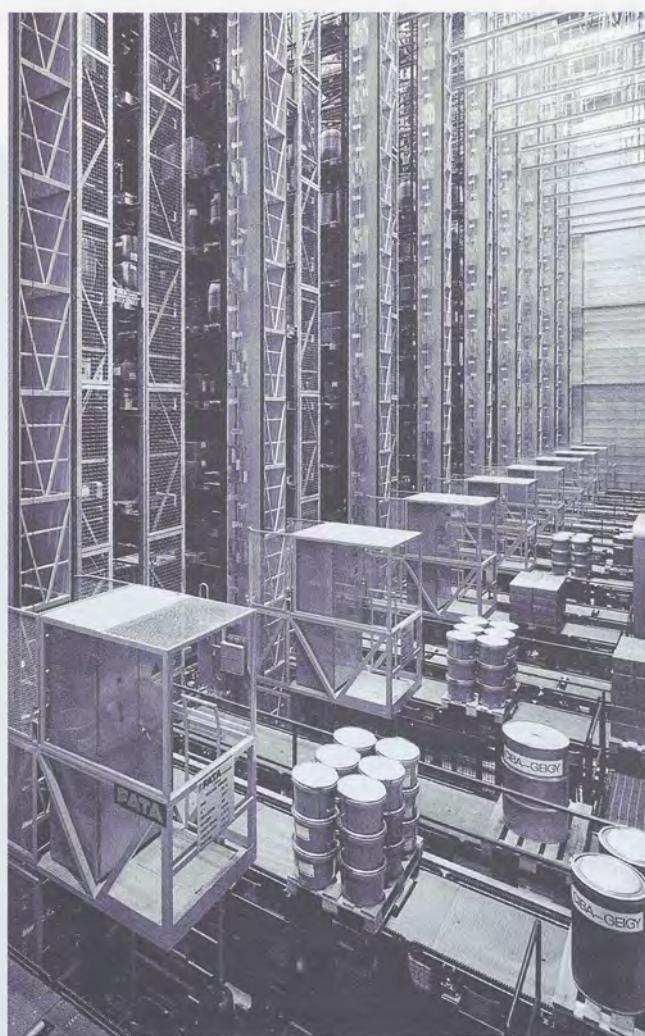


Fig. 1 - Magazzino automatico a più corsie con traslo elevatori e trasportatori di testata.

Dall'altro lato è necessario evidenziare che un ASRS ha un costo di installazione elevato, per cui è indispensabile che la sua capacità e le funzioni che deve svolgere siano attentamente valutate in fase di progetto per ottenere il più alto grado di efficienza.

### Sistemi di trasporto a convogliatori aerei

I convogliatori aerei utilizzano come fattore comune una rotaia opportunamente sospesa nello stabilimento, su cui viaggiano i carrelli che trasportano i materiali da movimentare.

Altra caratteristica comune è che i materiali viaggiano opportunamente appesi ai carrelli in modo da offrire il massimo di accessibilità per operazioni di montaggio, assemblaggio, ecc. I convogliatori mono e birotaia realizzano il movimento mediante una catena che corre lungo la rotaia e che trascina i singoli carrelli (fig. 2). Si tratta di un sistema di trasporto che evidentemente non offre un elevato grado di flessibilità, essendo tutto vincolato al passo e alla velocità della catena. Tali sistemi trovano applicazione in lunghe linee di assiemaggio, per produzioni di grandi volumi, dove le variabili produttive sono relativamente limitate e dove i tempi

di lavorazione sono sufficientemente omogenei.

Caratteristiche decisamente superiori sono offerte dai convogliatori ad automotore. La differenza fondamentale è in questo caso costituita dal fatto che ogni carrello è motorizzato ed ha un proprio sistema di controllo a bordo (fig. 3).

Questa caratteristica permette di movimentare i materiali a velocità diverse in funzione delle esigenze dello specifico tratto di linea e di realizzare il disaccoppiamento temporale tra un carrello e il successivo. Il controllo a bordo offre possibilità non ottenibili nei convogliatori birotaia: arresti controllati in specifiche stazioni di lavoro, funzioni di accumulo, selezione di percorsi alternativi e una estesa gamma di velocità, da quelle lentissime delle linee di lavoro (2-3 metri/minuto) a quelle elevate dei trasferimenti da una area all'altra (fino a 100 metri/minuto) mediante il comando dei motori con variatori di frequenza.

Inoltre opportune tecniche permettono di effettuare percorsi in salita e in discesa (fino a 45 gradi), eliminando l'impiego dei trasferitori di quota.

Il controllo a terra di un sistema automotore è costituito da uno o più PLC che governano l'attività dei carrelli lungo la linea, effettuano le necessarie funzioni di monitoraggio e, mediante

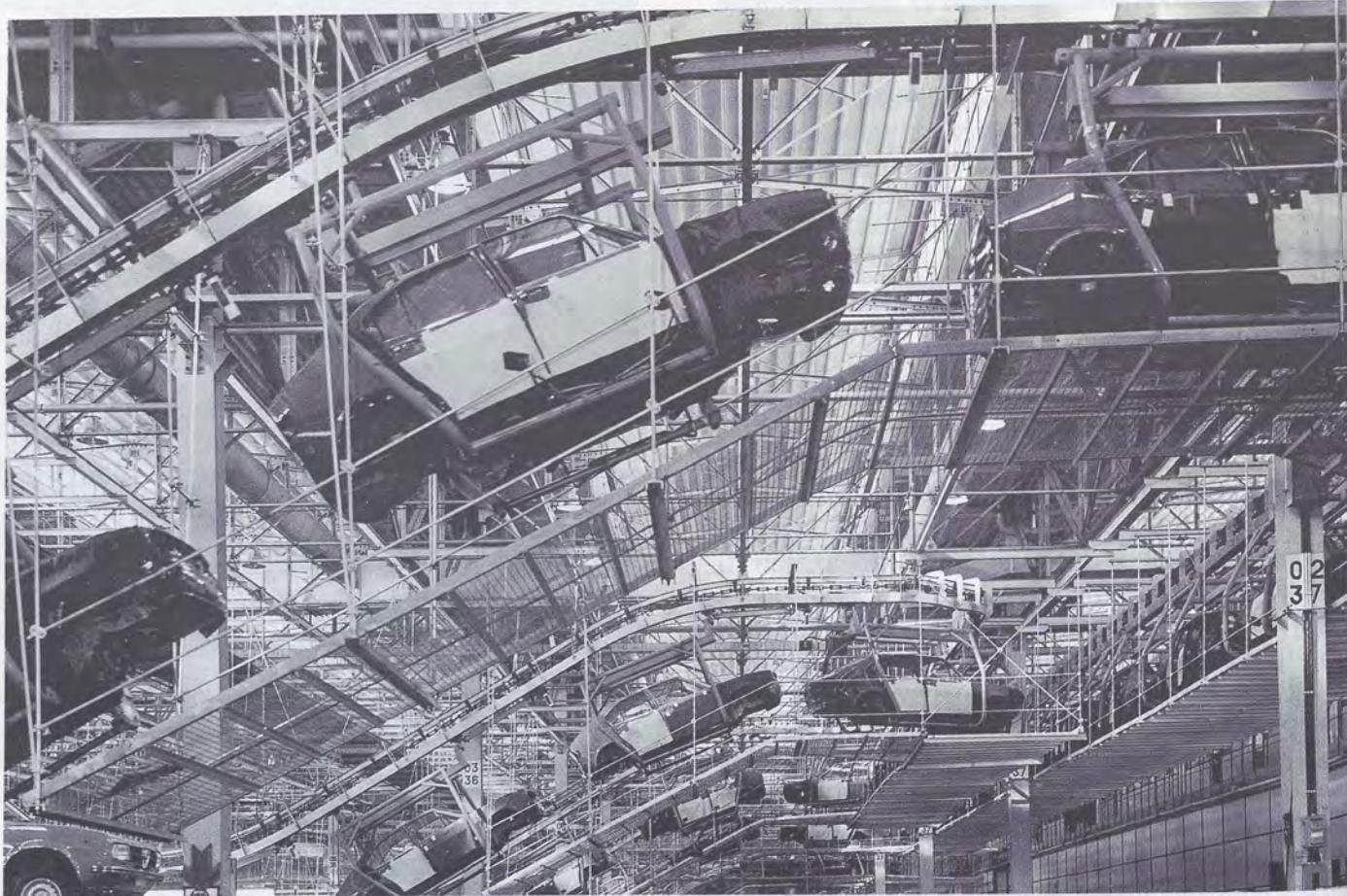


Fig. 2 - Trasportatore birotaia per scocche di autovetture.

la connessione con gli altri sistemi automatizzati della fabbrica, garantiscono la sincronizzazione dei flussi.

### Sistemi di trasporto a convogliatori a terra

I convogliatori a terra si basano su principi funzionali molto simili a quelli dei sistemi mono e birotaia precedentemente descritti, pur adottando soluzioni tecniche e costruttive autonome. I tipi più comunemente utilizzati sono i trasportatori a SKID e quelli a TAPPARELLE.

Gli SKID sono carrelli dotati di una tavola, eventualmente ad altezza variabile, opportunamente attrezzata per contenere e bloccare l'elemento da trasportare (fig. 4). I trasportatori a TAPPARELLE realizzano un nastro trasportatore a terra, su cui avanzano i particolari in lavorazione e su cui può trovare posto anche il personale addetto alle operazioni di assemblaggio.

Anche per i trasportatori a terra valgono le considerazioni già fatte sulla rigidità delle velocità e dei passi tra un elemento e il successivo e sulla loro applicabilità a linee per la produzione di grandi volumi.



Fig. 3 - Trasportatore ad automotore - zona di accumulo.

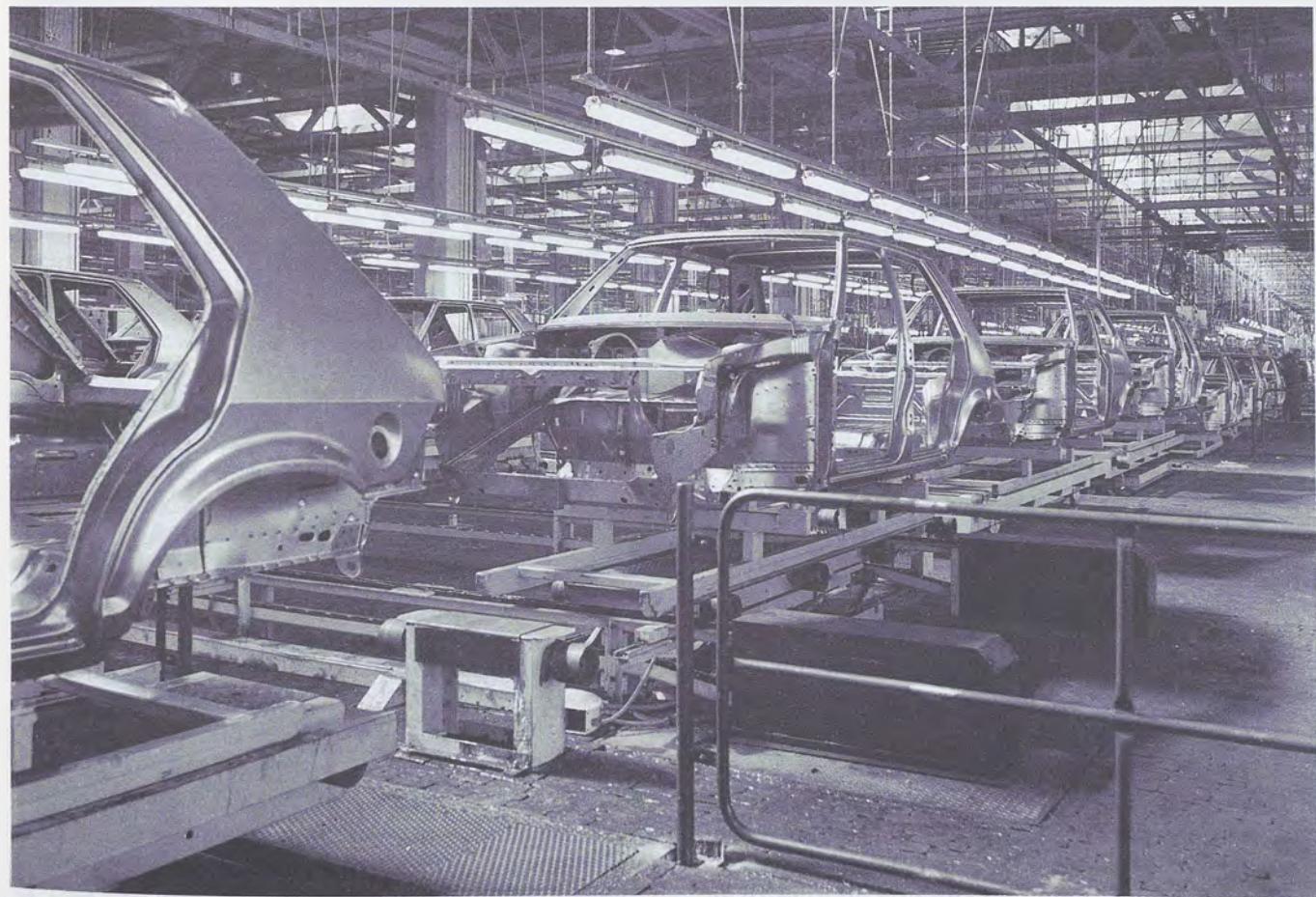


Fig. 4 - Trasportatori a skid per scocche di autovetture.

## Sistemi di trasporto con veicoli filoguidati (AGV)

I sistemi a carrelli automatici filoguidati sembrano in grado di superare molte delle limitazioni connesse con l'uso di altri sistemi di trasporto, specialmente per quanto riguarda la flessibilità e l'efficienza.

Essi rappresentano l'ultimo anello nel processo innovativo dei sistemi di trasporto automatizzati anche se la loro origine applicativa era stata quella di elementi sostitutivi dei tradizionali carrelli a forche con guida manuale.

Con il loro perfezionarsi e con il crescere della loro affidabilità e funzionalità i campi applicativi si sono allargati fino a comprendere il servizio di magazzini, l'assemblaggio distribuito, la fabbricazione in generale, i processi di saldatura, lo smistamento di materiali. I settori di impiego sono molteplici e comprendono l'industria automobilistica, l'industria alimentare, l'industria chimica e farmaceutica, la fonderia, l'industria elettronica e una molteplicità di altre applicazioni in settori anche non direttamente connessi con un ciclo produttivo (poste, ospedali, ambienti con rischio di contaminazione, distribuzione di documenti).

Ogni carrello AGV è in grado di muoversi in modo autonomo in un impianto, rilevando il campo elettromagnetico generato da un conduttore annegato nel pavimento, che determina la configurazione comunque complessa dei possibili percorsi. Oltre a questo un sofisticato computer di bordo permette di eseguire tutta una serie di funzioni ausiliarie quali:

- scelta del percorso e delle stazioni di lavoro
- risoluzione dei conflitti di traffico
- attivazione di dispositivi di sicurezza (ostacoli, operatori, ecc.)
- movimentazione del carico a bordo nelle stazioni di lavoro
- comunicazione con il sistema di controllo a terra.

La somma di queste operazioni e l'autonomia con cui vengono gestite avvicina l'AGV alle prestazioni di un vero e proprio robot mobile.

Il sistema di controllo a terra è organizzato in modo gerarchico per garantire la massima efficienza, con il livello più alto costituito da un *Host Computer*, che gestisce la flotta di AGV presenti nell'impianto assegnando in tempo reale a ciascuno la missione corrispondente alle esigenze produttive che via via si vengono a determinare.

Facendo riferimento all'organizzazione di una linea produttiva indicata nel primo para-

grafo, si può affermare che i sistemi AGV possono trovare un impiego vantaggioso in termini di costo, di flessibilità e di produttività per ognuno dei sottosistemi componenti la linea.

È chiaro che solo un'analisi approfondita, svolta caso per caso, del tipo di impianto e dei requisiti dei relativi sistemi di trasporto è in grado di determinare dove e come applicare un sistema AGV e dove eventualmente mantenere sistemi di trasporto alternativi. È importante tuttavia notare che sistemi diversi nello stesso impianto possono facilmente e vantaggiosamente convivere, questo in gran parte grazie alla versatilità intrinseca nei carrelli filoguidati.

In accordo con i vari sottosistemi produttivi in precedenza elencati, gli AGV possono essere classificati in funzione della loro applicazione:

- AGV per sistemi di assemblaggio (FAS)
- AGV per il servizio di macchine operatrici e/o isole di lavoro (FMS)
- AGV per la gestione di materiali in aree di stoccaggio o magazzini.

Nei sistemi di assemblaggio il carrello filoguidato con la sua piattaforma costituisce lo strumento basilare per un concetto completamente nuovo di sistema che unisce in un solo elemento le funzioni di posto di lavoro e di trasporto (fig. 5).

I vantaggi fondamentali sono la possibilità di servire stazioni in serie o in parallelo e di disaccoppiare temporalmente la singola stazione di lavoro dalla cadenza generale del processo.

Tali vantaggi rendono spesso non significativo paragonare semplicemente il costo di un sistema AGV con un corrispondente trasportatore tradizionale, poiché la giustificazione economica va valutata sulla base delle prestazioni dell'intero processo produttivo.

Le stazioni di assemblaggio servite dai carrelli filoguidati possono essere manuali o automatiche (robotizzate). Nel primo caso il carrello lavora normalmente secondo un sistema a chiamata (taxi system), portando su un apposito contenitore gli elementi da assemblare fino alla postazione dove l'operatore utilizza spesso il carrello stesso come stazione di lavoro.

Nel secondo caso le unità da assemblare trasportate dal carrello sono posizionate con la necessaria precisione nella stazione automatica di assemblaggio dove uno o più robot eseguono il programma indicato dal sistema centrale di controllo.

Negli FMS il sistema di trasporto può essere chiamato a svolgere compiti più o meno estesi a seconda delle necessità, obiettivi, costi e problematiche tecnico produttive da risolvere. Partendo dalle necessità di livello minimo essi si possono così classificare:

— alimentare macchine (centri di lavoro a CN) partendo da stazioni manuali di carico/scarico dei pezzi e viceversa

— servire magazzini di pallet per pezzi grezzi o finiti già montati

— servire stazioni di «lavoro» successive al processo di lavorazione quali lavaggio automatico «general purpose» o robotizzato

— servire macchine di misura automatiche per il controllo geometrico dei pezzi

— servire e collegare la cella con il reparto di preparazione e montaggio attrezzi sui pallet

— servire e collegare la cella con la *tool room* per la gestione degli utensili nei centri di lavoro (sostituzione utensili usurati, riconfigurazione dei magazzini per nuove produzioni, spostamento utensili da una macchina ad un'altra per riequilibrare i carichi di lavoro delle macchine, ecc.)

— alimentare la cella con i pezzi grezzi da montare sui pallet

— evacuare dalla cella i pezzi finiti servendo altre fasi del processo (magazzini finiti, collaudo, lavaggio, verniciatura, montaggio).

Non necessariamente tutte queste funzioni di trasporto devono essere eseguite dallo stesso

«hardware» ma esse possono essere, volendo, integrate nello stesso impianto.

Sono ormai abbastanza definite, grazie all'esperienza degli ultimi dieci anni, le possibili soluzioni industrialmente applicabili:

— carrelli su rotaie o comunque su guide meccaniche

— trasporto aereo (Robot a portale, carriportante a CN)

— carrelli filoguidati (AGV)

— sistemi misti che utilizzano le diverse tecnologie.

I carrelli filoguidati presentano diverse interessanti caratteristiche che li rendono particolarmente adatti per una certa fascia di applicazioni.

Quella certamente più peculiare e sfruttata è la grande libertà di movimento che, associata all'autonomia da alimentazioni continue esterne di energia, permette di realizzare impianti molto complessi con lay-out e percorsi anche estremamente intricati e con un numero di carrelli anche elevato.

Ciò significa, ad esempio, avere pochi vincoli per la posizione e orientamento dei centri di lavoro, delle stazioni di carico/scarico pezzi e dei magazzini pallet. Ciò permette di inserire l'im-

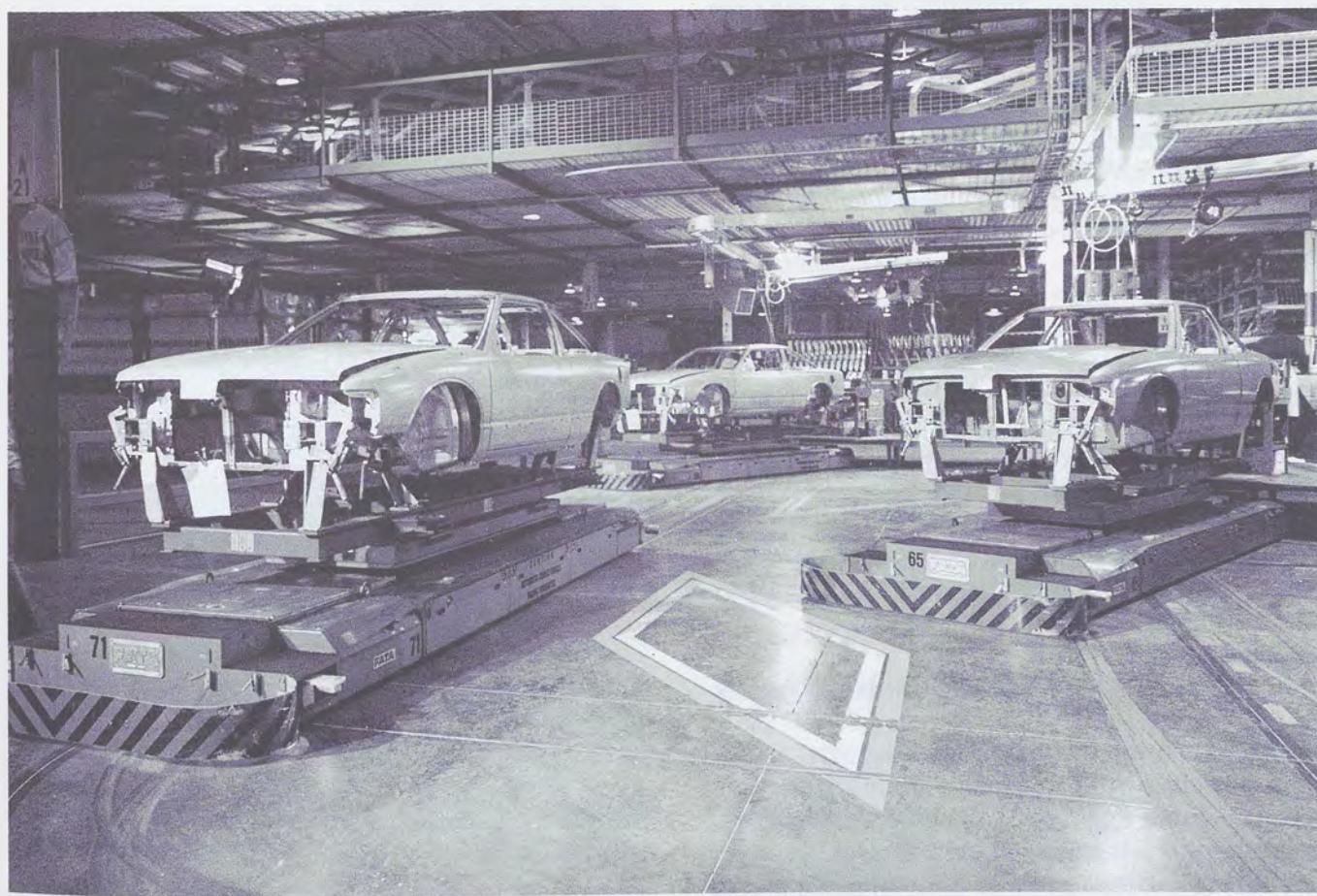


Fig. 5 - AGV per FAS - linea di assemblaggio scocche.

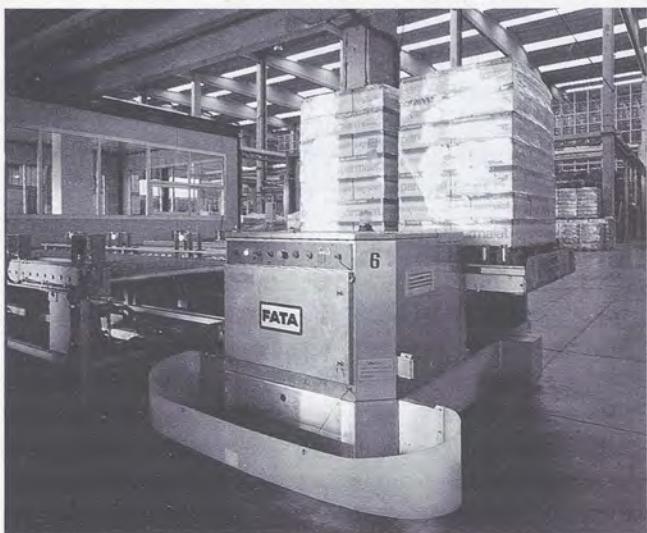


Fig. 6 - AGV per trasporto pallet.

pianto in ambienti già parzialmente occupati da altro macchinario o di prevederne espansioni successive senza vincoli troppo stretti.

Ideale appare essere l'AGV quando si vuole collegare la cella di lavorazione con la *tool room*; questa è infatti difficilmente installabile in testa alla linea di macchine, inoltre normalmente è preesistente alla FMC e deve anche servire altri reparti di macchine a controllo numerico. L'AGV è oggi praticamente l'unica soluzione automatica disponibile sia che si voglia soltanto portare i nuovi set di utensili ai piedi del centro di lavoro per poi farne il caricamento

nel magazzino utensili in modo manuale, sia che ciò debba avvenire in modo automatico.

A seconda della filosofia di produzione, numerosità dei lotti, cadenza produttiva e organizzazione del controllo qualità non sempre è opportuno avere una stazione automatica di controllo dimensionale inserita direttamente nella cella; è anzi a volte opportuno che essa sia esterna alla cella per motivi di pulizia, stabilità termica delle macchine e dei pezzi, necessità di servire anche altre linee di produzione.

Anche in un caso di questo genere il servizio di trasporto, integrato in un sistema automatico più complesso, può essere svolto solo dall'AGV.

E discorsi analoghi si possono fare, come già accennato, per il collegamento all'attrezzeria dove si montano gli attrezzi sui pallet, oppure con il magazzino dei grezzi o dei pezzi lavorati o comunque con i reparti che nel processo stanno a monte e a valle della FMC.

Infine, per quanto riguarda il trasporto da e verso magazzini, gli AGV sono in grado di prelevare pallet in modo automatico con vari dispositivi (rulli, forcole, catene, ecc.) (fig. 6). Essi possono sostituire vantaggiosamente analoghi carrelli a controllo manuale aggiungendo alla flessibilità di spostamenti e traiettorie il fatto di razionalizzare le operazioni di scarico/prelievo (tramite la gestione dal controllo centrale) e di essere in grado di operare in ambienti ostili o pericolosi per l'uomo. Grazie alla intelligenza a bordo dei carrelli e a quella distribuita nell'impianto è possibile automatizzare completamente tutto il processo di trasporto dalle linee produttive al magazzino e viceversa.

# Gestione informatica dei processi produttivi

Renato CONTERNO (\*)

## Componenti di un sistema di controllo della produzione

Quando si pensa al concetto ideale di fabbrica automatica, in cui la progettazione, la pianificazione, il controllo della produzione ed il governo degli impianti siano integrati in un unico sistema informativo, ci si rende conto rapidamente come il maggiore problema sia costituito dal numero esorbitante di informazioni che si dovrebbero introdurre nel sistema, perché questo potesse prendere automaticamente almeno una buona parte delle decisioni.

Per esempio, già il semplice sequenziamento delle lavorazioni nelle officine dovrebbe essere deciso in base ad informazioni di tipo commerciale sull'importanza dei clienti, alla disponibilità delle macchine ed alla loro diversa velocità ed attitudine ad eseguire una lavorazione, alla disponibilità delle materie prime e dei componenti, ad eventuali ritardi di consegna previsti dai fornitori, alla disponibilità dei programmi delle macchine a controllo numerico per tutti i cicli di lavorazione, né questo elenco esaurisce ogni dettaglio. La possibilità di memorizzare grandi quantità di informazioni non risolve di per sé il problema: le informazioni devono essere introdotte, devono essere tenute aggiornate continuamente, se ne deve controllare la correttezza, e si deve essere in grado di eliminare quelle obsolete.

Questo tipo di problemi, organizzativi ed economici insieme, relegano nell'ideale il concetto di fabbrica completamente automatica, mentre, probabilmente, la capacità elaborativa (ed i relativi costi), la copertura applicativa esistente, la connettività fra elaboratori non costituirebbero un ostacolo insormontabile.

Anche in sistemi d'automazione reali, lontani dal concetto di fabbrica automatica, la progressiva meccanizzazione dei processi aziendali comporta la comunicazione, la manutenzione e l'aggiornamento di una crescente mole di dati. A questo proposito, deve essere posta particolare attenzione alle procedure di immissione, validazione ed aggiornamento dei dati, almeno per due motivi. Da un lato, l'impegno del processo di data entry non deve sostituirsi a quello che era richiesto dal processo che si è voluto automatizzare, dall'altro, l'esperienza ci insegna che la

reintroduzione manuale di dati costituisce la fonte, maggiore di rischio per il successo di un progetto d'automazione.

In base a questi elementi, si possono mettere in evidenza alcuni principi generali per l'efficacia di interventi nel campo dell'automazione della produzione:

- evitare immissioni manuali di dati quando possibile;
- realizzare sistemi rapidi di acquisizione e validazione dati;
- immettere ogni dato un'unica volta nel sistema;
- evitare duplicazioni non necessarie di basi dati, per semplificare la manutenzione;
- adottare software standard di comunicazione per l'aggiornamento e l'allineamento di basi dati distribuite;
- adottare soluzioni informatiche di backup in tempo reale, o prevedere soluzioni organizzative alternative;
- creare sistemi riconfigurabili per l'acquisizione di dati, la disseminazione dell'informazione ed il controllo degli impianti in officina avvalendosi di piattaforme software standard.

I maggiori produttori informatici mettono a disposizione «enablers» software che forniscono gli elementi su cui basare la realizzazione di questi principi nell'acquisizione dati, nelle comunicazioni e nella gestione di basi dati distribuite, sia a livello locale o dipartimentale, sia a livello mainframe.

Nei prossimi capitoli vengono illustrate la struttura ed i componenti tipici di un sistema di controllo dei processi produttivi. Nel capitolo 2 sono indicati gli strati, o livelli di un sistema gerarchico, e la loro interdipendenza; nel capitolo 3 si descrivono i principali compiti da svolgere, cui corrispondono le componenti software del sistema informativo; nei capitoli 4 e 5 si illustrano il ruolo e la funzionalità degli «enablers» software per l'automazione.

## Organizzazione gerarchica del controllo

È chiaro che non sarebbe ipotizzabile, oltre che antieconomico, tentare di risolvere in modo automatico ed ottimale la lunga catena di decisioni successive che portano dalla progettazione di un prodotto alla costruzione dei prototipi, e dalla previsione dei fabbisogni di materie prime

(\*) IBM Semea, filiale Aziende Industriali, Torino.

alla produzione in serie. Problemi di una tale complessità vengono decomposti in sottoproblemi più semplici. Questo avviene sia per settori applicativi sufficientemente indipendenti, sia per livelli gerarchici successivi.

Per esempio, è risultato naturale, in passato, approntare sistemi informativi distinti per la progettazione, l'ingegnerizzazione, la pianificazione della produzione. Riconoscere che questo corrisponde ad aver suddiviso per settori quasi indipendenti un problema che, teoricamente, si dovrebbe affrontare nella sua globalità conduce ad esaminare due questioni di grande attualità.

Da un lato, vi sono aspetti di coordinamento organizzativo: quali connessioni si sono trascurate nella decomposizione, e come riconciliare i processi di progettazione, di industrializzazione, di pianificazione in modo da ottenere un prodotto sufficientemente ottimizzato, sia per le esigenze di prestazioni, sia per quelle dell'economicità di produzione, sia per la facilità di approvvigionamento dei componenti. È l'ambito del «*simultaneous engineering*», cui molto impegno è stato dedicato negli ultimi anni.

D'altro lato, nascono problemi più strettamente informatici sulla possibilità di dare un'architettura omogenea e far condividere a diverse applicazioni, eventualmente realizzate in momenti diversi, una notevole quantità di dati. Questo significa mettere a disposizione:

- strutture dati ancora più astratte e flessibili di quelle offerte dai «*data base*» tradizionali;
- servizi di modellazione e documentazione automatica dei dati;
- servizi che regolino il diritto d'accesso ai dati;
- servizi standard di comunicazione per mantenere allineate automaticamente basi dati distribuite;
- servizi di connessione «*client-server*» per consentire la cooperazione fra programmi di elaborazione e presentazione su workstation con programmi di elaborazione ed accesso ai dati su mainframe.

È questo il campo dei «*repository*» di dati aziendali, delle basi dati «ad oggetti», dell'integrazione di dati di natura diversa — testi, immagini, programmi — mantenendo metodi d'accesso omogenei.

D'altro canto, la decomposizione per livelli gerarchici successivi permette di affrontare la pianificazione ed il controllo della produzione partendo da dati molto aggregati sulla disponibilità dei materiali, sui tipi di prodotto da produrre, sulla capacità produttiva degli impianti, fino ad arrivare al sequenziamento ottimale delle lavorazioni sulle singole macchine, alla gestione dei programmi a controllo numerico, al

monitoraggio ed al controllo d'avanzamento della produzione per ogni fase di lavorazione, al controllo degli impianti e dei sistemi di trasporto. Questo modo di procedere è ben noto, ed i livelli gerarchici che intervengono sono spesso codificati in numero di 5 o 6: la tabella che segue è un esempio di classificazione.

Livello	Obiettivi
0 - Impianti.	Funzionamento dei sistemi produttivi.
1 - PLC (programmable logic controllers).	Controllo dei macchinari.
2 - Controllo di cella.	Monitoraggio impianti, gestione allarmi, acquisizione dati di produzione, distribuzione dati tecnologici, supervisione e controllo sistemi prod., trasferimento « <i>part programs</i> » (DNC).
3 - Controllo di area.	Sequenziamento delle lavorazioni, gestione utensili, manutenzione, controllo qualità, movimentazione materiali ed immagazzinamento.
4 - Stabilimento.	Pianificazione della produzione, gestione scorte e fornitori, progettazione, industrializzazione, amministrazione aziendale.
5 - Impresa.	Pianificazione « <i>master</i> »,

I problemi a ciascun livello della decomposizione gerarchica diventano affrontabili con le tecniche attuali; nascono invece esigenze di coordinamento fra i livelli per garantire una buona soluzione del problema generale di gestione delle attività produttive. L'efficacia ed il costo di un'architettura gestionale gerarchica dipendono in massima parte dalle soluzioni disponibili per il coordinamento funzionale delle applicazioni ai diversi livelli e per l'integrazione informatica dei sistemi di elaborazione — PLC, workstation, elaboratori dipartimentali, mainframe — e dei corrispondenti sistemi operativi. Per raggiungere un buon coordinamento funzionale si devono identificare:

- i dati che devono essere scambiati fra livelli gerarchici adiacenti;
- il grado di aggregazione, o di dettaglio, delle informazioni da scambiare;
- il grado di correlazione fra gli obiettivi di applicazioni a differenti livelli;
- i vincoli che funzioni a livello più alto devono imporre alla libertà decisionale dei livelli inferiori.

### Componenti di un sistema di controllo della produzione

Richiamiamo in breve i principali compiti da

svolgere nella gestione delle attività produttive, con particolare riguardo a quelli relativi ai livelli gerarchici 2 e 3 del capitolo precedente, in ambiente produttivo, caratterizzato da alti volumi. Infatti, questo è probabilmente il settore in cui recenti strumenti software per l'integrazione di applicazioni su reti di calcolatori diversi, insieme alla disponibilità di capacità elaborativa a costi contenuti, hanno aperto le più interessanti possibilità di sviluppo.

#### *Acquisizione dati e controllo degli impianti*

L'acquisizione dati deve ridurre al minimo le immissioni manuali. Per questo, assume particolare importanza la capacità di leggere dati e scrivere comandi sui PLC a bordo linea, con la possibilità di trattare in modo uniforme PLC di costruttori diversi, e di riconfigurare facilmente la rete di rilevazione. I comandi di controllo devono essere elaborati da leggi che prevedano:

- semplicità di realizzazione e documentazione (sfruttare la possibilità di decomporre impianti complessi in sottosistemi);
- facilità di ripartenza dopo malfunzionamenti, facilità di passaggio a controllo manuale;
- adattabilità a qualsiasi regime di funzionamento degli impianti, dal basso utilizzo alla saturazione;
- gestione ottimale della tecnologia dei sistemi di trasporto ed immagazzinamento interstadio, con l'obiettivo di minimizzare il tempo d'attraversamento delle sezioni a più alta utilizzazione.

#### *Controllo dei flussi produttivi*

Il controllo dei flussi costituisce il nucleo logico dei sistemi d'automazione avanzati, poiché assolve al compito delicato di tradurre in direttive agli impianti le richieste di produzione provenienti dai sistemi di pianificazione a livello gerarchico superiore.

La possibilità di ridurre notevolmente «work-in-progress» e tempi d'attraversamento si basa sulla sincronizzazione dell'intero flusso produttivo. Questo significa che i reparti, od i fornitori, che alimentano le linee di montaggio devono essere soggetti ad una disciplina di controllo.

A seconda che l'elaborazione e la trasmissione delle richieste di produzione siano interamente centralizzate, o in parte demandate a reparti responsabili di particolari sottogruppi, si passa da un sistema a sincronizzazione unica ad un sistema di controllo vicino all'idea di «kanban» elettronico [1]. La seconda alternativa sfrutta meglio la capacità elaborativa disponibile presso le singole unità produttive, ma necessita di buoni servizi software per mantenere

l'allineamento di molteplici basi dati di configurazione (distinte basi ad un livello) dei prodotti, dei sottogruppi e dei componenti.

#### *Distribuzione informazioni tecniche in linea*

La tecnologia informatica rende sempre più agevole ed economico disseminare informazioni tecniche — schizzi, disegni, immagini, cicli di lavorazione — su terminali grafici in officina. Prodotti software specializzati sono in grado di trasferire disegni CAD, o acquisire immagini, di ordinarli in liste gerarchiche di rapida consultazione e distribuirli, per la visualizzazione, su reti di personal computer.

#### *Monitoraggio e controllo qualità*

Il sistema d'automazione d'officina permette, nella sua componente di acquisizione dati, di memorizzare informazioni sull'utilizzazione degli impianti, e sulla qualità del prodotto e del processo. Una facile riconfigurabilità del software d'acquisizione è importante per seguire nuove variabili, correlazioni o fenomeni che diventino d'interesse.

Un efficace sistema di controllo della qualità, sicuramente molto più complesso, dal punto di vista organizzativo, che una semplice acquisizione di dati seguita da analisi statistiche, si avvale delle informazioni raccolte per innescare i meccanismi di reporting e di intervento.

#### *Sequenziamento e distribuzione delle lavorazioni*

I problemi di «scheduling» (sequenziamento delle lavorazioni) e «dispatching» (distribuzione delle lavorazioni a centri di lavorazione omologhi) assumono rilevanza notevolmente diversa a seconda dell'ambiente produttivo in cui si operi.

Se il flusso produttivo è controllato con tecniche avanzate di tipo «pull» [2], il «work-in-process» risulta talmente modesto da non offrire margini per il risequenziamento. Del resto, gli impianti dovrebbero essere sufficientemente flessibili da assorbire con pari efficacia qualsiasi sequenza venga loro offerta. Il classico problema di sequenziamento delle lavorazioni per minimizzare i costi di riatrezzaggio e soddisfare le date di consegna si trasforma nel problema di distribuire in tempo reale i compiti a linee, o macchine equivalenti (dispatching), in modo da:

- assicurare la compatibilità dei pezzi e delle macchine;
- soddisfare parametri di bilanciamento;
- ottimizzare l'operatività dei mezzi di trasporto e dei buffer interstadio automatizzati;
- permettere in ogni momento l'intervento umano nelle decisioni, il funzionamento semiau-

tomatico ed una facile ripartenza dopo malfunzionamenti degli impianti.

### *Controllo avanzamento produzione*

Prerequisiti per la gestione avanzata «just-in-time» della produzione sono il livellamento nel tempo dei carichi produttivi e l'impegno di ogni unità verso il rispetto della temporizzazione pianificata per le lavorazioni e le consegne. Tuttavia, non c'è sistema produttivo reale che operi senza controllo. La tecnica kanban è tipicamente associata a sistemi just-in-time, ma qualunque legge efficace di riordino dei materiali può assolvere al compito di controllare il «work-in-process».

Il controllo d'avanzamento della produzione deve essere svolto sia con provvedimenti organizzativi, sia con soluzioni informatiche. Si deve tendere a realizzare i meccanismi di controllo più semplici e sicuri possibili riducendo al minimo il sovralavoro richiesto per fornire i dati su cui basare le decisioni. Alcuni buoni principi sono:

- facilitare ovunque il controllo a vista dei buffer (contenitori standard, livelli di scorta immediatamente riscontrabili);
- acquisire automaticamente dati d'avanzamento e presentare ai responsabili di area le anomalie rispetto al piano;
- assicurare l'aggiornamento in tempo reale delle informazioni sui livelli di scorta dei componenti più significativi di ogni sottogruppo;
- segnalare in modo visibile le condizioni di potenziale allarme al momento del loro insorgere, non attendere il manifestarsi degli effetti sulle scorte;
- misurare indici di livellamento delle richieste di produzione e di rispetto della temporizzazione pianificata per valutare le prestazioni delle unità produttive;
- nei casi di produzioni a lotti, essere sempre in grado di presentare, meglio se in forma grafica, il piano di produzione, i lotti prodotti, quelli in produzione, il tempo necessario a terminare i lotti in produzione.

### *Controllo dei fornitori*

Dal punto di vista logico, i fornitori dei componenti trattati in modo «just-in-time» devono essere parte integrante dello stabilimento, e le loro prestazioni devono essere misurate con gli stessi criteri degli altri reparti (puntualità di consegna in rapporto al livellamento delle richieste di produzione) [3].

Devono essere tenuti in conto anche gli aspetti amministrativi legati alla fatturazione ed al riscontro dei documenti d'accompagnamento del-

le merci. Accanto ad un'organizzazione logistica che minimizzi il tempo speso in operazioni di «ricevimento merci» senza valore aggiunto, l'identificazione automatica del carico, l'acquisizione automatica dei documenti d'accompagnamento, o la loro trasmissione elettronica direttamente dal fornitore, eliminano gran parte del lavoro di accettazione e data entry.

### **Piattaforme software per l'automazione**

Si è osservato che, in un sistema d'automazione, il costo dello sviluppo software per l'acquisizione dati, lo scambio di informazioni e la sincronizzazione fra processi concorrenti, la presentazione efficace dello stato dell'impianto e degli allarmi è preponderante rispetto a quello strettamente connesso all'elaborazione delle strategie di controllo, di sequenziamento e distribuzione delle lavorazioni. Questo è ancora più sensibile quando l'architettura informatica preveda

- reti di calcolatori;
- calcolatori di diversi costruttori con sistemi operativi diversi;
- PLC di diversi costruttori

e quando, come sempre avviene, il sistema di controllo debba seguire l'evoluzione degli impianti, o debba essere esteso a nuove aree in fase di automazione.

Di conseguenza, si è assistito allo sviluppo di alcune piattaforme software che provvedono ai servizi comuni di tutti i sistemi di elaborazione distribuiti per applicazioni di fabbrica, ed offrono, quasi fossero estensioni dei sistemi operativi degli elaboratori in rete, un ambiente di programmazione omogeneo. I servizi principali consistono in:

- primitive standard di comunicazione fra processi sotto sistemi operativi ed hardware diversi;
- gestione dei protocolli di comunicazione verso numerosi PLC, possibilità di sviluppare protocolli nuovi;
- linguaggio standard per la comunicazione con PLC, o terminali d'officina, di diversi costruttori;
- irrilevanza, dal punto di vista del programmatore, del particolare nodo di una rete su cui un processo, od una struttura dati, risiedano;
- riconfigurazione del sistema di controllo, con possibilità di spostare applicazioni da un nodo di rete ad un altro, senza intervenire all'interno del programma, riassegnando interattivamente nomi simbolici;
- gestione di allarmi e presentazione dei relativi messaggi;

- logging di eventi selezionati;
- creazione interattiva di pannelli sinottici ed associazione di campi alfanumerici, icone, colori, al valore assunto da particolari variabili del sistema di controllo;
- funzioni di duplicazione di dati o messaggi su nodi diversi, per maggiore affidabilità;
- interfaccia verso data base distribuiti.

L'adozione di una piattaforma software per lo sviluppo di sistemi d'automazione distribuiti porta a significative economie

- in fase di realizzazione, mediante l'utilizzo delle primitive software offerte;
- in fase di messa a punto ed esercizio, per la possibilità di riconfigurare e modificare facilmente applicazioni distribuite;
- in occasione di nuove installazioni, per la possibilità di trasferire le stesse logiche di controllo su reti di elaboratori adatte ad unità produttive di dimensioni diverse, accorpando su uno stesso nodo, o distribuendo su più elaboratori le stesse applicazioni sviluppate in precedenza.

La necessità di appoggiarsi ad una piattaforma è ulteriormente messa in rilievo dal rapido rinnovarsi delle tecnologie hardware e software di base, per cui i costi d'allineamento del software d'automazione con i nuovi rilasci tecnologici diventano proibitivi, soprattutto se moltiplicati per il numero dei sistemi operativi, elaboratori e dispositivi di costruttori diversi. È economicamente vantaggioso che un produttore di software si faccia carico di questi costi, impegnandosi a mantenere aggiornata la propria piattaforma, e li distribuisca, quindi, su un grande numero di utilizzatori.

## Architetture IBM per l'automazione di fabbrica

I principi ed i servizi software cui s'è accennato nei capitoli precedenti trovano un esempio di realizzazione pratica nelle soluzioni architettoniche sviluppate ed offerte dall'IBM, basate su un'intera linea di componenti hardware e software.

I sistemi IBM di elaborazione e controllo hanno la caratteristica di poter essere distribuiti finemente lungo gli impianti produttivi, pur mantenendo, dal punto di vista del programmatore, una completa unità logica. Questo presuppone:

- hardware collegato a reti locali affidabili;
- nodi di elaborazione in un ampio spettro di potenze di calcolo;
- software di base che permette lo sviluppo di applicazioni di controllo in tempo reale, indipendentemente dalla loro successiva distribu-

zione sui diversi nodi;

- accesso diretto, da parte dei programmi in esecuzione su qualsiasi nodo della rete, ad efficienti sistemi di archiviazione dei dati aziendali.

I vantaggi di un'organizzazione distribuita sono noti da tempo:

- affidabilità;
- ampie possibilità di backup a basso costo;
- specializzazione dei compiti dei nodi d'elaborazione;
- modularità.

Naturalmente, la possibilità di decentralizzare i compiti di controllo, monitoraggio, diagnostica, gestione della produzione, è da considerarsi come un'opzione aggiuntiva, che comprende, come caso particolare, la soluzione tradizionale di accentrare su un unico nodo di elaborazione più potente tutti i programmi che interessano un'area produttiva.

L'architettura IBM si appoggia alla piattaforma software IBM Distributed Automation Edition (IBM DAE), ed al sistema di archiviazione «ad oggetti» IBM CDF (Common Data Facility).

Il CDF è disponibile su mainframe con sistema operativo MVS, e permette di memorizzare dati, informazioni testuali o grafiche con tecniche orientate alla programmazione ad oggetti. Comprende servizi di comunicazione rivolti alla gestione ed all'aggiornamento di basi dati distribuite in più settori, o stabilimenti, di un'impresa.

La IBM Distributed Automation Edition è disponibile su una gerarchia di sistemi di elaborazione che comprende il coprocessore per comunicazioni con i dispositivi di campo IBM RIC (Real Time Interface Coprocessor), i personal computer, gli Industrial Computer IBM, gli elaboratori host con sistema operativo VM. L'ambiente di sviluppo delle applicazioni è identico su tutto l'hardware previsto, in modo da sollevare il programmatore dai vincoli imposti da sistemi operativi diversi. La piattaforma si estende, limitatamente ai moduli di «inter-process communications», anche agli elaboratori della serie AS/400 ed ai sistemi UNIX RISC/6000.

Il sistema d'automazione distribuito viene realizzato allacciando i componenti hardware ad una rete locale Token Ring o Ethernet o, eventualmente, ad una rete industriale MAP. Oltre a tutti i servizi generali elencati al capitolo precedente, compresi un buon numero di protocolli di comunicazione per PLC offerti anche da produttori di software indipendenti, l'IBM Distributed Automation Edition prevede

- moduli di ausilio alla creazione di sistemi di controllo della logistica interna di uno stabilimento;

- moduli di interfaccia verso ambienti di elaborazione non IBM DAE;
- interfaccia diretta verso, data base relazionali EQL;
- accesso diretto al sistema di archiviazione aziendale IBM CDF.

La piattaforma IBM Distributed Automation Edition è definita «system enabler», in quanto rappresenta un elemento costitutivo di architetture applicative più complesse e rende omogenei per il programmatore sistemi operativi diversi.

Essa dispone di un «application enabler», ulteriore strato di software per la programmazione a livello più alto, destinato alla creazione di programmi d'automazione in tempo reale da parte degli utenti finali del sistema. Questo comprende classici servizi quali la creazione interattiva di «pannelli sinottici» grafici da utilizzare come interfaccia operatore, l'associazione

degli elementi grafici o testuali dei pannelli ai valori assunti dalle variabili rilevate dal campo, e lo sviluppo di procedure di controllo con semplici linguaggi di programmazione «a blocchi».

È da notare che, nell'ambito dei sistemi aperti UNIX, sono disponibili su reti di personal computer od elaboratori RISC/6000 con sistema operativo IBM AIX altri prodotti software funzionalmente simili all'IBM DAE, come, ad esempio, la piattaforma Mainstream sviluppata dalla Mains-tream Software Corporation.

#### Riferimenti bibliografici

- [1] SHIGEO SHINGO: *Il sistema di produzione giapponese Toyota*, Franco Angeli, Milano, 1985.
- [2] ROBERT W. HALL: *Obiettivo: scorte zero. La strategia produttiva per gli anni 80*, ISEDI, Torino, 1985.
- [3] YASHIRO MONDEN: *Produzione just-in-time. Come si progetta e si realizza*, ISEDI, Torino, 1986.

# La strategia della soddisfazione del cliente: il caso Fiat Auto

Paolo MARINSEK (\*)

## Uno sguardo preliminare

Fornire un prodotto di accertata e certificata qualità a costi competitivi è la sfida che oggi le aziende si trovano a dover affrontare.

In ultima analisi, infatti, solo una clientela soddisfatta premia con la sua fedeltà l'azienda ed è la garanzia del profitto a breve termine, della sopravvivenza e quindi della prosperità nel medio e lungo periodo.

Tale sfida è stata definita Qualità Totale, perché solo il controllo della qualità di tutti i processi aziendali, dalla fatturazione alla progettazione, dallo sviluppo delle risorse umane alla fabbricazione e alla vendita, garantisce un miglioramento continuo.

È superfluo ricordare che la difficoltà della sfida consiste nella attivazione, realizzazione e consolidamento dei cambiamenti gestionali, organizzativi ed operativi necessari.

In altre parole, la responsabilità del management di guidare la trasformazione dell'azienda in una nuova azienda più orientata ad elevare la qualità e più competitiva nei costi riguarda principalmente il coinvolgimento, la garanzia delle coerenze dei sistemi e la standardizzazione dei miglioramenti di performance ottenuti strada facendo.

Dal punto di vista dei contenuti del cambiamento, le implicazioni gestionali, organizzative ed operative si connotano schematicamente per tre caratteristiche presenti in ogni ambito aziendale:

- la funzione «guida» delle esigenze del «cliente» in quanto utilizzatore del prodotto finale;

- la necessità dell'apporto creativo dei singoli al miglioramento;

- l'organizzazione per processi.

Alla luce delle considerazioni generali esposte e riproponendo, di volta in volta, lo schema delle tre caratteristiche fondamentali, le più significative implicazioni gestionali, organizzative ed operative per le principali funzioni aziendali, con riferimento al caso Fiat Auto, possono essere così sintetizzate:

— per quanto riguarda l'area di Sviluppo Prodotto - Engineering, prevale la necessità di cogliere in modo preciso e completo le esigenze tecniche e funzionali del prodotto, le prestazioni, i futuri servizi di assistenza, traducendoli in caratteristiche tecniche del prodotto.

La difficoltà consiste non solo nel comprendere che cosa ci debba essere in un certo prodotto e che cosa si aspetta che ci sia, ma soprattutto nell'intuire che cosa può essere implementato, per accrescere qualitativamente le performances, l'aspetto estetico, l'affidabilità, la durata.

Vanno aggiunte e comprese le esigenze del cliente, il quale si esprime in un linguaggio non tecnico: si tratta di individuare le variabili tecniche misurabili che influenzano tali esigenze ed impostare il progetto del prodotto e del processo produttivo che lo realizzi in modo coerente.

Un aiuto alla attività di «cattura delle voci» e di traduzione in specifiche tecniche si realizza attraverso la metodologia del Quality Function Deployment.

## Il Quality Function Development

Un esempio interessante di coinvolgimento del personale della progettazione è stato realizzato – nella FIAT – mediante la gestione a vista con cartellini. Per «gestione a vista con cartellini» si intende la gestione delle informazioni relative ad una attività di miglioramento mediante un tabellone esposto nell'ambiente di lavoro, sul quale gli interessati possono applicare cartellini con idee, proposte e suggerimenti.

Tra le numerose iniziative un particolare successo, sia in termini di partecipazione, sia in termini di risultati ottenuti, è la gestione a vista con cartellini di un diagramma causa-effetto (CEDAC) relativo all'utilizzo delle postazioni CAD. Solo i diretti interessati hanno potuto individuare e proporre soluzioni, semplici ma efficaci, che hanno migliorato l'efficienza e la facilità di utilizzo dei terminali.

A proposito di organizzazione per processi, nell'area di sviluppo dei nuovi prodotti è pienamente realizzata attraverso il *Simultaneous En-*

(\*) Responsabile iniziative Fiat Auto in Polonia; già responsabile Coordinamento Piano Qualità Totale Fiat Auto.

gineering. Infatti, i team di sviluppo che coinvolgono anticipatamente i clienti (interni) permettono un miglioramento sia in termini di parallelizzazione di fasi e, quindi, di riduzione dei tempi di sviluppo, sia in termini di condivisione delle decisioni e, quindi, di riduzione/anticipazione delle modifiche.

Per quanto riguarda l'area Fabbricazione, è importante ribadire che il cambiamento può essere garantito non solo da un Commitment permanente, ma anche da un elevato grado di accettazione degli obiettivi proposti, da parte di tutti i livelli aziendali. Nella realtà di Stabilimento, ad esempio, in cui la presenza operaia è prevalente, sono state attivate iniziative, volte innanzitutto ad assicurare il coinvolgimento, e l'apporto propositivo dei singoli, quali i Circoli della Qualità e il sistema delle Proposte Miglioramento Qualità.

Il circolo della qualità è uno strumento ormai consolidato che, valorizzando le capacità personali, ha fornito un importante contributo nel diffondere coinvolgimento e partecipazione: si tratta di un gruppo di lavoro che svolge volontariamente attività di miglioramento su argomenti di sua scelta.

Il sistema delle Proposte Miglioramento Qualità invece, in rapida estensione a tutti gli Stabilimenti dopo i lusinghieri risultati iniziali, consiste in una forma organizzativa mediante la quale ogni operaio che abbia un'idea innovativa sul processo produttivo o sul miglioramento del prodotto può segnalarla al proprio responsabile, con la certezza che sarà presa in esame e, se valida, applicata.

Tale sistema prevede, inoltre, una ricompensa economica per le proposte applicate.

Accanto alla accresciuta disponibilità ed al cambiamento culturale, la maggior trasformazione avvertita in Stabilimento è quella relativa al superamento della tradizionale organizzazione improntata sulla gerarchia e sulla visione funzionale.

## L'UTE: unità tecnologica elementare

La «Fabbrica Integrata», infatti, prevede una struttura piatta, ed individua nell'UTE (Unità Tecnologica Elementare) la cellula organizzativa alla quale fanno riferimento tutte le funzioni aziendali (tecnologi, manutentori, ecc.) per gestire o migliorare la parte del processo produttivo assegnato. Il Responsabile UTE, si fa carico di individuare e risolvere o sollecitare la risoluzione dei problemi emergenti, proprio perché dispone di competenze e leve organizzative necessarie e sufficienti.

La nuova filosofia di gestione, prevedendo strutture più piatte, ma più responsabilizzate, ed un orientamento al lavoro interfunzionale, permette il decentramento decisionale; in altre parole realizza quel sistema di produzione «snella» (*lean production*) teorizzato come ottimale.

Fra le competenze dell'Area produttiva prevale naturalmente quella di migliorare l'efficienza degli impianti e di diminuire gli scarti per aumentare la competitività dei processi. È stata però soprattutto sottolineata l'esigenza di assegnare a tale Area obiettivi (diffusi) di miglioramento del prodotto coerenti con le priorità segnalate sia dai Responsabili della Ricerca e sviluppo, sia attraverso la rete di vendita e assistenza. Il controllo del processo produttivo garantisce un prodotto di qualità; il maggior esperto di un processo produttivo è colui che governa il processo stesso ogni giorno. Risulta per altro evidente che solo in un contesto di Fabbrica Integrata, di efficienza del Sistema informativo interno, di coinvolgimento a tutti i livelli si possono avere certezze sul raggiungimento di tali obiettivi di miglioramento.

È opportuno sottolineare che la rete concessionaria, anello finale della catena del valore, è a contatto con l'utilizzatore finale, e rientra fra i protagonisti, in quanto ad essa fa capo l'erogazione del servizio assistenza.

La componente «servizio», a fronte di una offerta di prodotti sempre meno differenziati in termini di contenuti/qualità, sta via via assumendo un peso condizionante, diventando un elemento basilare di differenziazione.

Per acquisire un vantaggio competitivo in termini di servizio Fiat Auto ha definito un impegnativo programma di formazione, che in due anni coinvolgerà tutto il personale addetto alla distribuzione italiana ed europea.

L'obiettivo è quello di migliorare le due componenti del servizio: quella «materiale» e quella «personale».

Per quanto riguarda il primo aspetto si sta intervenendo sulle modalità organizzative di erogazione: locali, attrezzature, tempi di intervento e di esecuzione.

Per il secondo punto si tratta delle modalità alle quali le persone di *front line* devono assolvere, identificando e segnalando, in base a procedure precise, inconvenienti tecnici ed anomalie ricorrenti, per poterle far risalire agli stadi della progettazione e/o della fabbricazione.

Questo programma di miglioramento, attivato nella rete distributiva con il supporto di personale tecnico dell'Azienda, rappresenta un esempio di «attenzione» al servizio da parte di una industria manifatturiera.

## La Rete distributiva quale anello terminale

Se è vero infatti che è la rete l'anello terminale, è altrettanto indiscutibile che essa va aiutata nell'impegno di fronteggiare una utenza più preparata, aperta a confronti concorrenziali, attenta alla critica.

La capacità di soddisfare le attese di una azienda sia nei confronti del proprio interno, sia verso l'esterno, è condizionata dalla «catena del valore», cioè dal sistema fornitori-azienda-rete in cui si colloca, sapendo che – se collocato in una catena a basso valore aggiunto – è destinato all'insuccesso.

I rapporti tra i responsabili commerciale ed il produttore, e ovviamente viceversa, così come quelli tra il produttore ed i fornitori a monte sono i fattori fondamentali che determinano il reale valore di questa catena.

È per questo che il Piano Qualità Totale di Fiat Auto è sviluppato insieme ai partners, coinvolgendo e sensibilizzando anche un estesissimo indotto.

Questo però non significa confondere i ruoli di ognuno che, al contrario, devono rimanere distinti, seppure contestualmente orientati al conseguimento di obiettivi comuni.

Fornitori e concessionari fanno parte del sistema aziendale, sono chiamati a condividere l'approccio alla qualità e sono coinvolti nel pro-

gramma in tutte le implicazioni gestionali, organizzative ed operative.

In conclusione, le considerazioni sulla portata della strategia vanno interpretate non solo in termini aziendali di vantaggio competitivo acquisibile e difendibile, ma anche in termini, aziendali e non, di impatto sulla configurazione e funzionamento dell'azienda del futuro e di interscambio con l'ambiente sociale in cui l'azienda opera.

L'attenzione, il contributo propositivo del personale, l'organizzazione per processi certamente favoriscono in ogni azienda la capacità di reagire tempestivamente ed efficacemente alle evoluzioni repentine e discontinue di un mercato sempre più aggressivo concorrenzialmente. Questa capacità, caratteristica secondo alcuni esperti delle organizzazioni del futuro, si fonda sullo sviluppo di una modalità di apprendimento creativo e/o propositivo, che pone il produttore in grado di reagire attivamente e non passivamente al cambiamento.

Per quanto riguarda l'ambiente sociale appaiono significativi gli interscambi entro il «rapporto fornitore-cliente», volti a sospingere un movimento di opinione orientato a incentrare la vita economica su una nuova etica: l'etica della «qualità»; qualità dei prodotti: servizi privati e pubblici e qualità — di riflesso — della vita.

# La produzione automatizzata di componenti in materie plastiche per l'industria

Mario VALENTINI (\*), Piero FORCONI (\*\*), René DE FABRIZIO (\*\*)

## Le produzioni in un'azienda di medie dimensioni

Premesse basilari per affrontare con successo le produzioni di stampaggio di materie plastiche, sono le capacità di progettazione che l'azienda deve possedere e sviluppare in collaborazione con la committenza, all'occorrenza realizzando al proprio interno anche gli stampi prototipi (i cosiddetti stampi piloti) e quelli di produzione — ma, oggi, preferibilmente trasferendo questa funzione quasi completamente all'esterno, su disegno, adottando le tecnologie CAD, mentre all'interno permane la manutenzione ordinaria e straordinaria degli stampi stessi.

La produzione è fondamentalmente configurabile in due macro-categorie:

— *minuteria* (ad es. madreviti, fermacavi, fermoapanelli, fascette e, in generale, mezzi di fissaggio);

— *prodotti assemblati* (ad es. rubinetti, riscaldatori, tappi carburante, portalampade, manopole, morsettiera).

Le differenze tecnologiche e gli impatti sul sistema di gestione sono notevoli fra le due macrocategorie, e notevoli permangono nell'ambito delle diverse famiglie di prodotti assemblati.

La *minuteria*, infatti, richiede impegni progettuali minori; il pezzo, uscito dallo stampo, subisce l'operazione di condizionamento (ad es. assorbimento di determinate quantità di acqua da parte del nylon, per garantire le caratteristiche di flessibilità) e di confezionamento, eseguite automaticamente da apposite confezionali; seguono l'imballaggio delle confezioni in scatole di cartone e la loro palletizzazione.

Sotto il profilo gestionale, si considera sufficiente la distinta-base ad un livello — la materia prima — ma il numero di cavità di codici è elevato; i lotti di produzione in genere si presentano con durata ridotta, grazie all'elevato numero di cavità degli stampi. Ciò si traduce in cambi-stampo frequenti; è per altro possibile dedicare le presse ad un materiale o ad un colore predeterminati, e minimizzare i fermi mac-

china necessari alle messe a punto beneficiando del fatto che pezzi e stampi sono fra loro simili.

La fabbricazione di *prodotti assemblati* si presenta con caratteristiche completamente diverse.

Innanzi tutto, si richiede uno sforzo progettuale intenso; lo stampaggio dei componenti in materiale plastico non è più il «solo» anello della catena di produzione; il grado di precisione inoltre costituisce un punto critico, poiché influenza ogni passaggio nel successivo processo di assemblaggio.

Parimenti, le operazioni di condizionamento e confezionamento, legate le une alle altre, assumono un'enfasi più elevata poiché più importante è l'impatto cui possono dar luogo nelle operazioni successive.

L'imballaggio ha dei riflessi sulla qualità del prodotto; spesso quindi è necessario ricorrere ad imballi speciali. I volumi e quindi gli ingombri a magazzino dei palletti di prodotti assemblati sono sensibilmente diversi da quelli necessari alla minuteria.

Sotto il profilo gestionale si hanno distinte base a più livelli; la programmazione della produzione deve trattare particolari con differenze più sensibili tra loro soprattutto nella forma, piuttosto che nel colore o nel materiale; ogni stampo va quindi montato sulla macchina adeguata per potenza. I lotti di produzione sono generalmente più lunghi.

Il parco fornitori non si ferma alle aziende chimiche fornitrice della materia prima, ma si estende ai fornitori di semilavorati più diversi (minuteria metallica, molle, inserti metallici, ecc.) e per certi versi sempre più delicati (bimetallici, termostori) che portano a confrontarsi con tecnologie sempre più sofisticate. Infine si aggiunge la gestione dei fornitori di «capacità», i terzisti esterni, ai quali si ricorre per lo stampaggio e l'assemblaggio dei componenti.

## Principali obiettivi

Da quanto esposto si evince che possono convivere due sistemi produttivi con obiettivi per certi versi differenti:

— Il sottosistema di produzione della «mi-

(\*) Amministratore delegato e direttore generale ITW Fastex Italia.

(\*\*) ITW Fastex Italia.

nuteria» ha principalmente obiettivi di «efficienza»: tempi di progettazione, lotti e tempi di produzione brevi; ridotte fasi di lavorazione.

— Il sottosistema di produzione degli «assemblati» ha principalmente obiettivi di «efficacia», per la sua propria natura più complessa: tempi di progettazione, lotti e tempi di produzione lunghi; numerose fasi di lavorazione. L'efficienza si può ottenere a livello di ognuna di queste fasi, ma in modo proporzionale ai loro pesi. Si verifica quindi normalmente che l'importanza dei componenti di acquisto esterno sia molto rilevante (anche la metà del valore del prodotto finito), sicché l'efficienza del sistema è grandemente influenzata dalle condizioni di acquisto e dalla gestione delle scorte.

Nel processo di stampaggio sono enfatizzati gli aspetti qualitativi, poiché precisione, completezza, rugosità delle superfici assumono maggiore importanza ai fini della funzionalità del pezzo.

Se il numero dei componenti ed i volumi di prodotti finiti sono elevati, il processo di assemblaggio o alcune delle sue fasi possono essere automatizzate: in tal modo si ottiene efficienza. È altresì vero che all'automazione non si richiede solo un livello elevato di produttività, ma anche tutta una serie di controlli che assicurino la qualità del pezzo; spesso tali controlli non sarebbero eseguibili manualmente.

### La produzione automatizzata: la minuteria

L'automazione, ove il sistema richieda principalmente il raggiungimento di obiettivi di efficienza o di efficacia, gioca un ruolo molto importante; da sola però non è sufficiente, implicando riflessi anche organizzativi che non possono essere trascurati.

Il filo conduttore di questa descrizione saranno le quattro «M» del diagramma di Ishikawa, guida al «problem solving di qualità»: Materiale, Macchina, Metodo e Mano d'opera.

#### Materiale

Il problema gestionale più importante è conciliare fattori contrastanti quali la standardizzazione ed il costo, e affrancarsi dalla dipendenza da un unico fornitore.

Si possono distinguere due aree di intervento dell'automazione:

- il trasporto del materiale dal magazzino alla pressa di stampaggio;
- il riciclo del materiale durante il processo di stampaggio.

Nel primo caso vengono normalmente utilizzati mezzi tradizionali (muletti) per la movi-

mentazione del pallet di materiale, confezionato in sacchi da 25 chilogrammi; per altro, esistono mezzi di veicolazione più sofisticati che prelevano il materiale da confezioni di 1000 chilogrammi e lo trasportano entro tubi per la via aerea direttamente nel miscelatore della pressa. Al risparmio conseguente al differente modo di confezionamento della materia prima e alle ridotte attività di movimentazione, si contrappone una maggiore rigidità del sistema di trasporto; la qualità della miscela materiale vergine-ricinato con la quale si alimenta la pressa è più costante. È anche evidente come un sistema simile possa essere adattato a patto di focalizzare maggiormente il sistema produttivo; mal si adatta infatti a frequenti cambi di materiale ed irridisce il layout delle macchine.

Il materiale è riciclato a bordo pressa; la materia plastica per riempire le cavità dello stampo e formare il pezzo deve necessariamente seguire un percorso nello stampo: tale percorso genera la «materozza». Spesso il volume della materozza è simile al volume dei pezzi della stampata. Tale materiale in quanto termoplastico è riciclabile. I problemi che si generano a questo punto del processo sono due:

- il distacco dei pezzi dalla materozza
- il riciclo della materozza stessa.

Nel primo caso i tempi in cui — ad ogni stampata — l'addetto alla macchina apriva i cancelli, prelevava la stampata calda dallo stampo, riavviava la macchina ed eseguiva lo smaterozzamento a mano sono passati. Anche qui l'intervento della automazione ha trasformato il modo di produrre; sono stati adottati manipolatori pneumatici sulla pressa che possono:

— raccogliere la materozza e trasportarla verso il granulatore, nel caso in cui il pezzo possa essere sformato dallo stampo nella fase di estrazione;

— raccogliere l'intera stampata, trasportarla verso la smaterozzatrice (un sistema di camme rotanti che per urto distacca i pezzi della materozza) e portarla infine al granulatore.

In entrambi i casi l'operazione viene eseguita a cancelli chiusi, cioè mentre la pressa sta eseguendo il successivo ciclo di stampaggio senza essere fermata; il materiale della materozza viene ridotto in granuli nel granulatore, aspirato verso un miscelatore dove il materiale vergine è stato essiccato: la miscela è poi inviata sulla trammoggia della pressa e da lì alla vite di plastificazione.

È chiaro come l'impatto sul modo di produrre sia stato notevole; riduzione della mano d'opera, riduzione dei tempi di stampaggio, aumento della qualità in quanto il ciclo è divenuto più ri-

petibile (la pressa lavora in modo costante, non essendo influenzata in alcun modo da tempi determinati dall'operatore).

### Macchina

Il problema dei mezzi di produzione va suddiviso in tre grandi parti, intimamente legate fra loro: stampo, pressa di stampaggio e condizionamento-confezionamento.

### Stampo

Normalmente non contiene automatismi, ma più semplicemente dei cinematismi con i quali si genera la cavità — cioè il pezzo — e si rende possibile la fuoriuscita del pezzo stesso dallo stampo nella fase di estrazione. Ovviamente è possibile lavorare anche in questa area per fare efficienza, intervenendo nelle seguenti aree:

- creazione di una struttura interna che segue la progettazione, la realizzazione e l'avviamento di produzione degli stampi, al fine di standardizzare le filosofie costruttive

- specializzazione dei fornitori esterni (stampisti) su famiglie di prodotti fra di loro simili.

Per rispondere alle esigenze prima delineate (cambi stampo frequenti) è stata messa a punto una tecnologia particolare di realizzazione degli stampi; lo stampo è stato suddiviso in due parti: un portastampo, sempre fissato alla pressa e collegato al sistema di raffreddamento centrale ed un modulo nel quale sono state ricavate le cavità. Ogni portastampo può portare un modulo da un ottavo o due moduli da un sedicesimo. Il cambio stampo si limita in questo caso al cambio del o dei moduli. Un altro obiettivo di efficienza è stato così ottenuto riducendo tali tempi di fermata.

Il passo successivo è stato quello di estendere questa tecnologia a presse di tonnellaggio maggiore di quelle, da 45 tonnellate, sulle quali la tecnologia era nata: il che è reso possibile per la natura dei particolari da stampare, tutti simili come dimensioni, materiali, quantità e tempi di stampaggio. Oggi, ad es., in I.T.W. FASTEX Italia esistono due presse da 550 tonnellate che adottano questa tecnologia; un portastampo da sedici sedicesimi è fissato alla pressa e può accogliere sino a 16 differenti moduli, cioè 16 diversi particolari; un robot ad assi controllati entra nella macchina quando essa è in apertura; l'estrazione della materozza dallo stampo avviene verso le mani del robot; afferrata la materozza il robot esce — con una velocità di 180 metri al secondo — dagli ingombri della pressa che può cominciare il successivo ciclo di stampaggio. Il robot posa la materozza in un mani-

polatore contenuto nella smaterozzatrice, a valle della quale vi sono i contenitori per la raccolta dei pezzi; terminata la smaterozzatura il manipolatore trasporta la materozza verso il granulatore ed attende la fine del ciclo seguente di stampaggio.

È evidente come questo ulteriore passo in avanti sia stato notevole in termini di efficienza del sistema; è altresì doveroso sottolineare che ciò è dovuto grazie alla natura del problema da risolvere e all'automazione, ma che introduce anche rigidità nel sistema di produzione. Al calare dei volumi o alla variazione notevole dei mix di produzione, questo sistema può dare risposte non adeguate.

### Pressa di stampaggio

Il problema fondamentale della pressa è la ripetibilità del ciclo; un grosso impulso allo sviluppo delle macchine di stampaggio è stato dato dall'elettronica. Le scelte sono così individuabili;

- standardizzazione del parco macchine
- utilizzo del Microcontrol e di GESPRO
- utilizzo di sistemi SPC.

Nel caso della I.T.W. FASTEX Italia le presse sono realizzate da un costruttore italiano, il che ha consentito di sviluppare nel tempo un progressivo rapporto di collaborazione più stretto e di mutua costruttiva influenza; ha semplificato il compito del servizio Manutenzione e degli operatori macchina.

Lo sviluppo dell'elettronica ha accelerato il passaggio dalle vecchie e tradizionali presse elettromeccaniche a quelle gestite elettronicamente; un pannello di controllo a bordo macchina è in grado di raccogliere i valori delle tre famiglie di parametri che governano il processo di stampaggio: pressioni, temperature e velocità. L'operatore può variare tutta una serie di parametri per costruire il ciclo — nel caso di un nuovo pezzo — o per adattare il ciclo alle mutate condizioni della macchina o del materiale.

Avere un parco macchine di un unico costruttore, seppur di diverso tonnellaggio, ha consentito l'utilizzo di un sistema centralizzato di gestione della produzione; tutte le presse sono interfacciate con un calcolatore centrale che:

- raccoglie i files dei parametri di ogni stampo
- interroga la pressa e memorizza il suo «stato» (lavora, non lavora e perché non lavora)
- genera statistiche di produzione (ore di lavoro, ore di fermata, efficienza rispetto al ciclo preventivato)
- consente di programmare le commesse sulle singole presse.

## *Macchina confezionatrice*

I pezzi stampati devono essere contati e condizionati; tale fase si realizza su una confezionatrice automatica che convoglia i pezzi alla rinfusa da una tramoggia di carico verso un elevatore e due vie di scarico; il sacchetto aperto poggia su di una bilancia e riceve per gravità i pezzi: avvicinandosi al peso stabilito e corrispondente ad un numero prefissato di pezzi viene chiusa la via di scarico più grande; rimane aperta la via piccola sino al raggiungimento del peso stabilito. Viene versato automaticamente nella confezione un quantitativo di acqua, il sacchetto viene sigillato termicamente e convogliato fuori dalla macchina che frattanto si è predisposta per un nuovo ciclo. Infine vengono preparati gli imballi contenenti un numero prefissato di sacchetti.

## *Metodo*

Negli ultimi anni, sotto la spinta di una domanda di qualità sempre crescente, l'enfasi è passata, dai controlli del prodotto e manufatto eseguito, a quella del processo con cui il prodotto è fabbricato: la qualità non si controlla ma si costruisce. Tale filosofia è applicabile ad ogni livello o fase produttiva che partecipa alla creazione del prodotto. Ad esempio, le scelte nella I.T.W. FASTEX Italia meritano un'illustrazione più dettagliata.

## *Costruzione stampi*

L'intervento dell'automazione in I.T.W. FASTEX Italia S.p.A. è sempre più pesante nella fase di progettazione: l'azienda dispone dei migliori software CAD e si è dotata di una struttura in grado di sviluppare — su tali supporti — la progettazione dei propri prodotti. Questo è stato il primo passo verso la realizzazione degli stampi in un modo nuovo: per mezzo del CAD e del conseguente modello matematico del pezzo è possibile sviluppare — usando software speciale — direttamente il percorso utensile, realizzare cioè il supporto CAM per la costruzione direttamente dello stampo sulla macchina utensile.

In tal modo si ottengono i seguenti obiettivi:

— diminuzione dei tempi di realizzazione dello stampo

— maggiore qualità dello stampo

— possibilità di realizzare direttamente lo stampo di serie senza passare attraverso la realizzazione dello stampo pilota

— possibilità di simulare su calcolatore il processo dello stampaggio per verificare l'attendibilità dei tempi ciclo preventivati e per prevenire problemi di stampaggio prima di aver realizzato fisicamente lo stampo.

Come si può notare si tratta di obiettivi sia di efficienza che di efficacia.

## *Processo di stampaggio*

Il sistema centralizzato di gestione della produzione, fra le altre caratteristiche, ha anche quella di poter raccogliere dati relativi al pezzo (quote o controlli per attributi eventualmente previsti dalle specifiche di costruzione) e genera le relative carte X-R per il controllo statistico di qualità; attraverso questo strumento è dunque possibile determinare se il processo «è in controllo».

Su una pagina video a bordo macchina è possibile evidenziare l'informazione riassuntiva derivata dalle carte X-R: i valori del Cp e Cpk sono calcolati e disponibili all'operatore.

Un ulteriore recente passo in avanti è l'adozione di un sistema SPC, cioè un controllo statistico di processo; le macchine vengono dotate di sensori in grado di rilevare l'entità di 16 diversi parametri di stampaggio. Nel ciclo macchina vengono specificate le soglie minime e massime per questi 16 parametri; la pressa — ad ogni stampata — verifica che il valore «sensito» rientra nel campo stabilito; se ciò non si verifica può convogliare l'intera stampata verso una zona «scarti». Il calcolatore può realizzare la carta di controllo per ciascuno dei 16 parametri e non unicamente della quota rappresentativa del pezzo, che è l'effetto della combinazione dei parametri di stampaggio. Si realizza così un controllo ad «anello chiuso».

## *Mano d'opera*

La sofisticata capacità di controllare le fasi di produzione ha indotto mutamenti sostanziali nelle capacità del personale ad esse preposto.

Nel caso della progettazione, al progettista non basta più conoscere i vincoli legati alle dimensioni ed alle possibilità di estrazione dei pezzi dallo stampo: è cambiato lo strumento di lavoro. Abbandonato il vecchio tecnigrafo, ha dovuto padroneggiare le possibilità offerte da software sofisticati, tastiere, «mouse», plotter e così via. Non solo, ma occorre conoscere anche le moderne macchine utensili che — leggendo dei dati su di un supporto magnetico — sono in grado di lavorare direttamente il metallo.

Agli operatori alle presse si aprono possibilità di gestione e controllo del ciclo macchina sempre più ampie; il contenuto «artigiano» del loro mestiere lascia crescenti spazi ad abilità di «problem solver», sviluppabili però a patto di aver la predisposizione mentale giusta e di conoscere in modo approfondito come lavora la presa. Solo in questo modo sono in grado di ri-

solvere i problemi «chiusi» che di solito si presentano loro: la conoscenza delle modalità operative della macchina permette di valutare e confrontare fra loro le possibili alternative di soluzione.

Anche gli addetti al confezionamento devono sviluppare analoghe capacità; per impostare la macchina occorre avere a che fare con display e tastiere e conoscerne in dettaglio il funzionamento.

### Gli assemblaggi nella produzione automatizzata

Nella catena produttiva, le esigenze di un prodotto assemblato sono riassumibili in:

- capacità di metodicizzare il ciclo di assemblaggio
- capacità di valutazione preventiva dei cicli di assemblaggio

- capacità di valutazione degli investimenti
- ricerca e gestione fornitori di macchine speciali

— strutturazione di capitolati di fornitura di macchine speciali (logica delle fasi di lavorazione richieste e caratteristiche generali di costruzione)

— supervisione e controllo delle fasi di costruzione

— rilievo e controllo della fase di assemblaggio.

Il contenuto di tale procedura va commisurato alla complessità dei particolari da assemblare; in alcuni casi gli investimenti necessari raggiungono le diverse centinaia di milioni di lire. Le possibilità per un'azienda di espandersi sul mercato passano soprattutto per questa strada; evoluzione e maggiori gradi di complessità dei prodotti devono essere accompagnati dalla crescita degli «skills» dei protagonisti dell'organizzazione aziendale: gli uomini.

# Automazione a monte dell'industria farmaceutica

## Le soffierie per produrre fiale e flaconi

Maria Grazia BARBERO (\*)

### Premessa

Basta risalire ai primi due decenni del nostro secolo, per scoprire che a quel tempo ancora venivano ottenute per soffiatura, con mezzi analoghi ai vetri di Murano, le fiale per contenere i medicinali: i soffiatori — o le soffiatrici — procedevano con criteri artigianali per soddisfare specifiche esigenze di allora, richieste dalle aziende farmaceutiche, per i piccoli quantitativi occorrenti.

Visitare le Soffierie di oggi, significa penetrare in uno dei mondi dell'automazione integrata e dell'applicazione di tecnologie avanzate, e tanto più sofisticate in quanto i prodotti sono fragilissimi, vincolati da prescrizioni severissime, soggetti a controlli rigorosissimi, tenuto conto della loro destinazione ad usi prevalentemente farmaceutici.

Per chi non sia esperto del settore, è bene precisare subito che esistono due procedimenti di fabbricazione per le fiale ed i flaconi: uno, il più diffuso e per produzioni di grandissime serie, riguarda pezzi ottenuti per stampaggio del vetro (similmente ai bicchieri); l'altro più selettivo e per lotti talora alquanto limitati, ottenuti per soffiatura con operazioni alla fiamma, partendo da tubi di vetro neutro, di prima classe idrolitica, destinato alla produzione di fiale e flaconi cui sono imposti particolari requisiti di natura fisica, chimica e geometrica.

È a questo secondo procedimento che è dedicata la presente descrizione, in termini di automazione quantitativa e qualitativa.

### Qualche informazione preliminare orientativa

È opportuno premettere anzi tutto che le lavorazioni delle fiale e dei flaconi avvengono con processi tecnologici complessi e sottoposti ad una sequenza di controlli così rigidi, da aver determinato una dura selezione fra le Soffierie che esistevano in Italia: solo quelle che hanno saputo allinearsi alle mutate condizioni produttive ed alle trasformazioni tecnologiche su vasta scala, affrontando cospicui investimenti, sono

rimaste competitive sul mercato, interno ed internazionale.

Nel settore farmaceutico, la preferenza accordata a fiale e flaconi ottenuti per soffiatura da tubi di vetro è motivata da: peculiare qualità del vetro neutro con cui i tubi sono costruiti; massima trasparenza anche nel caso di vetri ambrati; alta resistenza agli shocks termici, possibilità di produrre quantitativi anche medio-piccoli (per medicinali d'uso molto specifico), con tempi di consegna brevi. Per inciso, si evidenzia che l'utilizzazione di flaconi non è solo destinata a contenere farmaci ma, nella prassi ospedaliera e dei laboratori, a contenere prelievi di sangue o di altre sostanze organiche e fisiologiche per le analisi.

Il requisito più rigoroso consiste in una «costante» ad altissimo grado qualitativo, nonostante la disparata varietà di forme e dimensioni: pochi sanno — forse — che l'industria farmaceutica impone una gamma di circa trecento tipologie diverse per le fiale e di un centinaio per i flaconi.

Sotto il profilo tecnico-produttivo, la problematica si è evidenziata sopra tutto in due direzioni ben distinte:

— la prima, specialmente negli anni '70, rispondeva prevalentemente ad una esigenza di produzione «quantitativa» e, quindi, di produttività;

— la seconda, a partire dall'inizio degli anni '80, ad una esigenza di requisiti «qualitativi»: esigenze che, come sa chiunque abbia esperienza di fabbricazione, sono in permanente contrasto, data l'incompatibilità del produrre di più, in fretta, e meglio.

La ristrutturazione tecnologica in chiave di automazione per le macchine e le linee dappriama, di elettronica poi, e di informatica oggi, ha caratterizzato questi recenti anni, in concomitanza con una crescente richiesta del mercato farmaceutico, che ha contribuito alla accelerazione dei processi di evoluzione dall'organizzazione originaria all'industrializzazione più sofisticata.

Il mercato si è caratterizzato per imposizioni fortemente condizionanti, come avvenne nel momento in cui il progresso delle macchine di riempimento utilizzate nei reparti farmaceutici venne a triplicare la velocità di esecuzione, esi-

(\*) Presidente Soffieria Bertolini S.p.A., Candiolo.

gendo che fiale e flaconi si presentassero al punto di riempimento con estrema precisione geometrica di imbocco, fori di ingresso e assi-lità, con elevata resistenza alla movimentazione meccanica per evitare incrinature o rotture, oltre che con assenza di difetti nel vetro per la presenza di bolle, striature od altre imperfezioni.

Vanno considerati, nel quadro generale, i due fattori che più hanno determinato una trasformazione radicale dello scenario produttivo:

— l'assistenza sanitaria in continua espansione, con una massiccia intensificazione sia nell'uso di farmaci, sia nel ricorso alle analisi ed alla contestuale crescente richiesta di fiale e flaconi;

— una maggiore consapevolezza di informazione tecnologica settoriale per acquisire mezzi appropriati alle nuove esigenze del produrre, accompagnata da una più diffusa cultura promossa sulle tematiche specifiche da apposite iniziative congressuali o più in generale da attenti spazi riservati ai contenitori dalla tradizione farmaceutica.

Vale la pena aggiungere un terzo fattore: la penalizzazione verso il fornitore, nel caso della presenza di pezzi segnalati da imperfezioni o difetti anche minimi: i capitolati di esportazione impongono statisticamente solo 1 pezzo difetto su ogni 10.000 pezzi.

In presenza di capitolati così restrittivi, soltanto una automazione molto articolata può consentire risposte affidabili.

### **Uno sguardo agli organigrammi organizzativi, ai fini dell'integrazione operativa**

L'organizzazione interna di una Soffieria è al tempo stesso lineare e complicata. Infatti se è vero che il procedimento produttivo avanza in

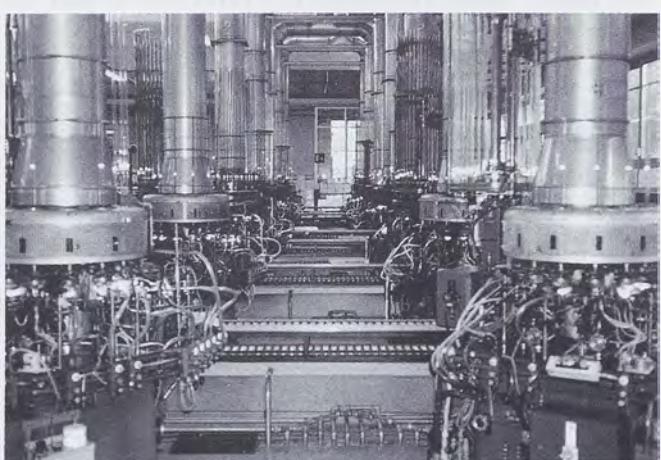


Fig. 1 - Uno dei reparti di produzione: veduta di macchine rotative e di linee per produzione flaconi.

base ad una sequenza chiaramente definita, l'estrema varietà delle tipologie da fabbricare e il frequente cambio di produzione ad ogni succedersi dei lotti richiede a monte una accurata attribuzione delle partite di fiale o flaconi ai singoli committenti (e, entro la singola committenza, ad ordini di contenuti diversificati), con annotazione rigorosa delle caratteristiche geometriche e dimensionali molto spesso determinate da variazioni minime, ma essenziali per l'uso successivo.

Sono pertanto definite le competenze e le attribuzioni ai rispettivi compiti esecutivi, variamente articolati e coordinati sia con una rete informativa interna, sia in base ad una programmazione che ricopre mediamente vari mesi, con esigenze di estrema flessibilità per inserire le non infrequenti richieste con carattere di urgenza (dovute ad es. all'apparire di contagi influenzali o epidemici infantili o sim., e della conseguente disponibilità dei farmaci appropriati, oltre le consuete scorte).

Sostanzialmente, un organigramma-tipo è quello che evidenzia altresì i differenti comparti operativi, dall'acquisizione degli ordini alla partenza dei mezzi di trasporto.

In ciascuno dei comparti opera un personale che possiede la propria qualificazione: dagli addetti alla classificazione e trasmissione delle commesse, ai progettisti di attrezzi specifici per i prodotti non standardizzati o di nuovi dispositivi per controlli da inserire sulle linee; dagli operatori alle macchine agli sperimentatori nei laboratori di analisi, verifiche e misurazioni; infine, agli esperti che devono affrontare ed esaminare tutte le componenti variabili che intervengono nei cicli di operazioni: proprio questo compito ha restituito alle tecnologie, precedentemente investite di esigenze meramente produttive, la funzione concomitante di garanzia produttiva e di susseguente certificazione di conformità.

### **Uno sguardo nei reparti: dove e come prende posto l'automazione**

Il punto di partenza coincide con il magazzino tubi di vetro — catalogati per tipi di vetro, lunghezza, spessore, diametro — cui pervengono le richieste di rifornire con continuità le macchine e le linee, posizionate in base ad un layout del quale sono ottimizzati percorsi e spazi intermedi.

Il primo impatto con l'automazione coincide con le macchine fialettatrici o flaonatrici a carosello (o giostre), delle quali è aumentato il numero di fiamme per consentire la formazione

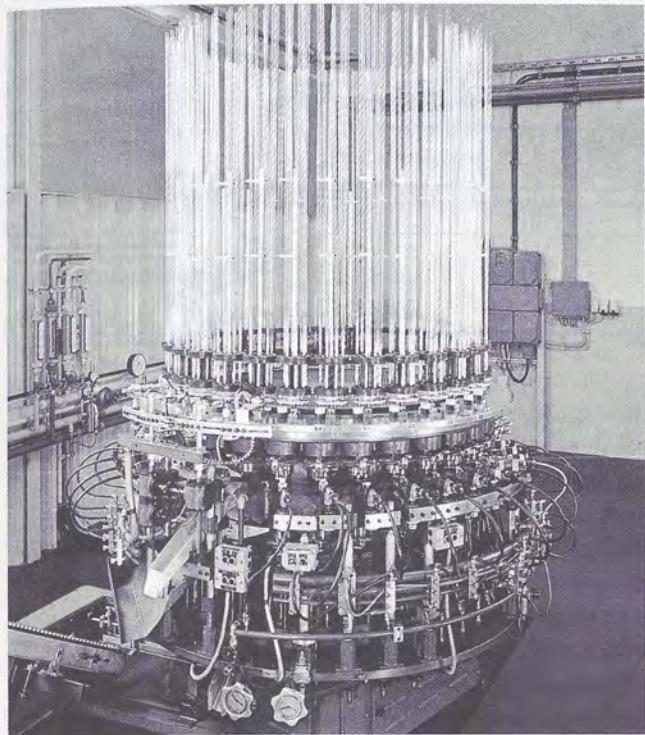


Fig. 2 - Rotativa (costruzione Moderne Mécanique) con i tubi di vetro dai quali sono ricavate le fiale.

di un numero accresciuto di tipologie delle fiale ottenibili: un controllore a camme favorisce l'accettazione di molte più variabili parametriche, facilitando al tempo stesso gli interventi dell'operatore. Sono previsti 32 programmi, ciascuno con 48 canali.

Recentemente sono stati inoltre realizzati un alimentatore dei tubi di vetro, il preriscaldamento del tubo ed una valvola che regola ed ottimizza la miscela gas-aria-ossigeno.

Da segnalare, un dispositivo per regolare la corsa dei due gruppi fiamma nella fase di preriscaldamento dei tubi di vetro: ciò consente l'aggiustamento automatico della macchina fialetatrice, tenuto conto che il normale ciclo di lavorazioni del tubo, nel momento di formazione del cannetto, già deve ottemperare al vincolo di contenere diametri variabili in una precisa fascia di tolleranze e dunque di misura (vincolo che deriva dalla necessità di eseguire poi, nei reparti farmaceutici, una esatta saldatura a fiamma ad infilamento avvenuto).

L'autoregolazione e la precisione sono il risultato, reso conseguibile dalla presenza di un computer abbinato all'infialatrice, per governare tre funzioni: verificare che il diametro del cannetto rispetti con rigore i più stretti limiti del range prescritto; eliminare automaticamente sia le fiale extra-tolleranza, sia le fiale difettose per mancanza di fondello del primo caricamento; - caricare i tubi di vetro nella pinza e scaricarne l'ultimo pezzo.

Il computer, dotato di memoria per tutti i va-

lori corrispondenti ai diametri e programmato — seleziona di volta in volta la misura prescritta per il diametro del cannetto centrale, fissandone altresì le quote di tolleranza. Ad es., ponendo che il diametro centrale sia 5 mm, con limiti di tolleranza + 0.25, tali valori sono richiamati dalla memoria del computer, che li visualizza in tempo reale con una sensibilità centesimale; letto il valore del diametro e fissati gli estremi della tolleranza, si impedisce il comando ai due bruciatori, regolandone la corsa e contestualmente l'apporto calorifico, tanto per il preriscaldamento quanto per la formazione del cannetto.

Al computer spetta un'ulteriore triplice funzione di comando: il carico del tubo di vetro da inserire nella pinza dell'infialatrice; il numero di fiale/tubo; lo scarico dell'ultimo pezzo di tubo dalla pinza ad operazione compiuta.

È il momento iniziale del ciclo della lavorazione, e già un computer ne governa lo svolgimento, con esso coincidendo il primo controllo qualitativo, nel «sistema di controlli» che accompagna la fabbricazione lungo la linea.

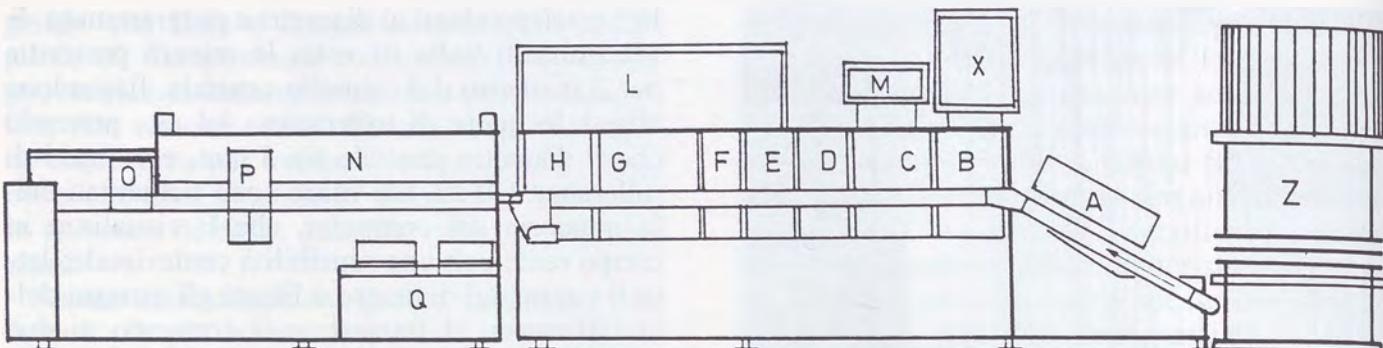
Le fiale subiranno, in fasi successive ed ininterrotte, lavorazioni e trattamenti così sintetizzabili:

- chiusura o taglio della punta
- deposizione degli anelli colorati di codificazione
- formazione «color break» (anello di colore) od Opticut (punto di segnalazione dell'apertura fiala, esercitando una lieve pressione del dito, oppure mediante dispositivi automatici di infilamento)
- serigrafia
- ricottura in forno
- score break
- controlli dimensionali e di qualità con telecamere
- siliconatura
- selezione delle punte
- inscatolamento.

Il flusso è pertanto continuo, ed i controlli intervengono automaticamente, in linea, per scartare ad ogni passaggio di fase i pezzi che non corrispondono alle prescrizioni, preprogrammate e memorizzate. Sulle linee sono infatti inseriti altri computer, cui pervengono le rilevazioni e da cui partono i segnali di accettazione o di eliminazione di ogni singolo pezzo.

Più specificamente, i controlli si riferiscono a:

- diametro della strozzatura o bolla
- lunghezza totale
- diametro della punta delle fiale
- esecuzione del taglio punta
- incisione Opticut
- verifica del punto colorato Opticut
- verifica della serigrafia.



Z: Macchina formatrice fiale  
 A: Raffreddamento forzato  
 B: Calibratura fiale  
 C: Taglierina punta fiale  
 D: Chiusura fiale a caldo  
 E: Color break e codifica ad anello  
 F: OPTICUT  
 G: Serigrafia

H: Essicatura serigrafia  
 L: Quadro comandi  
 M: Computer per OPTICUT  
 N: Tunnel ricottura e vetrificazione  
 O: Scorebreak  
 P: Stazione controllo a mezzo 4 telecamere  
 Q: Scatolatrice  
 X: Computer gestione telecamere in P.

Fig. 3 - Raffigurazione schematizzata di una linea per la formazione delle fiale; composizione e prestazioni.

La figura 3 riporta uno schema-tipo di linea, con le indicazioni delle operazioni e — con gli asterischi — dei controlli, cui provvedono dispositivi di varia natura: sensori di misura, tastatori, rilevatori di profilo, sensori di pressione, sensori ottici ecc.

L'acquisizione più recente ha coinciso con i *sensori ottici* e con l'installazione di telecamere, capaci di riconoscere i pezzi, ricondurne le caratteristiche (dimensioni, geometria) ad un disegno campione, verificarne la rispondenza, e rifiutare il proseguimento lungo il ciclo nel caso di difformità anche minime. Si dirà che tale tecnica è diffusa in vari settori: ma nel caso delle Soffierie, la telecamera ha a che fare con pezzi trasparenti e di configurazione cilindrica, il che complica moltissimo i problemi di rilevazione. V. figura 4.

In pratica, un sottosistema elettromeccanico od elettronico (che provvede anche a sincronizzare i precedenti sottosistemi nel percorso di avanzamento) rende interamente automatici la movimentazione ed il prelievo dei pezzi sotto le telecamere, le quali agiscono come sottosistema ottico di illuminazione (nelle versioni più avanzate, a fascio laser) e la visualizzazione delle immagini, informando il computer, dal quale trae i segnali un successivo subsistema di allontanamento o di prosecuzione dei pezzi verso la zona di confezionamento. È prevista una regolazione rapida per un cambio veloce del ciclo di lavoro, variando la commessa.

Al di sopra delle linee per le fiale a punta chiusa, opera un ulteriore sistema di raffreddamento in classe 100, in conformità alla normativa Fed Std 2090 (88).

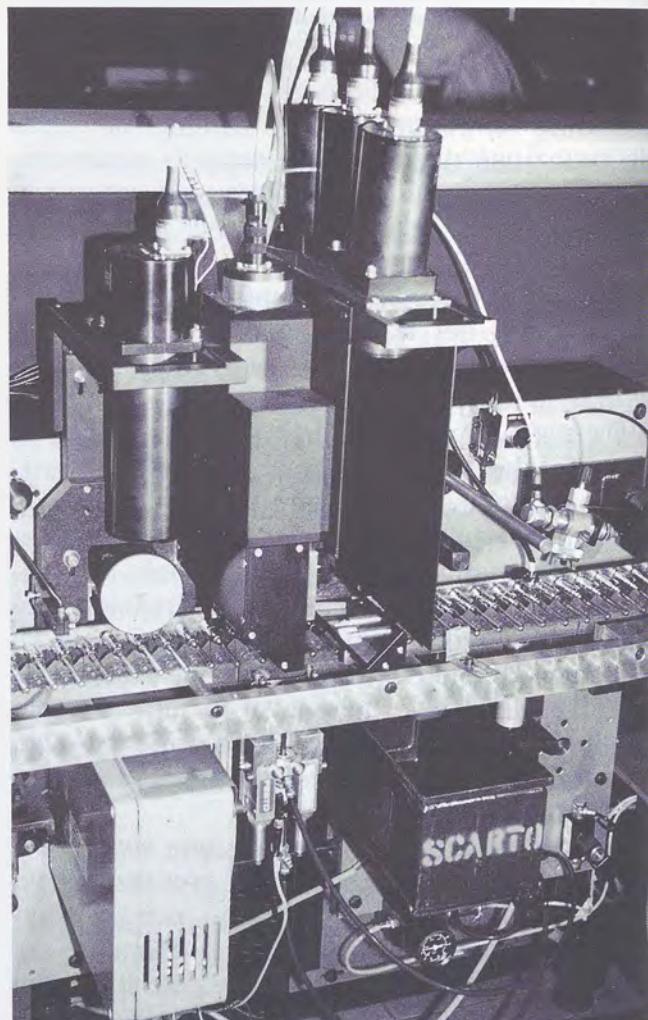


Fig. 4 - Controllo con 4 telecamere situate su linea per produzione fiale: è effettuato un riscontro (100%) di ogni fiala, le cui misure sono ricondotte ad un «campione» di riferimento, predefinito sulla base del capitolo, concernente diametri, lunghezze parziali e totale, raggi di curvatura; una delle 4 telecamere verifica l'opticut.

Un accenno è dovuto alla serigrafia, mediante la quale è stampigliata la dicitura che porta il nome del farmaco, della casa farmaceutica, eventualmente del contenuto, garantendo una stampigliatura perfetta, ossia completa e leggibile in ogni lettera o simbolo, per assicurare una lettura netta.

## Monitoraggio del prodotto

Principale obiettivo del monitoraggio è il controllo costante del ciclo di lavorazione e quindi del prodotto; ma ad esso è abbinata la necessità di poter determinare la storia della produzione di ogni lotto, disponendo di una documentazione che, oltre ad attestare la conformità alle norme ed ai capitolati, dia il modo di individuare — attraverso codici speciali di identificazione — qualunque eventuale anomalia possa essere segnalata in tempi successivi.

## I problemi della fiala al momento dell'apertura per l'uso, e la soluzione OPTICUT

Risale alla fine degli anni '80 l'inizio degli studi, delle analisi e delle sperimentazioni, condotte sulle «contaminazioni secondarie» dovute alla presenza di particelle o corpi estranei che possono inserirsi nella fiala, a seguito dell'operazione di apertura. Le metodologie di osservazione sono state condotte in Laboratori ad alta specializzazione (Usa, Giappone, UK); ne è scaturita una letteratura tecnica, che ha indotto a ricercare i mezzi tecnici e le modalità d'uso per ridurre al minimo le cause dalle quali le contaminazioni sono provocate: ci si riferisce, ad es., a particolati di vetro che si frammiscono al liquido e sono iniettati, con rischio di lesione od ostruzione di vasi capillari del sistema circolatorio.

### Soluzioni proposte:

— lieve incisione di pre-rottura, già eseguita dalle Soffierie, con anello circolare per favorire l'apertura della fiala, riducendo lo sforzo meccanico (quando l'apertura viene nei reparti farmaceutici) o manuale (nell'uso di ospedali od infermieristico);

— conferimento, in base ad un valore definito, con una sovrapressione interna dell'aria entro la fiala chiusa, in guisa che al momento dell'apertura meccanica per il successivo infilamento del liquido le particelle di vetro durante la rottura siano espulse verso l'esterno quale effetto della sovrapressione stessa;

— procedimento Opticut, che è oggi il più avanzato: all'uscita della fiala (con particolare

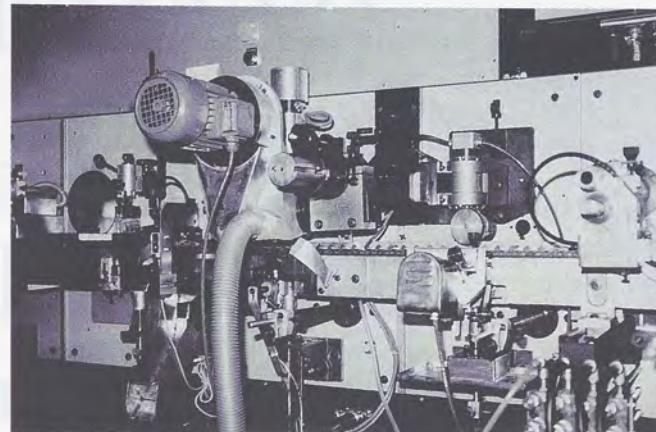


Fig. 5 - Opticut: stazione computerizzata di esecuzione dell'incisione per facilitare l'apertura della fiala, segnalata da un punto di colore; in altri casi è evidenziato un anello (colour break).

forma della strozzatura) dalla rotativa ne vengono rilevati via computer alcuni parametri dimensionali, memorizzandoli; la fiala perviene, sulla linea a trasferta, in coincidenza con la lama di incisione ed un sensore ne rileva la presenza; dalla memoria sono richiamati i dati prestabiliti e viene calcolato l'avanzamento della lama; ogni passo (0.35 um) è diviso in due parti: la prima in avanzamento veloce, la seconda in frenata determinando il contatto con la lama, che esegue l'incisione pari a pochi centesimi di millimetro, mentre in corrispondenza del taglio è indicato a smalto un «punto di colore», la cui posizione esatta è successivamente controllata da altro sensore ottico; quanto alla lama, il livello di efficienza è controllato da un analizzatore ottico di profili dopo un numero prefissato di incisioni.

La circonferenza corrisponde al punto ottico di colore, e di taglio (*Opticut*, marchio registrato da Schott, Mainz) sarà successivamente individuata sulle macchine per l'infiallamento nelle industrie farmaceutiche, ove l'apertura automatica risulterà facilitata e il rischio d'inclusione di eventuali particolati di vetro praticamente eliminato.

## Laboratori

Nel sistema integrato della Soffieria occupano un posto di risalto i Laboratori dotati di complesso equipaggiamento, ove i ricercatori si dedicano a:

— rilevazioni sul materiale di arrivo (tubi di vetro) e chimiche sul prodotto finito, con prove sulle cessioni idrolitiche e di trasmittanza;

— raccolta computerizzata, elaborazioni statistiche dei dati e memorizzazione;

— misure dimensionali e di forma su tutta la gamma di fiale e flaconi, profondità del taglio



Fig. 6 - Laboratorio: un momento dell'analisi sulle caratteristiche chimiche del vetro, riguardanti le cessioni idrolitiche.

opticut e sua inclinazione, misure di sovrapressione interna in fiale chiuse e delle forze di rotura per aprire le fiale;

— determinazione delle tensionature del vetro, con apparecchiature elettroniche ad alta sensibilità;

— compilazione tecnica dei files per tipologie di prodotti e per committenti;

— aggiornamento del sistema qualità e relativo manuale di interventi.

I Laboratori quindi non solo fanno parte rilevante del circuito informativo ed operativo, ma svolgono un ruolo di particolare responsabilità nella configurazione CIM che una Soffieria tecnologicamente avanzata intende attivare al proprio interno, e nei rapporti verso l'esterno.

Esterno che oggi si identifica anche nella CEE, con la Legge Comunitaria del 29 gennaio 1990 n. 428 recante «Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alla Comunità Europea, Titolo II, Art. 10, Sedi Farmaceutiche».

Le normative CEE imporranno a tutti, in varia misura, adeguamenti dai quali non sarà possibile prescindere, coinvolgendo in sequenza lineare sia i fornitori a monte (produttori del vetro), sia gli utilizzatori a valle (industria farmaceutica) perpetuandosi a catena.

È ciò che dovrà essere sollecitamente realizzato, per consentire un traguardo ambizioso: controllare e misurare tutti i parametri, attivare colaudi computerizzati ed ottenere la certificazione stampata, al punto terminale del ciclo produttivo.

MUSEO DELL'AUTOMOBILE  
CARLO RISCARBERI DI TORINO  
VIA ENEA SISTO, 1 - 10135 TORINO

# MUSEO DELL'AUTOMOBILE TORINO C.so Unitá D'Italia, 40

Unico Museo Nazionale  
dell'automobile in Italia.

Oltre 200 Vetture Esposte.

Nuova Sala "Storia del Pneumatico".  
Ampi Parcheggi Interni.



*Orario continuato: 10.00-18.30  
Aperto anche i festivi (Lunedí Chiuso)*

# L I N G O T T O

Il Lingotto primo, grande stabilimento della FIAT per la produzione di auto, è stato realizzato tra il 1917 e il 1920, su progetto di Giacomo Mattè-Trucco.

Esso rappresenta una delle più significative realizzazioni di architettura industriale del nostro secolo.

Le Corbusier, nel suo libro «*Vers une architecture*», lo definisce «... certamente uno degli spettacoli più impressionanti forniti dall'industria...».

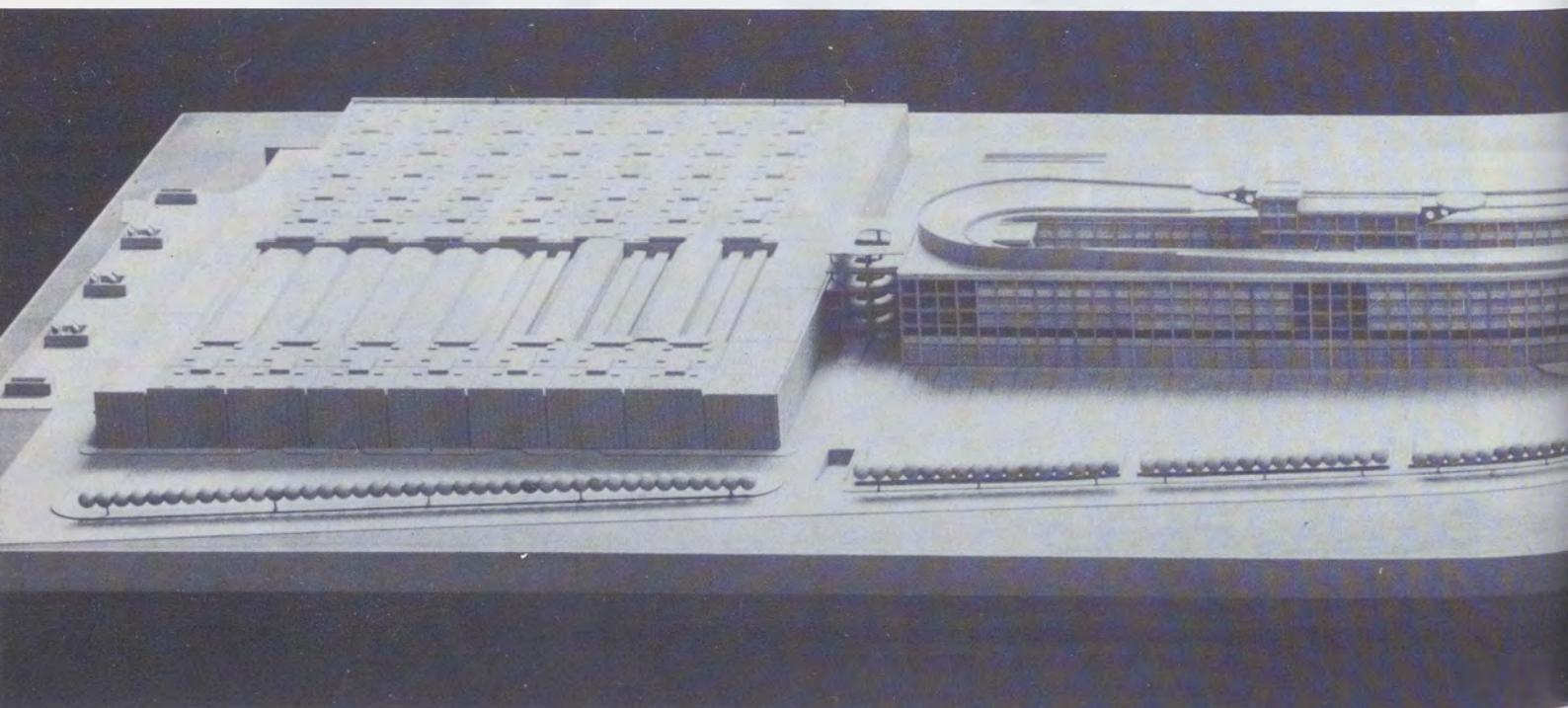
Cinquecento metri di lunghezza per cinque piani di altezza, il fabbricato officine con la pista sul tetto è il primo esempio di costruzione modulare in cemento armato fondata sulla ripetitività di tre soli elementi compositivi.

Cessata l'attività produttiva nel 1982, Lingotto è ora oggetto di una complessa trasformazione urbanistica che ne farà un importante polo tecnologico europeo e nello stesso tempo un pezzo vivo della città.

Con il progetto di Renzo Piano, Lingotto ospiterà attività economiche ma anche formative, culturali, ricreative.

Tutto il primo piano sarà pubblico, così come gli spazi a verde e i giardini interni, le rampe e la pista sul tetto.

Lingotto sta diventando un centro polifunzionale che ospita grandi fiere e congressi, sedi di società che operano in settori ad alta tecnologia, centri di ricerca pubblici e privati, dipartimenti scientifici dell'Università di Torino.



Progettato per concentrare le funzioni che generano innovazione, Lingotto è un luogo ideale per lavorare, studiare, realizzare affari — attrezzato con le tecnologie più avanzate di comunicazione e building management.

Le destinazioni d'uso del nuovo Lingotto consentiranno di entrare in contatto con nuovi mercati (il centro fiere e congressi); di ospitare in un ambiente attrezzatissimo imprese del terziario tecnologico (il centro per l'innovazione); di fare formazione e ricerca in modo moderno (l'Università); di avviare nuove attività economiche in un ambiente favorevole al loro sviluppo (l'incubator); forniranno infine alla città servizi per la persona (un albergo-residence, ristoranti, un'area commerciale).

Questa grande trasformazione urbanistica avverrà in tempi brevi: i lavori di ristrutturazione sono in corso.

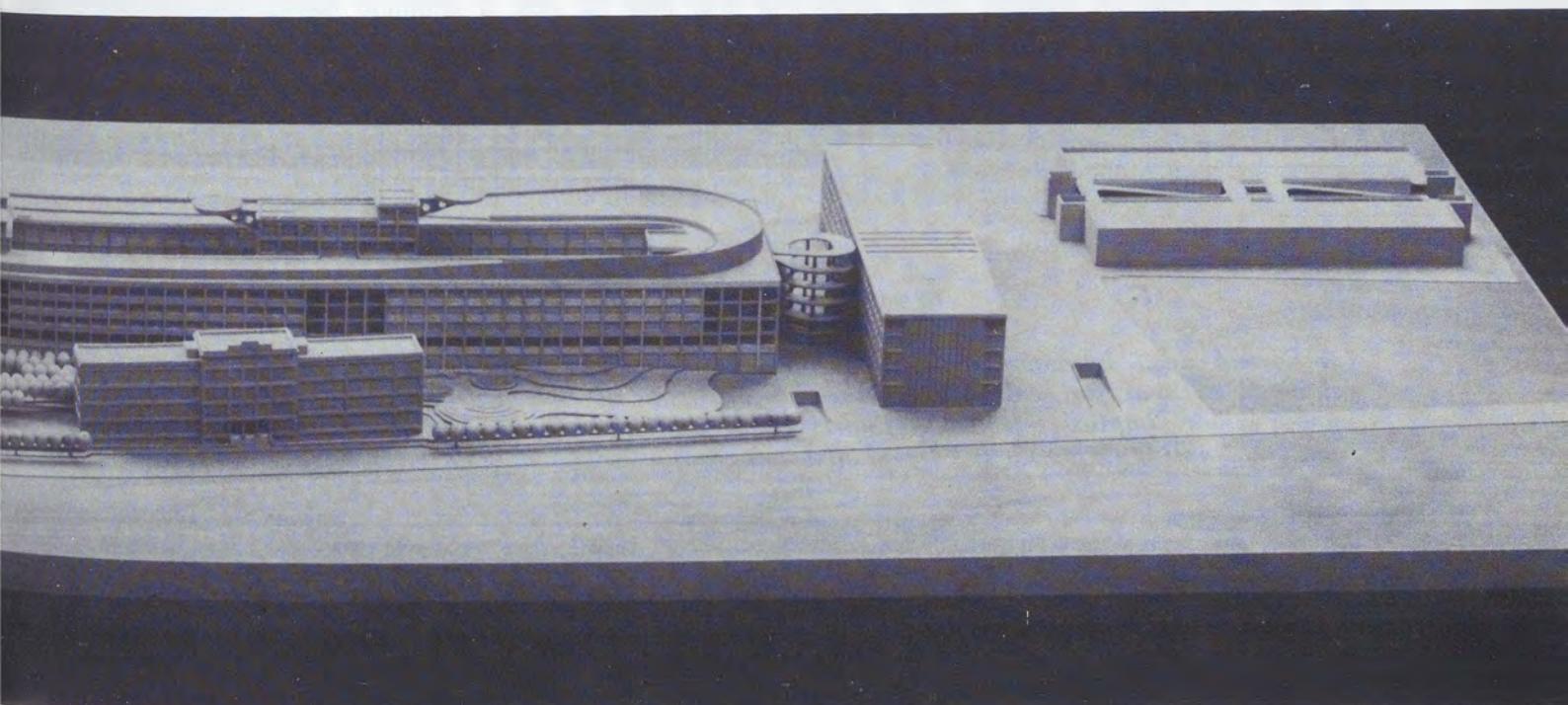
Il primo cantiere (iniziato nel Gennaio 1991) prevede la realizzazione delle opere relative al nuovo centro fiere, che saranno completate entro Marzo 1992.

I lavori per l'area congressuale, il centro per l'innovazione, l'albergo, il piano pubblico e i parcheggi (inizio: Settembre 1991) saranno completati nel 1993.

Per quella data i due terzi dell'edificio saranno agibili nella loro forma definitiva.

Il nuovo Lingotto sarà interamente terminato entro il 1995.

Sarà un parco tecnologico con enorme potenziale innovativo, e un parco urbano aperto alla gente.



# RAFFAELLO TORO

Il suo esempio di vita e di lavoro è stato sempre un esempio per gli ingegneri, architetti e tecnici che hanno voluto dedicare la loro carriera alla pubblica amministrazione. Il suo contributo alla società è stato grande e duraturo. La sua memoria è viva nel nostro paese, dove si ricorda con affetto il suo impegno per la difesa dei diritti umani e la promozione della cultura. Il suo nome è legato alla storia dell'ingegneria e dell'architettura italiana, e la sua figura è un simbolo di professionalità e di etica. È stato un grande maestro, un grande amico, un grande cittadino. La sua memoria è viva nel nostro paese, dove si ricorda con affetto il suo impegno per la difesa dei diritti umani e la promozione della cultura. Il suo nome è legato alla storia dell'ingegneria e dell'architettura italiana, e la sua figura è un simbolo di professionalità e di etica. È stato un grande maestro, un grande amico, un grande cittadino.

*La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella «Rassegna Tecnica», in relazione ai suoi fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci, invitati. La pubblicazione, implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.*

Direttore responsabile **MARCO FILIPPI**

Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948  
Spedizione in abbonamento postale GR. III/70 - Mensile

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - CORSO SIRACUSA, 37 - TORINO