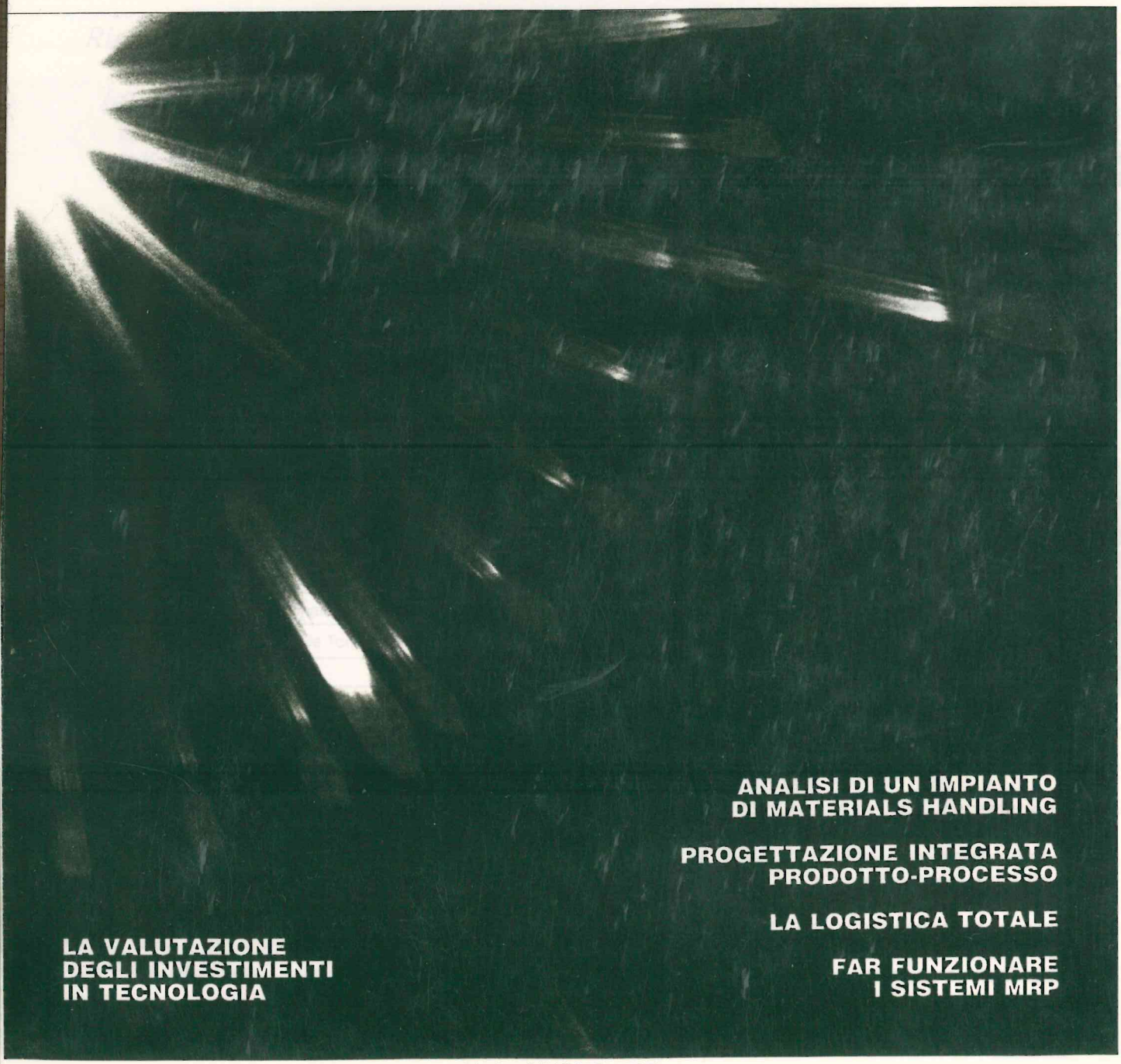
23

EDIZIONI RITMAN

LOGISTICA Management

L SERVIZIO ▫ L'APPROVVIGIONAMENTO ▫ LA PRODUZIONE ▫ LA DISTRIBUZIONE



ANALISI DI UN IMPIANTO DI MATERIALS HANDLING

PROGETTAZIONE INTEGRATA PRODOTTO-PROCESSO

LA LOGISTICA TOTALE

FAR FUNZIONARE I SISTEMI MRP

LA VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI IN TECNOLOGIA

N° 6 - GIUGNO 1990

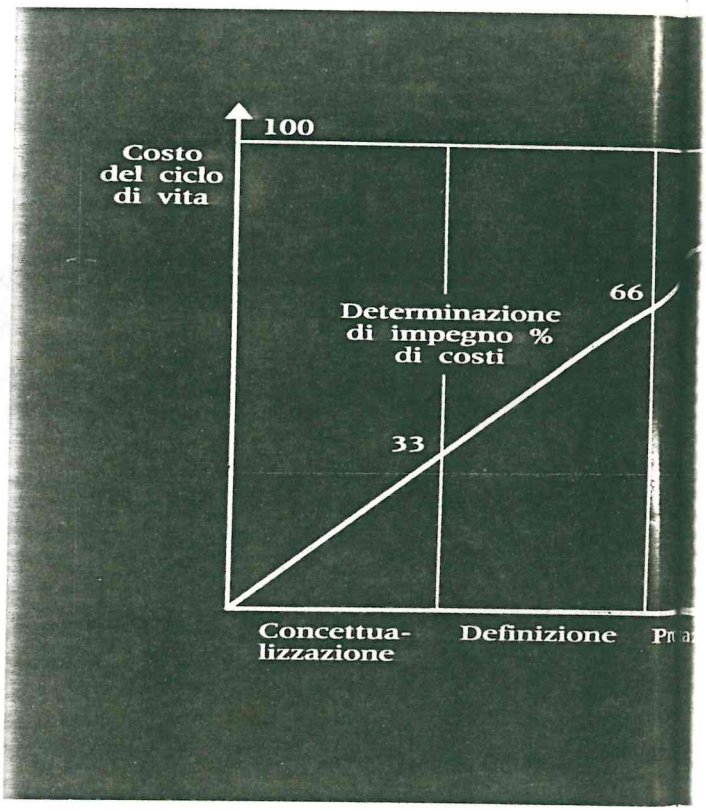
PROGETTAZIONE INTEGRATA PRODOTTO-PROCESSO

Ripetitività di prodotto e di processo quali obiettivi della progettazione integrata per ottenere flessibilità in condizioni operative di stabilità e quali variabili chiave nelle scelte di automazione.

Alberto De Toni
Giorgio Pagliarani
Luca Zipponi (*)

(*) Alberto De Toni, Università di Udine.
Giorgio Tagliarani e Luca Zipponi, Università di Padova.

Il lavoro è stato svolto congiuntamente dagli autori. Comunque nella stesura finale i paragrafi sono da attribuirsi nel seguente modo: A. De Toni e L. Zipponi par. 1, 2 e 3, G. Pagliarani par. 4.



SAGGIO SAGGIO

Gli autori intendono sviluppare il tema delle relazioni che intercorrono tra la progettazione del prodotto e quella del processo nelle imprese manifatturiere.

Il lavoro viene articolato in due parti: la prima, cioè la seguente, centrata sulla progettazione integrata prodotto/processo, la seconda (che verrà pubblicata su un prossimo numero di questa stessa rivista) sui livelli di intervento nell'ambito del prodotto e del processo produttivo.

Gli obiettivi che ci si pone in questa prima parte sono di seguito riportati:
- sottolineare le ragioni che rendono necessario un approccio integrato prodotto-processo;
- indicare l'obiettivo della progettazione simultanea prodotto-processo: l'ottenimento della flessibilità in condizioni operative di stabilità;
- evidenziare come variabili connesse con la progettazione integrata, cioè ripetitività di prodotto e processo, concorrano a determinare i campi applicativi

delle diverse tipologie di automazione (macchine CNC, FMS, transfer flessibili, transfer rigide, etc.);
- discutere opportunità e problemi connessi con nuove ipotesi di soluzioni organizzative finalizzate ad una progettazione integrata prodotto/processo.

Nella seconda parte di questo lavoro verrà proposto uno schema interpretativo articolato su più livelli, che da un lato costituisca una chiave di lettura degli interventi finalizzati alla revisione dei criteri di progettazione prodotto-processo e dall'altro dia una prima indicazione metodologica di come articolare logicamente interventi aziendali organici e coordinati nell'ambito della progettazione e della produzione.

Per quanto riguarda i prodotti è facile constatare come questi siano caratterizzati da cicli di vita sempre più brevi, contenuti tecnologici pervasivi e con caratteristiche intersettoriali, richieste di ampie gamme, elevati gradi di personalizzazione, bassi time-to-market, brevi tempi di consegna, elevata affidabilità (Choffray, 1988).

Sul versante dei processi produttivi, si osserva come essi siano sempre più focalizzati sul prodotto per esigenze di maggiore produttività (Skinner, 1974); conseguentemente essi risentono in maniera negativa dell'introduzione di nuovi prodotti non progettati in funzione anche di specifiche esigenze produttive

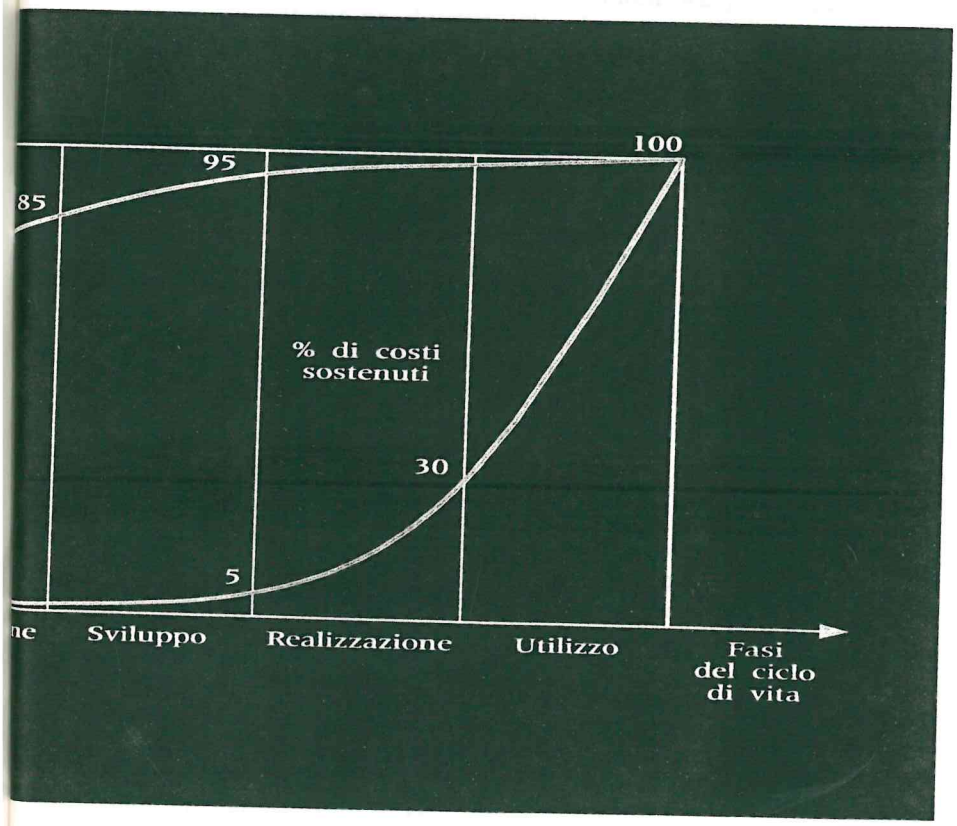


Fig. 1 - Andamento della determinazione percentuale dell'impegno di spesa nelle varie fasi di vita di un prodotto industriale e andamento percentuale di spesa sostenuta.

1 - La necessità di una progettazione integrata

L'aumento delle esigenze del mercato e la crescente competitività internazionale determinano la necessità di una stretta integrazione tra la progettazione dei prodotti e la progettazione dei sistemi produttivi al fine di ottenere maggiori prestazioni globali a livello di prodotti e di processi produttivi (Pagliarani, 1983)

Il riferimento non è ai sistemi tradizionali del tipo job-shop, le cui prestazioni non vengono influenzate sensibilmente dalla produzione di nuovi prodotti, bensì ai recenti sistemi produttivi basati su logiche ispirate alla group technology e al just-in-time ed eventualmente caratterizzati dall'utilizzo di tecnologie di automazione flessibile (Bartezzaghi, Turco, 1988).

L'introduzione nei sistemi produttivi di logiche di group technology, logiche just-in-time e sistemi di

automazione flessibile implica che la progettazione dei prodotti tenga conto di nuove e diverse impostazioni produttive.

Applicando i principi della group technology si perviene alla definizione di famiglie di prodotti simili per cicli di lavorazione, realizzati in apposite celle produttive (Burbidge, 1975). Dal punto di vista della progettazione, ciò implica la definizione simultanea di una intera famiglia di prodotti, o la definizione di un singolo prodotto finito coerentemente con le caratteristiche della famiglia di appartenenza.

I processi produttivi funzionanti con logiche just-in-time si contraddistinguono per sistemi di avanzamento di tipo pull, linee di produzione e di assemblaggio in cui transitano modelli diversi, monitoraggio visivo del sistema produttivo, rifornimenti a piè di linea, etc. (De Toni, Caputo, Vinelli, 1987). Questo implica il dover predisporre per tutte le materie prime ed i componenti opportuni spazi fisici, i quali rappresentano grosse limitazioni all'introduzione di nuovi modelli non previsti in sede di progettazione di sistema produttivo per evidenti motivi di ingombro.

L'adozione di impianti di automazione flessibile impone infine che il prodotto sia realizzato nel rispetto dei vincoli di sistema: disponibilità di utensili idonei, disponibilità di attrezzature, ingombri massimi dei pezzi lavorabili, tolleranze garantite, accessibilità ai punti oggetto di lavorazione, etc. (Ranky, 1983). Le limitazioni che ne derivano in fase di progettazione del prodotto sono palesi.

La conciliazione tra caratteristiche sempre più articolate di prodotto e sistemi produttivi sempre più efficienti deve essere perseguita già in sede di definizione di prodotto, o meglio mediante una progettazione contestuale sia del prodotto che del processo. In letteratura questi temi sono noti con il termine "design for producibility" (Whitney et al., 1987).

Una grande attenzione ai temi della progettazione simultanea prodotto-processo è altresì giustificata dal fatto che nelle fasi di progettazione vengono determinati gran parte dei costi che saranno sostenuti nelle successive fasi di sviluppo, realizzazione ed utilizzo del prodotto, secondo le note curve del Life Cycle Cost (Blanchard, 1978).

In figura 1 sono state rappresentate la curva del costo del ciclo di vita del prodotto che indica le percentuali dei costi sostenuti nelle diverse fasi, e la curva di determinazione dei costi che indica in quale percentuale sono determinati nelle varie fasi gli impegni di costo da sostenere successivamente.

Come indicato nella curva dei costi del ciclo di vita, i costi di esercizio di un bene industriale sono circa il 70% dei costi sostenuti durante l'intero ciclo di vita del prodotto stesso. Dalla curva di determinazione dei costi si nota come tali costi siano definiti per più dell'80% del loro ammontare nelle fasi di concettualizzazione e di progettazione.

In ultima analisi è in sede di definizione del binomio prodotto-processo che si può pervenire ad una ottimizzazione globale dei costi di produzione e di esercizio. Gli approcci del "design to life cycle cost" sono appunto finalizzati ad una riduzione complessiva dei costi di produzione e di funzionamento (Bianchi, 1986).

Da quanto esposto in questo paragrafo emerge l'importanza di una progettazione integrata prodotto-processo in un'ottica globale comprensiva di tutte le problematiche connesse con la nascita di un nuovo prodotto.

2 - L'obiettivo della progettazione integrata: flessibilità in condizioni operative stabili

A fronte di un mercato che richiede grande flessibilità nelle sue varie dimensioni (flessibilità al mix, flessibilità ai volumi, flessibilità ai tempi di consegna, flessibilità all'introduzione di nuovi prodotti, etc.), si contrappone l'esigenza di disporre di sistemi produttivi efficienti in grado di garantire l'ottenimento di prodotti di alta qualità e a costi competitivi.

La flessibilitàdi un sistema può in generale essere distinta in (Mandelbaum, 1978):

- flessibilità d'azione: capacità di intraprendere nuove azioni a fronte di nuove circostanze; si tratta di lasciare aperte tutta una serie di opzioni che permettano successive azioni per ottenere i cambiamenti desiderati;
- flessibilità di stato: capacità di continuare a funzionare nonostante il cambiamento; il sistema ha in sè la possibilità di reagire alle modifiche.

Per applicare questi concetti generali ad un sistema produttivo è necessario ipotizzare l'esistenza di un insieme di stati di funzionamento ottimali. La flessibilità di stato consente al sistema di funzionare nei diversi stati di esercizio ipotizzati. La flessibilità d'azione permette al sistema di portarsi in stati di funzionamento non precedentemente previsti.

È evidente che i costi connessi con il perseguimento della flessibilità d'azione in un contesto manifatturiero sono elevatissimi, in quanto bisognerebbe dotare il sistema produttivo di impianti, strutture organizzative e procedure gestionali capaci di fronteggiare situazioni tra loro molto differenti e non previste.

Viceversa operare nell'ambito di un insieme di stati di esercizio previsti comporta costi decisamente in-

feriori, anche se significativamente superiori a quelli di un sistema caratterizzato da una sola condizione di funzionamento.

È ragionevole pertanto affermare che la flessibilità di un sistema produttivo, intesa nelle due classi sopra citate, debba essere ricercata soprattutto come flessibilità di stato.

La necessità di orientarsi verso una flessibilità di stato è ancora maggiore in contesti produttivi fortemente automatizzati. Infatti l'entità degli investimenti in gioco implica necessariamente di predefinire in anticipo quali debbano essere, su un orizzonte significativo di tempo, gli assetti produttivi che si renderanno necessari.

Sotto certe ipotesi il concetto di flessibilità di stato appena introdotto è sotteso dal concetto di stabilità che andiamo di seguito a formulare.

In generale la stabilità di un sistema può essere definita come la sua capacità di mantenersi-riportarsi nello stato ottimale di esercizio in presenza di sollecitazioni esterne.

Se esteso a più stati di esercizio il concetto di stabilità presuppone quello della flessibilità di stato: nelle nostre ipotesi cioè un sistema produttivo è stabile quando è caratterizzato dalla capacità di operare in differenti stati di esercizio ottimali, rispetto ai quali è in grado di mantenersi-riportarsi a fronte di sollecitazioni esterne.

Dotare un sistema produttivo di stabilità, intesa nel senso appena detto, non è però sufficiente. Infatti la stabilità deve coniugarsi con la possibilità di evolvere da uno stato di funzionamento ad un altro velocemente e a costi contenuti.

Con riferimento alla definizione di stabilità sopra formulata, la flessibilità di un sistema produttivo può essere definita come la sua capacità di passare con brevi transitori e a bassi costi da uno stato di esercizio ad un altro.

Obiettivo fondamentale nella progettazione e realizzazione di un sistema produttivo deve essere quindi l'ottenimento simultaneo di stabilità e flessibilità nei significati sopra esposti.

Stabilità e flessibilità di un sistema produttivo sono variabili fondamentali nel determinare le prestazioni del sistema stesso.

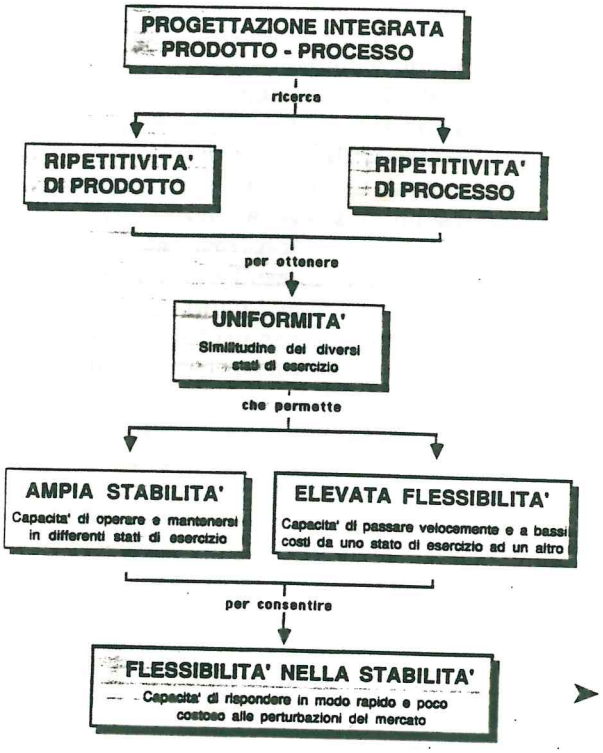
La stabilità è importante sul lungo periodo per garantire orizzonti temporali significativi per gli investimenti in impiantistica ed in automazione, assetti organizzativi duraturi, rapporti continuativi con i fornitori.

La flessibilità è importante sul breve periodo per rispondere tempestivamente alle perturbazioni del mercato, rendendo minimi i transitori di assestamento per i cambi di produzione.

I concetti di stabilità e di flessibilità sopra formulati sono analoghi alle due dimensioni della flessibilità definite da Slack (1983): la varietà degli stati (corrispondente per certi versi alla stabilità), costi e tempi necessari per il cambiamento (corrispondente alla flessibilità).

Per ottenere un sistema produttivo dotato di gran-

Fig. 2 - Flessibilità nella stabilità: obiettivo della progettazione integrata prodotto-processo.



[1] Il concetto di flessibilità è oggetto di riflessione da parte di un grande numero di autori. Il termine non è univocamente definito ed ha assunto in generale il significato di capacità di adattamento del sistema alle perturbazioni provenienti dall'esterno. Le diverse definizioni proposte risentono di una differenziazione tra approccio economico ed approccio tecnologico-gestionale.
Per quanto riguarda il primo approccio si vedano, tra gli altri, le definizioni di "adattabilità", "elasticità", "versatilità", "flessibilità", "alterabilità" e "convertibilità" proposte da Colombo e Mariotti (1985).
Per quanto riguarda il secondo approccio si vedano in particolare i contributi di:
- Buzacott (1982): "job and machine flexibility";
- Zelenovic (1982): "design adequacy" e "adaptation flexibility";
- Gerwin (1982): "mix, parts, routing, design-change and volume flexibility";
- Browne et al. (1984): "machine, process, product, routing expansion, volume, operation, and production flexibility";
- Barad e Sipper (1988); "machine set-up, process, transfer, routing and system set-up flexibility";
- Bertelè e Azzone (1988): "volume, product, mix, production, expansion and technological flexibility."

de stabilità e di elevata flessibilità è necessario aumentare il grado di uniformità del sistema produttivo, inteso come livello di similitudine dei diversi stati di esercizio.

L'uniformità del sistema produttivo è funzione della ripetitività di prodotto, cioè del grado di standardizzazione dei prodotti, e della ripetitività di processo, cioè del grado di similitudine dei cicli produttivi.

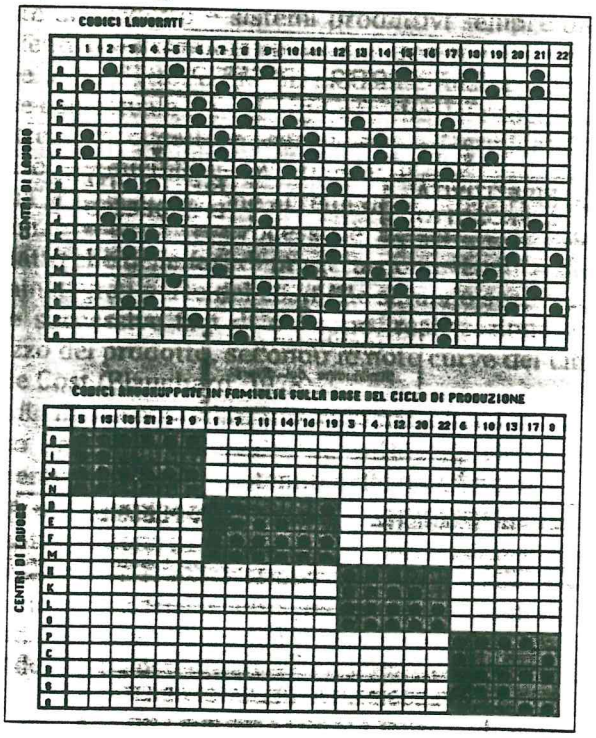
La ricerca della ripetitività di prodotto e di processo è possibile grazie ad una progettazione integrata prodotto-processo, che è appunto oggetto di questo articolo.

Introdurre ripetitività di prodotto e di processo in fase di progettazione significa prestrutturare la realtà in modo da ridurne la complessità.

Si tratta in altre parole di porsi oggi nelle condizioni di risolvere facilmente i problemi che si potrebbero verificare domani. La progettazione diventa allora la fase a monte dove si mettono le basi per risolvere i problemi che normalmente si incontrano nelle fasi a valle di fabbricazione e di assemblaggio. E' in sede di progettazione cioè che, definendo il livello di uniformità del sistema, si stabiliscono i suoi gradi di libertà e la sua rapidità di cambiamento.

In figura 2 si è tentato di visualizzare quanto sopra esposto evidenziando come la progettazione integrata prodotto-processo, tramite l'introduzione di ripetitività di prodotto e di processo, sia strumento fondamentale per ottenere uniformità dei diversi stati di esercizio. L'uniformità consente l'allargamento della stabilità e l'aumento della flessibilità; l'uniformità permette in ultima analisi di ottenere flessibilità in condizioni operative di stabilità (con uno slogan flessibilità nella stabilità), cioè in sintesi la capacità di rispondere rapidamente ed economicamente alle perturbazioni esterne del mercato.

Fig. 3 - Creazione di famiglie di prodotto secondo i criteri della Group Technology.



3 - Ripetitività come variabile determinante nella scelta del tipo di automazione

Nelle imprese manifatturiere l'introduzione di processi automatizzati comporta la revisione dei prodotti in funzione della loro produzione automatica e richiede in ultima analisi un approccio sistemico prodotto-processo come detto precedentemente.

La ripetitività, ottenuta attraverso interventi miranti più in generale a conferire stabilità e flessibilità al sistema operativo, è una variabile significativa per orientare le aziende nella scelta del tipo di automazione più conveniente.

La ripetitività può essere analizzata dal punto di vista del prodotto e del processo.

La ripetitività di prodotto è misurabile dal grado di standardizzazione che si estrinseca in una riduzione del numero di codici. Una concezione modulare del prodotto, ovvero una struttura a "clessidra" consente di mantenere elevata la gamma di prodotti offerti utilizzando un numero ridotto di componenti e di moduli (Da Villa, De Toni, 1988). La riduzione del numero di codici, a parità di domanda di prodotti finiti, aumenta il volume unitario di produzione dei codici e la continuità della domanda degli stessi.

La ripetitività di processo è funzione del grado di similitudine dei cicli di lavorazione dei prodotti. Nella misura in cui è spinta la similitudine dei cicli produttivi è possibile realizzare un lay-out per celle preposte alla lavorazione di intere famiglie di prodotti ed organizzare flussi preferenziali all'interno del sistema produttivo. L'individuazione delle famiglie di codici lavorabili in una medesima cella avviene raggruppando i codici aventi cicli di lavorazione simili, come indicato in figura 3 (Burbidge, 1975).

Le due classi di ripetitività sopra individuate, sono le variabili dal cui incrocio si ricava la matrice di figura 4 che determina i diversi campi applicativi di differenti tipi di sistemi produttivi.[2]

Il primo quadrante della matrice di figura 4 è rappresentativo di un sistema produttivo del tipo job-shop. I cicli di lavorazione dei codici sono tra loro differenti, i volumi unitari di produzione di compo-

Fig. 4 - Tipologie produttive in funzione della ripetitività.

nenti sono bassi e determinano una domanda discontinua degli stessi.

Il secondo quadrante della matrice di figura 4 individua sistemi di produzione su linee dedicate, ciascuna caratterizzata da un ciclo di lavorazione specifico e differente dalle altre. Le linee sono dedicate a lavorazioni di codici fabbricati in alti volumi unitari, frutto della ricerca di comunanze a livello di prodotto.

Il terzo quadrante della matrice di figura 4 è rappresentativo di sistemi di produzione cosiddetti a celle, caratterizzati da cicli produttivi omogenei, bassi volumi unitari e domanda discontinua di singoli componenti.

Il quarto quadrante della matrice di figura 4 indica infine produzioni su celle dedicate o linee flessibili a seconda che sia prevalente la ripetitività nei cicli di lavorazione oppure la ripetitività di prodotto che comporta alti volumi unitari di codici. Le famiglie di prodotti sono tipicamente poco numerose.

Per celle dedicate si intendono celle con macchine speciali preposte alla realizzazione di specifiche lavorazioni. La presenza di macchine speciali è giustificata dagli alti volumi unitari che consentono la creazione di famiglie aventi basso numero di codici.

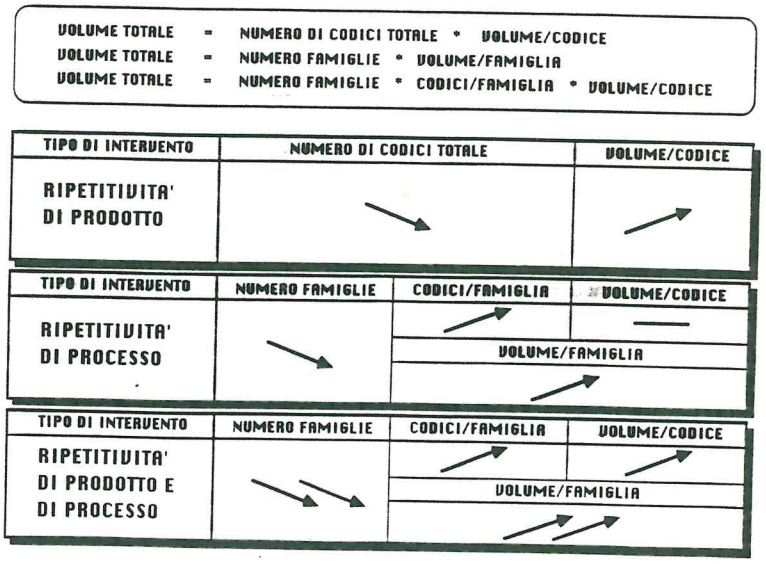
Le linee flessibili sono impianti produttivi dove la presenza di alcune macchine capaci di effettuare più lavorazioni garantisce un certo grado di flessibilità rispetto ad una linea dedicata. Nelle linee flessibili il numero dei codici che compongono la famiglia è ancora più piccolo rispetto alle celle dedicate.

Le condizioni che caratterizzano il quarto quadrante della matrice di figura 4 sono l'alta ripetitività di prodotto e di processo; queste condizioni permettono di individuare famiglie di prodotti e porzioni del processo produttivo che possono costituire unità indipendenti all'interno della fabbrica. Queste unità, autonome nell'ambito di un processo produttivo, sono note con il termine di sottofabbriche focalizzate. La strutturazione di un processo produttivo in sottofabbriche focalizzate è auspicabile perché consente semplicità dei flussi, tempestività nelle decisioni, minori problematiche gestionali ed organizzative (Shonberger, 1987).

La realizzazione delle condizioni del quadrante 4 della matrice è possibile tramite una revisione sia del prodotto che del processo. Gli interventi sul prodotto e sul processo vanno a modificare i valori di variabili quali numero di codici totali, volumi unitari di codice, numero di famiglie, numerosità delle famiglie, volumi unitari di famiglia, variabili legate tra di loro secondo le relazioni seguenti:

VOLUME PRODUTTIVO TOTALE =
= (N° CODICI)* (VOLUME/CODICE)
= (N° FAMIGLIE) * (VOLUME/FAMIGLIA)
= (N° FAMIGLIE) * (CODICI/FAMIGLIA) * (VOLUME/CODICE)

Fig. 5 - Relazioni tra le variabili, a parità di volume produttivo.



[2] Browne et al. (1988) propongono invece una classificazione matriciale dei sistemi produttivi che ha come variabili di ingresso il grado di focalizzazione sul prodotto ed il grado di disaccoppiamento del processo produttivo.

Si noti come, a parità di volume produttivo totale, l'intervento sulla ripetitività del prodotto incida sul numero di codici totali e sul volume unitario di codice, (volume/codice), e come l'intervento sulla ripetitività del processo incida sul numero delle famiglie, sul volume/famiglia e sulla numerosità delle famiglie (codici/famiglia).

Le relazioni tra le variabili citate e gli interventi sul prodotto e sul processo sono rappresentati qualitativamente in figura 5, nell'ipotesi di volumi di produzione costanti.

L'intervento sulla ripetitività del prodotto comporta una riduzione del numero di codici totali e quindi un aumento dei volumi unitari di codice.

L'intervento sulla ripetitività di processo non ha alcun impatto sul volume unitario di ciascun codice, ma aumentando il grado di similitudine dei cicli produttivi permette una aggregazione più spinta dei codici in famiglie determinando quindi un allargamento della numerosità delle famiglie e una loro conseguente diminuzione in numero.

L'importanza della riduzione del numero di famiglie è comprensibile se si considera che in questo modo aumentano i volumi produttivi per famiglia; il raggiungimento di volumi sufficientemente elevati per famiglia è infatti la condizione per poter creare apposite celle produttive per ogni famiglia.

L'intervento congiunto sul prodotto e sul processo consente di ottenere una forte riduzione del numero di famiglie, ma soprattutto consente di creare famiglie con molti codici ad alto volume unitario, e cioè alti volumi unitari per famiglia.

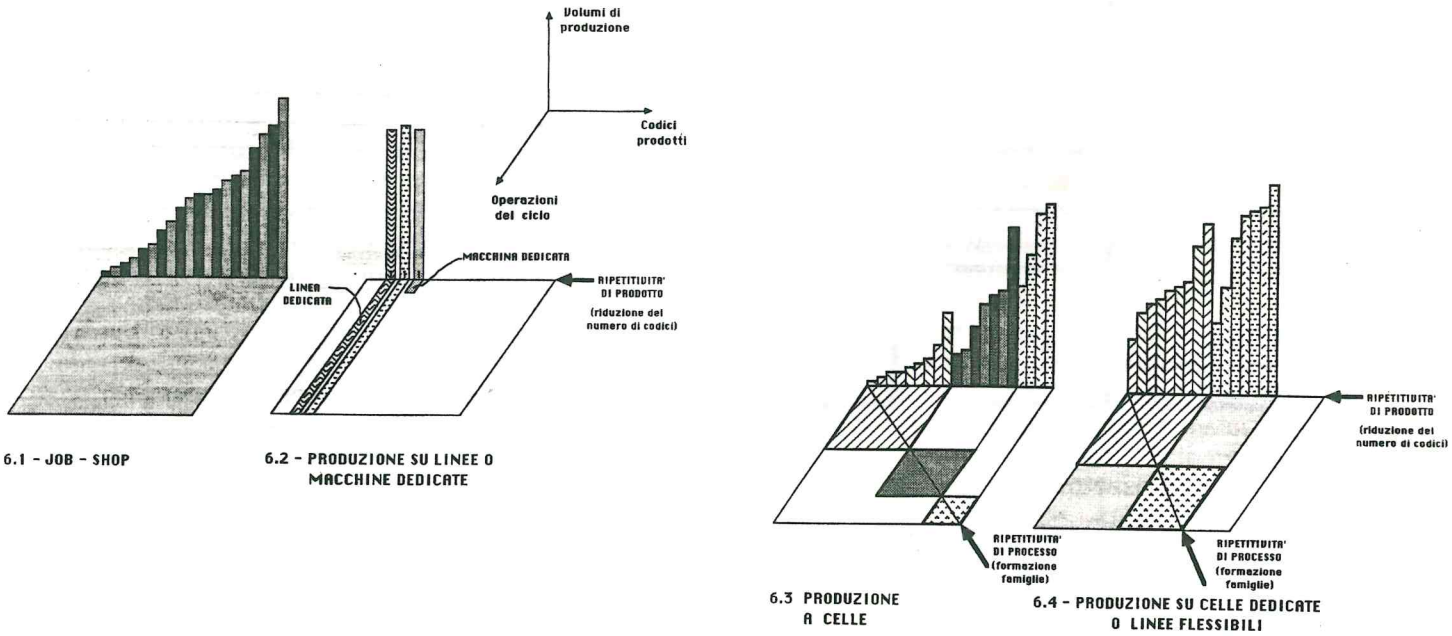
In figura 6 sono rappresentate graficamente le quattro situazioni produttive di figura 4. La figura 6 evidenzia le relazioni tra interventi sul processo e sul prodotto nell'ipotesi di volumi produttivi complessivi costanti.

Il grafico 6.1 è relativo al sistema produttivo job-shop. Il rettangolo di base rappresenta la matrice 3.1 di figura 3; sono inoltre rappresentati in ordine crescente i volumi unitari di produzione dei codici.

Il grafico 6.2 rappresenta come alti volumi unitari connessi con una forte standardizzazione dei prodotti consenta l'utilizzo di linee o macchine dedicate alla produzione di un singolo codice. Questi codici in generale possono essere individuati come classe A di una analisi ABC sui volumi e sono anche detti, con riferimento ai lead-time di produzione, codici veloci.

I rimanenti codici di classe B e C continueranno ad essere prodotti con sistemi produttivi del tipo job-shop o in sistemi a celle a seconda del grado di similitudine dei loro cicli produttivi. L'effetto di introduzione di ripetitività di prodotto a partire da un job-shop (spostamento da quadrante 1 a quadrante 2 di figura 4) comporta l'uso di impianti dedicati per i codici di classe A per volume di produzione.

Fig. 6 - Famiglie di prodotti e relativi volumi unitari in funzione della ripetitività di prodotto e processo.



6.1 - JOB - SHOP

6.2 - PRODUZIONE SU LINEE O MACCHINE DEDICATE

6.3 PRODUZIONE A CELLE

6.4 - PRODUZIONE SU CELLE DEDICATE O LINEE FLESSIBILI

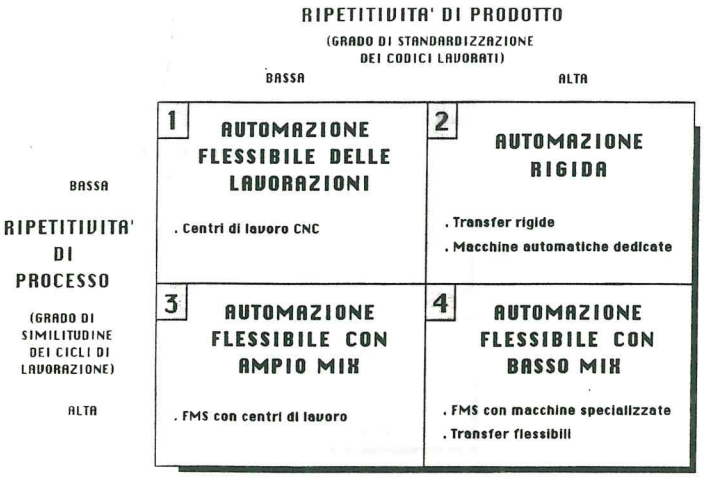


Fig. 7 - Contesti applicativi dell'automazione in funzione della ripetitività.

La ricerca di similitudine dei cicli di lavorazione porta invece alla costruzione delle famiglie di codici. Nel grafico 6.3 si evidenzia visivamente come la creazione di famiglie di prodotto non possa prescindere dalla considerazione dell'entità del volume dei singoli codici. Si noti come bassi volumi unitari per codice impongano la ricerca di famiglie più numerose per superare i volumi minimi produttivi che giustificano la creazione di una cella.

Il grafico 6.3 può essere considerato come la rappresentazione degli effetti di interventi miranti ad aumentare la ripetitività di processo (possibilità di formazione di famiglie). In figura 4 l'effetto è rappresentato dallo spostamento dal quadrante 1 al quadrante 3 della matrice.

Il grafico 6.4 rappresenta il risultato dell'azione combinata di introduzione di ripetitività di prodotto e di processo e corrisponde al passaggio dal quadrante 1 al quadrante 4 della matrice di figura 4.

La matrice di figura 7 determina i contesti applicativi delle diverse classi di automazione, evidenziando come scelte appropriate di automazione siano funzione della ripetitività di prodotto e di processo.

Le caratteristiche dei sistemi job-shop (cfr. quadrante 1 di figura 4) non rendono conveniente una automazione estesa anche alle fasi di stoccaggio, trasporto e lavorazione. L'intervento di automazione più frequente è l'adozione di centri di lavoro CNC stand-alone per l'automazione delle lavorazioni più utilizzate (cfr. quadrante 1 di figura 7: automazione flessibile delle lavorazioni). Un piano di automazione più organico del processo produttivo non può non passare attraverso la definizione di celle secondo l'approccio tipico della Group Technology.

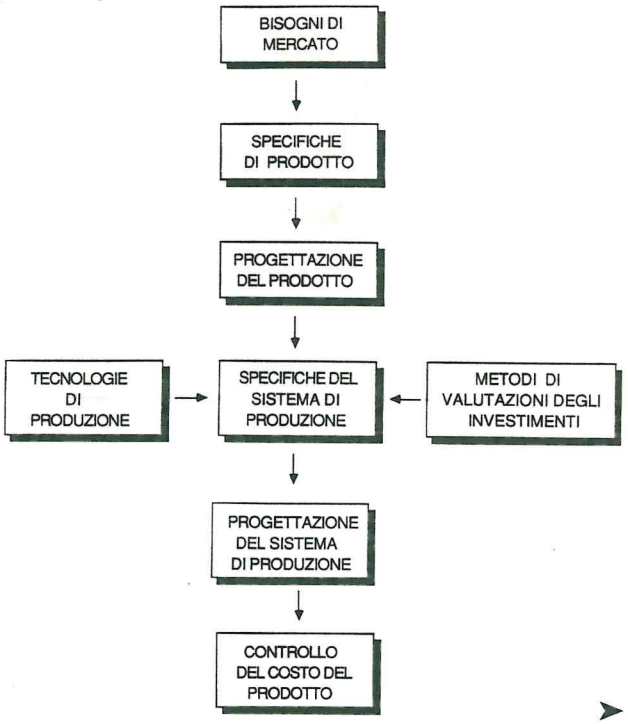
La produzione su linee dedicate in alti volumi unitari (cfr. quadrante 2 di figura 4) permette di introdurre automazione cosiddetta rigida di intere linee (transfer rigide) o di loro parti (macchine dedicate) (cfr. quadrante 2 di figura 7: automazione rigida).

L'automazione di celle preposte alla lavorazione di famiglie con elevato numero di codici (cfr. quadrante 3 di figura 4) è possibile tramite l'introduzione di FMS con centri di lavoro per la lavorazione di mix ampi di particolari: fino a 500 e oltre codici (cfr. quadrante 3 di figura 7: automazione flessibile con ampio mix) (Hartley, 1984).

Sistemi di automazione tipici delle celle dedicate e delle linee flessibili (cfr. quadrante 4 di figura 4) sono rappresentati rispettivamente da FMS non in linea dotati di macchine speciali e da transfer flessibili preposti alla lavorazione di un basso numero di codici (cfr. quadrante 4 di figura 7: automazione flessibile con basso mix).

La matrice di figura 7 così costruita indica come l'introduzione appropriata di automazione sia legata a variabili che determinano il maggiore o minore grado di ripetitività di prodotto e di processo. L'introduzione di ripetitività di prodotto e di processo amplia i contesti applicativi dell'automazione flessibile a basso mix (quadrante 4), che risulta meno costosa di quella ad ampio mix (quadrante 3) e consente gradi di flessibilità maggiori rispetto all'automazione rigida (quadrante 2).

Fig. 8 - L'iter tradizionale di progettazione del prodotto e del processo produttivo.



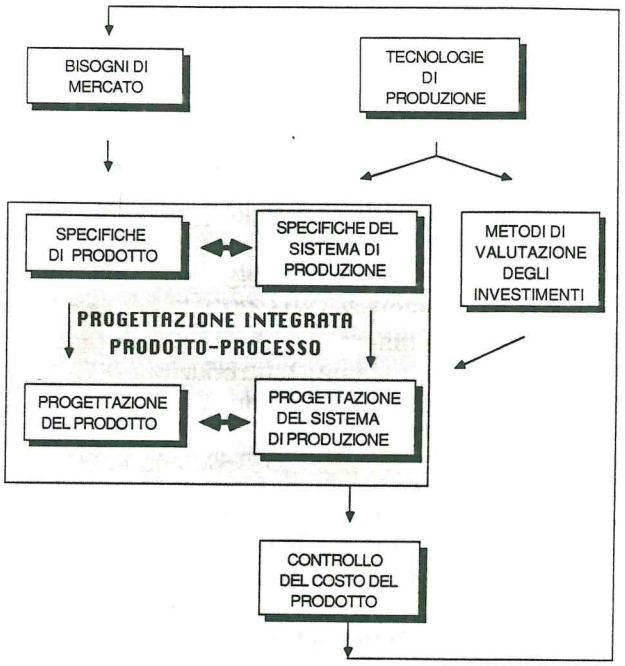


Fig. 9 - L'approccio integrato alla progettazione del prodotto e del sistema produttivo.

Le leve su cui è possibile intervenire per aumentare la ripetitività di prodotto e di processo saranno descritte nella parte successiva di questo lavoro.

L'iter di progettazione integrata prodotto-processo e le modalità organizzative di coordinamento saranno invece l'oggetto del prossimo paragrafo.

4 - L'iter di progettazione integrata prodotto processo e modalità organizzative di coordinamento

Le attività di progettazione del prodotto e del processo sono tra loro fortemente interconnesse. Per contro solitamente le fasi di progettazione, industrializzazione e produzione sono nettamente distinte e svolte in sequenza. In figura 8 si evidenzia come non esistano significativi feedback che consentano, durante la fase di progettazione prodotto, di tener presente esigenze produttive che si presenteranno solo successivamente (Whitney et al., 1987).

La separazione di fasi e funzioni è il frutto anche di diverse culture che costituiscono grosse barriere all'integrazione: il mondo della progettazione è maggiormente sensibile al rapporto costo/prestazioni di un nuovo prodotto e alle sue caratteristiche funzionali ed estetiche, mentre la funzione produzione è concentrata soprattutto su problematiche produttive, quali ad esempio l'efficienza, la qualità, i costi di distribuzione, etc. (Galbraith, 1983). Il prodotto, che rappresenta la sintesi di aspetti progettuali e produttivi, deve invece risultare dalla definizione contestuale di specifiche di prodotto e di processo, attraverso una visione unitaria più orientata ad ottimizzare le variabili prezzo - qualità - servizio (Whitney, 1989).

In figura 9 viene rappresentato graficamente il nuovo approccio per giungere a definire contemporaneamente prodotto e processo (Whitney et al., 1987).

L'integrazione tra la funzione progettazione e produzione, evidenziata dal rettangolo a fondo grigio di figura 9, può essere raggiunta attraverso varie soluzioni organizzative (Dean, 1989):
- acquisizione di un software di supporto alla progettazione;
- ruoli di coordinamento orizzontale;
- comitati interfunzionali;
- funzione di progettazione integrata prodotto-processo.

Software di supporto alla progettazione

L'acquisizione di packages di supporto alla progettazione è la soluzione con impatti organizzativi minori. I pacchetti specialistici oggi disponibili, ad esempio il DFA-Design for Assembly (Boothroyd, 1989) e l'-Hitachi Assemblability Evaluation Method, permettono di verificare quantitativamente il grado di producibilità di un prodotto sulla base di una analisi di un certo numero di caratteristiche.

Le applicazioni sono differenziate in funzione del tipo di lavorazione: stampaggio a freddo, stampaggio a caldo, fusione, montaggio, etc. Ad esempio nell'ambito del montaggio le variabili analizzate sono: il numero di componenti, la loro standardizzazione, la semplicità degli accoppiamenti, le operazioni necessarie per effettuare l'assemblaggio. I vantaggi ottenuti alla Texas Instruments Inc. dall'applicazione di un package quale il DFA sono riportati a titolo d'esempio in figura 10 (Boothroyd, 1989).

La soluzione esposta, che costituisce un potente strumento in fase di progettazione, ha il vantaggio di essere poco costosa e velocemente implementabile. Per contro lo scambio di conoscenze e di problematiche tra progettazione e produzione è molto basso, e questo non favorisce la crescita di una cultura e di una sensibilità comune.

VARIABILI \ RISULTATI	PRIMA	DOPO	RIDUZIONE
TEMPO DI ASSEMBLAGGIO (MINUTI)	129	20	85 %
NUMERO DI COMPONENTI	47	12	75 %
NUMERO DI FASI DI ASSEMBLAGGIO	56	13	78 %
TEMPO DI FABBRICAZIONE DELLE PARTI METALLICHE (MINUTI)	757	219	71 %

Fig. 10 - Risultati conseguiti tramite l'applicazione di tecniche di "Design for Assembly" nella realizzazione di una apparecchiatura ottica (fonte: Texas instruments Inc.).

Ruoli di coordinamento trasversale

La creazione di ruoli di coordinamento trasversale è la seconda soluzione proposta. Tipici vantaggi sono costi ridotti e grande flessibilità.

La figura dell'integratore può facilmente permettere lo sfruttamento di nuove opportunità maturate negli ambiti progettazione e produzione. Con questa soluzione non è necessario che gli ingegneri di produzione acquisiscano competenze di progettazione e viceversa; inoltre la soluzione organizzativa proposta garantisce la crescita di un esperto in producibilità, che può diventare il punto di riferimento centrale dell'impresa su questi argomenti.

Gli svantaggi che questo approccio organizzativo comporta sono:
- difficoltà di individuare persone portatrici di culture differenti;
- dipendenza dell'organizzazione da uno o più individui;
- sequenza anziché simultaneità delle fasi di progettazione ed industrializzazione come indicato in figura 8.

Comitati interfunzionali

Una terza soluzione per ottenere una progettazione integrata è la formazione di comitati o team interfunzionali; ciò significa formare un gruppo di lavoro composto da almeno un uomo della progettazione ed uno della produzione, con lo scopo di lavorare insieme durante l'intero processo di definizione del prodotto e delle modalità produttive (Putman, 1985).

A differenza delle due precedenti soluzioni, viene consentita una progettazione simultanea con il coinvolgimento degli uomini della produzione prima del rilascio del progetto del prodotto.

In una azienda aerospaziale americana sono stati creati gruppi composti da rappresentanti oltre che della progettazione e della produzione, anche della qualità e del supporto logistico integrato al prodotto.

La caratteristica principale di questo approccio organizzativo deriva dallo svolgere in parallelo le attività di progettazione ed industrializzazione anziché in sequenza; questo consente di enfatizzare maggiormente gli aspetti di collaborazione, eliminando la necessità di controllo tipica di fasi eseguite in sequenza. La frequente interazione tra le persone del comitato favorisce la reciproca crescita professionale. I membri del gruppo continuano a riferire gerarchicamente ai responsabili delle proprie funzioni, il che li aiuta a mantenere le rispettive missioni; l'esistenza fisiologica di tensioni, dovuta al duplice riferimento gerarchico, è spesso stimolo per lo sviluppo della creatività (Galbraith, 1977).

La forza del gruppo, rispetto alla figura dell'integratore, è anche quella di svincolare l'azienda dalla dipendenza della professionalità di un'unica persona.

Il comitato interfunzionale rappresenta una soluzione costosa perché richiede l'assegnazione di persone al processo di sviluppo non solo nei momenti nei quali è richiesta la loro professionalità, bensì in maniera continuativa. Un rischio connesso con questa soluzione è quello di sostenere costi per la soluzione di problemi produttivi di prodotti che mutano sensibilmente le loro caratteristiche durante il processo di progettazione.

Funzione di progettazione integrata prodotto-processo

Il quarto ed ultimo approccio proposto, cioè la funzione di progettazione integrata prodotto-processo, comporta i maggiori cambiamenti strutturali.

Sono possibili le seguenti articolazioni:
- due unità distinte, caratterizzate da un maggiore o minore grado di interdipendenza, coordinate da un unico responsabile di funzione;
- una funzione composta da tecnici responsabili individualmente sia degli aspetti di progettazione che di produzione.

Questa seconda soluzione è raramente applicata perché poche persone hanno le competenze necessarie in entrambe le aree.

L'approccio che prevede la creazione di una funzione integrata prodotto-processo permette di ottenere tutti i vantaggi della soluzione organizzativa precedente (comitati interfunzionali): mutuo e continuo sviluppo professionale, sostituzione del controllo con la collaborazione, rimozione della dipendenza da singole professionalità. Inoltre promuove una più profonda integrazione tra le due diverse culture, dal momento che i sentieri di carriera all'interno di questa struttura richiedono professionalità miste.

La creazione di un'unica funzione incontra normalmente grande resistenza perché richiede un cambiamento significativo delle professionalità ed una ridefinizione dei ruoli nel nuovo contesto organizzativo.

Il maggior pericolo di una struttura unica consiste nella possibilità che i tecnici arrivino a compromessi sui temi di progettazione e produzione senza perseguire l'eccellenza dal proprio punto di vista professionale. I quattro approcci descritti determinano impatti organizzativi crescenti nell'ordine. L'impatto è misurato in termini di profondità del cambiamento e grado di sviluppo di nuove professionalità e capacità relazionali. Gli approcci presentati non sono mutuamente escludentesi e costituiscono dei punti di riferimento per decidere le azioni organizzative da calarsi nella specifica realtà aziendale.

Conclusioni

In questa prima parte del nostro lavoro abbiamo tentato di dimostrare la necessità di una progettazione integrata prodotto-processo.

Abbiamo indicato quale principale obiettivo dell'approccio integrato l'ottenimento della flessibilità in condizioni operative di stabilità.

Le variabili determinanti per ottenere flessibilità e stabilità sono state individuate nella ripetitività di prodotto e di processo.

In particolare la ripetitività di processo e la ripetitività di prodotto sono le due variabili che concorrono a determinare i campi applicativi delle diverse tipologie di automazione.

Abbiamo infine descritto come una progettazione integrata richieda nuovi assetti organizzativi e nuove modalità di coordinamento. Sono state proposte al riguardo quattro soluzioni organizzative volte ad attuare una progettazione integrata prodotto-processo.

Nella seconda parte di questo lavoro verranno descritte le leve su cui è possibile intervenire per aumentare la ripetitività di prodotto e di processo e verrà proposto uno schema interpretativo articolato su 3 livelli, che da un lato costituisce una chiave di lettura degli interventi di progettazione integrata prodotto-processo e dall'altro dà una prima indicazione metodologica di come articolare logicamente tali interventi.

Bibliografia

- Barad M., D. Sipper, *Flexibility in manufacturing systems: definitions and Petri net modelling*, in "International Journal of Production Research", Vol. 26, N. 2, 1988
- Bartezzaghi E., F. Turco, *Just-in-Time e Sistema Produttivo*, in "Logistica d'Impresa", N° 64, Aprile 1988.
- U. Bertelè, G. Azzone, *Synergetic effects and double counting risks in evaluating strategic investments in manufacturing flexibility*, Eighth Annual International Conference of the Strategic Management Society, Amsterdam, Oct. 17-20, 1988
- Bianchi F., *Esempi pratici di Life-Cycle-Cost*, in "Logistica d'Impresa", N°42, Febbraio 1986.
- Blanchard B.S., *Design and Manage to Life Cycle Cost*, M/A Press, Portland, 1978.
- Boothroyd G., P. Dewhurst, *Want a secret for making superproduct?*, in "Business Week", October 1989
- Browne J., D. Dobois, K. Rathmill, S.P. Sethi, K. E. Stecke, *Classification of flexible manufacturing systems*, in "The FMS Magazine", April 1984
- Browne J., J. Harhen, J. Shivnan, *Production Management Systems*, A CIM Perspective, Addison Wesley Publishing Company, 1988
- Burbidge J.L., *The Introduction of Group Technology*, Heinemann, 1975.
- Buzacott J.A., *The fundamental principles of flexibility in manufacturing systems*, Proceedings 1st International Conference on FMS, Brighton, 1982
- Choffray J.M., Dorey F., *Sviluppo e Gestione dei Nuovi Prodotti*, Mc Graw Hill, 1988.
- Colombo M.G., S. Mariotti, *Note economiche sull'automazione flessibile*, in "Economia e politica industriale", N. 48, 1985
- Da Villa F., A. De Toni, *Flessibilità Logistica e Progettazione dei Prodotti Manifatturieri*, in "Logistica d'Impresa", N° 67, Settembre 1988.
- Dean J.W., G.I. Susman, *Organizing for Manufacturable Design*, in "Harvard Business Review", Jan.-Feb. 1989.
- De Toni A., M. Caputo, A. *Vinelli, Alcune tecniche per realizzare il Just-in-time*, in "Logistica d'Impresa", N° 54, Aprile 1987.
- Galbraith J.R., *Organization Design*, Addison Wesley Publishing Company, 1977.
- Galbraith J.R., *Designing The Innovating Organization*, in "Organizational Dynamics", 1982.
- Gerwin D., *Do's and don'ts of computerized manufacturing*, in "Harward Business Review", March-April,1982
- Hartley J., FMS at work, *IFS Ltd and North-Holland*, 1984.
- Mandelbaum M., *Flexibility in Decision Making: an Exploration and Unification*, Ph. D. Thesis, Department of Industrial Engineering, University of Toronto, 1978.
- Pagliarani G., *Il Sistema Operativo nelle Aziende Industriali*, Cedam, 1983.
- Putman A.O., *Al reparto progettazione ora si lavora in squadra*, in "Harvard Espansione", N° 28, Settembre 1985.
- Ranky P.G., *The Design and Operation of F.M.S.*, IFS Publications, 1983.
- Shonberger R.J., *Frugal Manufacturing*, in "Harvard Business Review", September-October 1987.
- Skinner W., *Manufacturing: The Formidable Competitive Weapon*, John Wiley & Sons, 1985.
- Slack N., *Flexibility as a manufacturing objective*, in "International Journal of Operations and Production Management" Vol. 3, N. 3, 1983.
- Whitney D.E., J.L. Nevins, T.L. De Fazio, R.E. Gustavson, R.W. Metzinger, J.M. Rourke, D.S. Seltzer, *The Strategic Approach to Product Design, in Design of Integrated Manufacturing System*, W.D. Compton Ed., National Academy of Engineering, National Academy Press, Washington, 1987.
- Whitney D.E., *Quando il successo arriva dalla progettazione*, in "Harvard Espansione", N° 43, Giugno 1989.
- Zelenovic M., *Flexibility a condition for effective production systems*, in "International Journal of Production Research", Vol. 20, N. 3, 1982