



UNIVERSITA' DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA

IMPIANTI INDUSTRIALI MECCANICI. LO STUDIO DI FATTIBILITÀ

Vol. 1

1. IL CONTESTO PRODUTTIVO
2. LO STUDIO DI FATTIBILITÀ

Lorenzo Rosa

Anno Accademico 2005-2006

1. IL CONTESTO PRODUTTIVO.

Al fine di sviluppare la propria esistenza e funzionalità, l'uomo necessita di beni materiali e di valori culturali. Le origini di questi beni sono in vari materiali naturali opportunamente trasformati dal lavoro umano. La natura mette a disposizione dell'uomo solo una piccolissima parte di beni che possono essere impiegati direttamente, perciò l'uomo deve quasi sempre spendere del lavoro per garantire quella trasformazione qualitativa che adatti anche gli oggetti naturali alle proprie necessità.

Le trasformazioni qualitative costituiscono il **Processo Produttivo** e nello sviluppo del processo produttivo, l'uomo individua due obiettivi:

- ottenere il prodotto che soddisfi le sue aspettative,
- spendere il minor lavoro possibile nella sua produzione.

Perciò, ogni prodotto può soddisfare le necessità dell'uomo solamente se la sua **Qualità** è rispondente all'impiego. Senza questa qualità, il prodotto diventa inutile e sia il lavoro speso per la produzione, sia l'oggetto stesso saranno stati sprecati.

La **Quantità di Lavoro** speso è misurata dalla sua intensità e dalla sua durata. Il lavoro eseguito ad un ritmo eccessivo lede la resistenza dell'operatore: quindi, è ovvio che il ritmo sia controllato. La durata del lavoro ad un ritmo naturale è misurata dal **tempo** impiegato per svolgere l'attività. Ogni riduzione di questo tempo comporta un aumento della produttività, la quale, quindi, permette che le necessità dell'uomo siano meglio soddisfatte. Dunque, un continuo aumento della produttività del lavoro ad un ritmo normale è il metodo principale per soddisfare più pienamente le necessità dell'uomo e per elevare il suo standard di vita.

Sulla base di tali considerazioni è possibile trovare una strada per esprimere il concetto di Impianto Industriale quale sistema tecnico-economico. Infatti, è possibile descrivere le principali caratteristiche degli impianti industriali, riassumerne le classifiche, accennare alle fasi della loro vita e di esaminarne i problemi fondamentali comuni, mettendo in evidenza segnatamente l'aspetto economico, tutto ciò con l'obiettivo di offrire una visione della vasta materia che potrebbe essere illustrata qui, nel contesto universitario, allo scopo di:¹

- offrire il panorama della vasta materia che sarà illustrata in seguito,
- suscitare un'analisi più ampia, che contribuisca alla precisa formulazione del concetto di Scienza degli Impianti che, come è noto, è ancora allo stato giovanile.

Infatti, tutti sono d'accordo se si afferma che un'acciaieria ed una cartiera sono due impianti industriali. Analogamente, ma in un senso più specifico, si parla di Impianti Elettrici e di Impianti Idraulici, ecc. Orbene, si tratta di trovare cos'hanno in comune queste entità, per giustificarne la comune classificazione tra gli Impianti Industriali. Spesso si dice: progettare un'acciaieria è compito dei siderurgici, oppure: fare una cartiera è compito degli esperti della fabbricazione della carta, ecc. Perciò, pur presentando questi stabilimenti una base comune, i problemi coinvolti nella loro progettazione e costruzione sono molto diversi e richiedono una preparazione ed esperienze diverse per essere affrontati razionalmente.

Quindi, per parlare di **Scienza degli Impianti** è necessario che sia possibile studiare i vari impianti con tecniche e metodologie comuni, quelle che si cercherà di inquadrare

¹ G. Danese, R. Raimondi, Cosa sono gli Impianti, Editoriale del primo numero di Impiantistica Italiana.

nel presente Corso. Come preannunciato sopra, l'Impianto Industriale è dunque il complesso ordinato di mezzi avente il fine di sfruttare risorse di materie ed energie e di trasformarle con processi fisici e chimici a vantaggio dell'uomo. Quali mezzi, si intendono quelli materiali (macchinari ed utensili, attrezzature varie, fabbricati per detti, strumenti di misura e di controllo, ecc.) e quelli immateriali costituiti dal necessario apporto dell'intelligenza umana.

Da questa definizione, appare evidente che le *industrie produttive* (acciaierie, fabbriche di auto, molini da grano, cotonifici, ecc.) costituiscono gli impianti industriali. Tuttavia ed in senso lato, si possono far rientrare nella definizione anche le *industrie di servizio*, come ad esempio gli impianti frigoriferi per la conservazione delle derrate alimentari, i silos di grano, gli impianti di distribuzione di energia elettrica, ecc. Potremo anche considerare tra gli impianti industriali gli *impianti di servizio di stabilimento* (dell'energia elettrica, dell'acqua industriale e potabile, dell'aria compressa, ecc.), i quali, pur non essendo produttivi, sono essenziali ai fini della produzione. Generalmente, un grande stabilimento comprende vari reparti produttivi e vari servizi di stabilimento, sicché esso può essere considerato come un **complesso** di impianti industriali, un sistema di sistemi.

Durante la sua vita, un impianto di qualsiasi tipo passa attraverso fasi storiche che sono intese nel senso più ampio e sono la progettazione, la realizzazione e l'esercizio. Queste fasi si sviluppano in modo diverso nel tempo a seconda del tipo di impianto e della sua grandezza, del fatto che si tratti di progettare ex-novo un intero stabilimento oppure, come è molto più frequente, di progettare nuovi reparti produttivi o di studiarne modifiche, derivanti da varianti del disegno dei prodotti o da miglioramenti del loro ciclo di lavorazione, da variazioni del volume di produzione richiesto, ecc. È da intendersi che ciascuna di queste fasi comporta la soluzione di vari problemi fra i quali, trattandosi di impianti produttivi, sono predominanti quelli relativi:

1. alla **tecnologia** dei processi,
2. ai **servizi** richiesti per lo svolgimento dei processi stessi
3. all'**economia**.

Mentre la tecnologia dei processi si differenzia anche grandemente per i vari impianti produttivi, i servizi richiesti dai processi medesimi possono anche presentare caratteristiche comuni. Ma è al problema dell'economia che è riservato il principale ruolo di comune denominatore per tutti gli impianti industriali ed in tutte le fasi della loro vita. In accordo con la definizione di impianto industriale, questo è concepito a vantaggio dell'uomo e se ne ricerca la massima economicità per tutta la vita attiva prevista. In altre parole, se è concesso parlare di un'anima di un impianto industriale, si può dire che ad esso deve essere attribuita un'anima essenzialmente economica, fin dalla sua ideazione.

In realtà, il fine economico espresso è solo una prima valida approssimazione del fine ultimo degli impianti che, come detto, è il bene dell'uomo. Se fosse possibile pensare di realizzarlo praticamente in modo facile, sarebbe opportuno che il principio informatore degli impianti fosse *il bene umano per tutti i secoli a venire*.

Evidentemente, questo principio non è di pratica applicazione. Tuttavia si può osservare che gli apparenti contrasti, ad esempio sociali, che derivano dalla definizione dell'anima degli impianti, rispetto a quella di bene umano, possono essere superati quantificando i vantaggi derivanti da una giusta valutazione della condizione umana del personale. D'altra parte, proseguendo su questa strada ci si accorge che qualunque decisione di impianto - ottima per l'animo economico degli impianti, anche nel senso più esteso del termine - è in realtà parziale (sub-ottima), perché considera come isolato il sistema impianto, che, invece, è parte di un sistema più vasto.

Dunque, a stretto rigore di logica qualunque decisione di impianto, per essere veramente ottimale, dovrebbe essere cercata nell'ambito dell'intero sistema economico sociale nel quale l'impianto deve vivere, cioè l'ambiente vitale costituito dalla regione, lo stato, ecc. Data la complessità del problema, si comprende che la pratica più normale si accontenti oggi di soluzioni sub-ottimizzanti, considerando erroneamente le influenze dell'ambiente vitale come accessorie, anche se esse non lo sono affatto.

In ogni caso, la naturale tendenza dell'uomo a risolvere razionalmente i suoi problemi, spinge sempre più verso la ricerca di soluzioni ottimizzanti complete. Per questo si tende oggi ad inquadrare lo studio dei problemi sociali complessi nell'ambito di piani di sviluppo, che cercano di formulare previsioni sul futuro di tutta la società interessata.

1.1. IL SISTEMA PRODUTTIVO.

Se dovessimo assegnare un aggettivo ai sistemi produttivi relativi alle applicazioni meccaniche, certamente esso dovrebbe dar conto della **complessità** che li contraddistingue.

In effetti, il termine *complesso* descrive come l'ambiente in cui viviamo, una volta considerato animato da individui e singoli oggetti, ora è studiato come popolato di **sistemi**: di comunicazione, di trasporto, economici, produttivi, urbani, politici, ecc. La complessità è penetrata così profondamente nel particolare, che ognuno di noi può coglierne gli indizi nelle cose più elementari, fin nei prodotti che acquistiamo, prodotti sempre più differenziati per prestazioni, estetica, funzionalità e personalizzazione.²

Naturalmente, per far fronte alla complessità dell'ambiente ed alla complessità delle sue esigenze, anche il sistema produttivo diventa un ambiente *complesso*, nel quale si possono individuare gli strumenti necessari alla sua gestione, conduzione e correlazione con l'esterno, cioè con i fornitori ed il mercato. Tali strumenti sono ancora sistemi e la loro elencazione generale è la seguente³:

1. Sistema Processo di Rifondazione,
2. Sistema di Conduzione,
3. Sistema di Proposta al Mercato,
4. Sistema di Comunicazione,
5. Sistema di Controllo della Qualità,
6. Sistema di Prevenzione e Sicurezza,
7. Sistema di Garanzia della Privacy,
8. Sistema di Controllo di Gestione.

1.1.1. Il Prodotto

Consideriamo un prodotto come l'autovettura **Punto** della FIAT, inserita in un'ampia fascia di mercato, quella delle piccole vetture del settore automobilistico, con una buona differenziazione ed un discreto contenuto tecnologico, anche se non eccessivamente spinto. La **Punto** si presenta in 12 versioni, con 7 motori, 3 allestimenti, e prevede 18 optional possibili, 17 colori abbinati a 5 tipi di rivestimenti interni. Considerando i vincoli di abbinamento imposti tra versioni, motori, optional, colori e rivestimenti, si ottengono teoricamente oltre 10.000 vetture personalizzate. Le funzioni offerte dalla **Punto**, oltre alle prestazioni tipiche di veicolo di trasporto, comprendono tra le altre: condizionatore d'aria, tettuccio apribile elettricamente, ABS, airbag multipli, sedile regolabile in altezza e riscaldato, check-control, lunotto termico, strumentazione digitale, alzacristalli elettrici, impianto di climatizzazione, chiusura centralizzata delle porte, tergifari, ecc.

Principalmente l'*elettronica* e l'elettromeccanica hanno permesso di **complicare** il prodotto, sia in termini di funzioni extra offerte al cliente, sia in termini di aumento del numero delle parti, che è direttamente correlato all'introduzione dei nuovi dispositivi. Il ragionamento fatto per la Punto può essere esteso ad una quantità enorme di prodotti, soprattutto quelli di grande diffusione. Che cosa si intende per complessità del prodotto? La sensazione che deriva da un'osservazione esteriore dell'oggetto, oppure la definizione generata da un più profondo esame della natura ed origine del prodotto?

² R. Castagna, A. Roversi, *Sistemi Produttivi*, Isedi - Politecnico di Milano, 1995.

³ A. Corsini, L. Rosa, *Un gioco che vale una vita, creare e condurre l'impresa a mò di dio*, 2006

Se definiamo la complessità relativamente alla *produzione*, considerando le problematiche connesse alla costruzione e realizzazione del prodotto ed alla gestione dell'iter produttivo, il livello di complessità è il numero di funzioni offerte dal prodotto, che ne complicano la struttura, aumentandone il numero di elementi e sottosistemi e di interazioni tra le varie parti. A questo si aggiunge la varietà di materiali utilizzati che richiedono approvvigionamenti differenziati, attrezzature e lavorazioni specifiche.

Complessità è anche gestire una *gamma* ampia e diversificata come quella delle oltre 10.000 personalizzazioni della **Punto**, dove, pur essendo predeterminate le combinazioni produttive, rimane elevata la variabilità dei volumi e del mix.

Complesso è anche un prodotto che ha una *vita* breve nel mercato, subisce modifiche progettuali frequenti per il rinnovo della gamma o viene ritirato dopo una breve vita per seguire le esigenze della domanda. Poi, come hanno reagito le unità produttive per rendersi capaci di seguire i ritmi produttivi e le variabilità dell'offerta?

Se riuscissimo a confrontare i prodotti di 40 anni fa con quelli di oggi sulla base di un pari numero di funzioni, noteremmo come la standardizzazione abbia semplificato notevolmente il prodotto riducendo il numero di componenti diversi: da un lato assistiamo ad una sempre maggiore unificazione dei componenti che **non** contribuiscono alla differenziazione del prodotto, e, dall'altro, ad una significativa differenziazione delle componenti in vista, però attraverso la standardizzazione ed unificazione delle interfacce per permetterne l'accoppiamento ed il montaggio anche su modelli diversi. Così, il mercato ha imposto un aumento della gamma e delle funzioni accessorie, che ha portato ad un'esplosione del numero dei componenti, grazie all'introduzione di parti opzionali: questo ha annullato in parte i benefici della standardizzazione. Dunque, si assiste ad una semplificazione del prodotto di base e ad un aumento di complessità di termini di funzioni. Due possono essere le alternative per affrontare il problema:

- gestire all'interno dell'azienda le problematiche connesse alla nuova complessità del prodotto (**make**), acquisendo nuove tecnologie, nuovi impianti, nuovo know-how, ecc,
- demandare l'onere all'esterno (**buy**), facendosi carico di problematiche diverse, individuabili nei rapporti con un maggior numero di fornitori, nella sincronizzazione della produzione con gli approvvigionamenti, nella dipendenza dalla variabilità dell'offerta, ecc.

In entrambi i casi, il dato oggettivamente riscontrabile dell'aumento della complessità deve essere *gestito* in modo che le conseguenze non investano solamente la funzione produttiva, ma si estendano all'intera struttura dell'impresa.

1.1.2. Il Mercato

L'AT&T impiegava due anni per progettare un nuovo telefono: adesso ne impiega solamente mezzo; alla Honda il tempo di sviluppo di un nuovo modello di automobile è passato da 5 a 3 anni. Per un suo nuovo autocarro, la Navistar impiega 2 anni di progettazione al posto dei 5 di un tempo, e la Hewlett&Packard 12 mesi invece di 4 anni e mezzo, per una stampante.

- 1) Si parla di un **tempo di sviluppo** (*Lead Time* di introduzione nel Mercato) largamente ridotto. Per comprendere la portata di questi risultati, possiamo guardare le conseguenze che questo ha portato sul mercato: la riduzione dei tempi di reazione all'innovazione da parte dei concorrenti consente il proliferare di prodotti simili, tutti lanciati quasi simul-

taneamente. L'*innovazione* è un importante fattore competitivo, e gli intervalli temporali sono ristretti, poiché la novità è immediatamente imitata dalla concorrenza, che aggiunge al modello originale caratteristiche nuove, differenziando il proprio prodotto e parcellizzando il mercato. Non è una strategia nuova, ma la corsa alla riduzione dei tempi di sviluppo da parte dei produttori di tutto il mondo ha reso possibile la sua attuazione con effetti molto più rilevanti che nel passato, rendendo la velocità nel lanciare un prodotto innovativo e nel rispondere all'innovazione da parte dei concorrenti la nuova chiave competitiva.

Il motivo per il quale la velocità di sviluppo ha assunto un posto primario tra gli obiettivi strategici dei produttori è strettamente legato al ruolo dell'impresa nel mercato concorrenziale: l'innovatore, abbassando i tempi di sviluppo, ha il duplice vantaggio di ottenere una riduzione dei costi di immobilizzo e di lavorare allo sviluppo di un prodotto il cui lancio sarà più vicino nel tempo, quindi con minore indeterminazione della domanda del mercato e con più rapido feedback, determinato dall'esito del lancio. Invece, l'inseguitore, incrementando la sua rapidità di risposta, aumenta la sua capacità di adeguarsi alle azioni dell'innovatore.

Come vedremo in §2.6, non è che tutto questo porti sempre ad un miglioramento della situazione del mercato. Basta osservare il settore del Software, dove la frenetica corsa all'innovazione porta all'incertezza del compratore nella decisione di aderire ad ogni aggiornamento proposto. Il potenziale acquirente trova sempre più giustificata la sensazione di subire gli effetti di una instabilità di fondo del proprio sistema aggiornato. In effetti, ogni innovazione aggiunge problemi alla portabilità dei programmi utilizzati precedentemente, obbliga alla perdita del lavoro di personalizzazione fatto e l'introduzione di linguaggi ed algoritmi nuovi spinge colpevolmente all'adattamento delle procedure al programma, piuttosto che al miglioramento del modello matematico per adeguarlo alla situazione oggettiva dell'applicazione.

- 2) Ma il successo sul mercato non si gioca più solamente sul prodotto, inteso come risultato del sistema produttivo rispondente alle specifiche: si è sviluppato nel cliente il concetto di prodotto totale, in cui il prodotto tal quale è solo una parte, anche se la fondamentale, e denominata prodotto generico. Il prodotto totale si estende oltre il prodotto generico, includendo il prodotto atteso, che esprime le aspettative del cliente, a prescindere dal prodotto generico tal quale: termini di consegna, termini di pagamento, assistenza tecnica, ma anche rispondenza del prodotto alle esigenze del cliente, nel duplice aspetto di non essere inferiore alle aspettative, ma nemmeno superarle in prestazioni ritenute eccessive.

La differenziazione non consiste unicamente nel fornire al cliente ciò che si aspetta di ricevere, ma può comprendere l'offerta di vantaggi che non rientrano nelle sue attese, o che non è abituato a ricevere: è il concetto di prodotto integrato. Gli esempi possono essere numerosi: dalle offerte di garanzia, di prestiti a tasso agevolato per l'acquisto del bene, ecc.

Il prodotto potenziale include tutto ciò che è fattibile per attirare e conservare la clientela, ma, a differenza del prodotto integrato, non si riferisce a quanto è già stato realizzato in azienda, ma a ciò che in essa è ancora possibile fare.

Se un tempo era possibile individuare una relazione diretta che facesse corrispondere il prezzo alla qualità del prodotto, il mercato attuale ha imposto l'imperativo del perseguimento della qualità indipendentemente dalle condizioni di prezzo, perché è mutato il significato stesso della parola *qualità*, che comprende le definizioni passate, ma ne amplia i termini. Infatti, elevata qualità significa soddisfare il cliente, non solo proteggerlo dagli inconvenienti. È possibile individuare sette dimensioni critiche della qualità:

1. prestazioni, cioè gli attributi misurabili del prodotto,

2. caratteristiche, cioè le prerogative che superano le funzioni base, richieste al prodotto dal cliente e garantite dal produttore,
3. conformità, cioè il grado di rispondenza agli standard progettuali,
4. durata, cioè il tempo che trascorre prima che intervenga la perdita di qualità del prodotto,
5. livello di servizio, cioè la velocità di consegna, la competenza, la cortesia, il costo e la facilità di riparazione,
6. estetica, cioè come il prodotto risponde ai gusti del cliente nella forma, il colore, il suono, l'odore, ecc.
7. qualità percepita, cioè quanto delle precedenti 6 dimensioni della qualità viene effettivamente percepita dal cliente⁴.

Per avere un dato tangibile di come questi obiettivi vengono perseguiti dai grandi produttori, tra gli altri si può considerare la riduzione del *lead-time* di consegna (il tempo che intercorre tra il ricevimento dell'ordine e la consegna del bene): la General-Electric ha ridotto il tempo di fornitura dei suoi interruttori automatici da 3 settimane a 3 giorni, ecc.

- 3) Il terzo elemento caratterizzante il mercato degli anni di fine '900 riguarda la composizione sociale del mercato, che è caratterizzata dalla segmentazione sempre più diffusa, frutto dei cambiamenti sociali degli ultimi decenni. Fabris e Mortara⁵ descrivono il cambiamento sociale in Italia ed il processo di differenziazione che ne deriva, individuando 8 tipi nei quali la società italiana va frammentandosi: *Arcaici, Conservatori, Integrati, Puritani, Cipputi, Affluenti, Emergenti* e *Progressisti*. Ognuno di questi tipi mostra diversi comportamenti e propensioni in merito allo stile di vita, la famiglia, l'abitazione, i consumi, l'alimentazione, l'abbigliamento, ecc. Se questo è l'ambiente sociale nel quale viviamo, così vario e frammentato, possiamo comprendere cosa significhi parlare di prodotto personalizzato e quale impatto possa avere sulla realtà aziendale: da un lato il prodotto deve essere sempre più mirato al segmento specifico, che non è più individuato dalle classi basate sul censo ed il livello culturale, ma assume un aspetto complesso ed articolato e, dall'altro, è vitale un'espansione della gamma per raggiungere più segmenti di mercato contemporaneamente, data la parcellizzazione dello stesso, che non consente più di acquisire quote elevate come in un mercato indifferenziato di massa.

La conseguenza è l'evoluzione del mercato verso una complessità sempre crescente, che costringe le imprese ad una maggiore competitività ed al mutamento delle loro modalità di intervento.

1.1.3. I Parametri Strategici della Produzione

La struttura di un sistema produttivo è condizionata da 3 variabili fondamentali:

1. l'interazione a monte, con i fornitori,
2. l'interazione a valle, con i clienti,
3. le caratteristiche del prodotto.

Le prime due generano un mutamento della struttura interna per un migliore interscambio con l'ambiente vitale. La terza rappresenta la specificità dell'oggetto di produ-

4 A. Garvin, *Competing on the Eight Dimensions of Quality*, Harvard Business Review, 6, 1987

5 Fabris, V. Mortara, *Le otto Italie*, Mondadori, 1986

zione, attorno al quale viene costruito il processo produttivo al fine del conseguimento della conformità del prodotto alle specifiche di progetto.

I mutamenti registrati sono individuabili nell'incremento della complessità del mercato a valle (parcellizzazione della clientela) e di quella della gestione dei rapporti coi fornitori, ed infine l'accresciuta complessità intrinseca del prodotto. Tali mutamenti non possono non influire sulle attività dirette della produzione e sulle leve produttive che generano il vantaggio competitivo. Tali leve, individuate da Hayes e Wheelwright nel 1979⁶ col nome di *parametri strategici della produzione*, all'epoca erano 8 fattori chiave interni sui quali l'impresa poteva operare per costruire un'azione che generasse all'esterno un vantaggio competitivo nei confronti dei concorrenti:

1. capacità produttiva,
2. servizi,
3. tecnologia,
4. integrazione verticale,
5. forza lavoro,
6. qualità,
7. pianificazione della produzione, controllo dei mercati,
8. organizzazione.

Tuttavia, nel mutamento continuo dello scenario, questi parametri, pur importanti, non sono più sufficienti per un'efficace strategia della produzione. Infatti, si possono individuare 3 limiti fondamentali, che ne rendono superato l'impiego:

1. l'accorciamento del ciclo di vita del prodotto non permette che i suoi parametri rimangano costanti per più anni, come avveniva nel passato,
2. l'ipotesi di ambiente produttivo e commerciale statico, con un lento ritmo di progresso tecnologico e con mercati regionali o nazionali non è più valida,
3. i parametri non si rivelano adatti ad una misura quantitativa del miglioramento delle prestazioni, favorendo il mantenimento dello status quo.

Quindi, l'analisi dei mutamenti ha suggerito a Gunn⁷ l'introduzione di 8 nuovi parametri, maggiormente adatti alle nuove condizioni ed alle esigenze strategiche:

1. il tempo di introduzione di nuovi prodotti,
2. il lead-time di produzione,
3. la qualità, come conformità,
4. la flessibilità,
5. il livello dei servizi al cliente,
6. la rotazione delle scorte,
7. la riduzione degli sprechi,
8. il ROI (Return-of-Investment), cioè l'indice che consente di misurare il profitto dell'investimento ed è espresso dal rapporto, calcolato in un tempo definito, tra i profitti operativi ed il capitale investito.

In definitiva, Gunn sostiene che un'azienda non può essere valutata dai servizi che fornisce, dalla tecnologia che usa, dalle dimensioni della forza lavoro o dal tipo di programmazione e controllo di produzione, ma solamente in termini di:

- a. soddisfazione del cliente, mediante le variabili 1÷5,
- b. di prestazioni finanziarie, mediante le variabili 6÷8.

6 H. Hayes, S.C. Wheelwright, *Link Manufacturing Process and Product Life Cycles*, Harvard Business Review, 1, 1979

7 T.G. Gunn, *Manufacturing for Competitive Advantage*, Ballinger Publishing Co, 1987

La prima caratteristica dei nuovi parametri è che essi sono focalizzati su questi due aspetti. Fattori quali il lead-time di produzione, la qualità, il livello di servizio al cliente, la flessibilità, ecc. sono mirati alla soddisfazione del cliente, mentre il ritorno degli investimenti, la rotazione delle scorte, gli sprechi ed il tempo di introduzione di nuovi prodotti si focalizzano sulle prestazioni finanziarie.

La loro seconda caratteristica è che essi sono indicatori quantitativi. Infatti, il livello di servizio al cliente può essere misurato più di quanto non possa esserlo il numero o la varietà dei servizi offerti; la flessibilità in mix di prodotti e volume è maggiormente quantificabile di quanto non lo sia la tecnologia o l'organizzazione, pur dipendendo da esse, e la flessibilità in mix ha un considerevole riflesso sulle modalità di attuazione della strategia produttiva. L'utilizzo di indicatori quantitativi induce la strategia della produzione a procedere per piccoli incrementi delle prestazioni, i quali, sommati nel lungo periodo, danno risultati considerevoli (in confronto alla strategia per obiettivi fissati, i quali la maggior parte delle volte risultano disattesi).

Il monitoraggio continuo ed i piccoli incrementi delle prestazioni favoriscono la tensione dell'intera impresa a progredire in modo costante, evitandole di permanere pericolosamente nello statu quo.

1.1.4. L'Evoluzione delle Strategie Produttive.

La funzione primaria di una **strategia della produzione**, come suggerito da Hayes e Wheelwright⁵, è quella di guidare l'attività in modo tale da mettere insieme le capacità produttive che permetteranno di perseguire nel lungo termine la strategia concorrenziale scelta. Pertanto, l'esame delle priorità concorrenziali che stanno dandosi i produttori può fornire gli indizi adatti a capire il modello delle capacità produttive che si sta sviluppando.

tab. 1.I. Le priorità competitive in Europa, Stati Uniti e Giappone.

livello di priorità	EUROPA	STATI UNITI	GIAPPONE
1	Qualità	Qualità	Prezzi bassi
2	Prodotti di elevate prestazioni	Prodotti di elevate prestazioni	Rapida evoluzione progettuale
3	Puntualità di consegna	Puntualità di consegna	Qualità
4	Rapidità di consegna	Prezzi bassi	Puntualità di consegna
5	Prezzi bassi	Rapidità di consegna	Rapida variazione di volume
6	Rapida evoluzione progettuale	Rapida evoluzione progettuale	Prodotti di elevate prestazioni
7	Servizio al cliente	Servizio al cliente	Rapidità di consegna
8	Rapida variazione di volume	Rapida variazione di volume	Servizio al cliente

Con questa ipotesi, Ferdows, Miller, Nakane e Vollmann hanno analizzato le priorità competitive e le strategie di mercato delle maggiori industrie di Europa, Stati Uniti e Giappone negli anni dal 1983 al 1987.

Dall'indagine è emerso che la maggior parte delle industrie giapponesi hanno ritenuti prioritari e primari da perseguire l'abbattimento dei prezzi ed una rapida evoluzione progettuale, mentre l'Europa e gli Stati Uniti hanno considerato obiettivi primari un'elevata qualità del prodotto costante nel tempo e la puntualità nelle consegne (cfr. tab. 1.I).

Pertanto, esiste una corrispondenza tra i nuovi fattori strategici produttivi proposti da Gunn e la tendenza delle industrie ad intervenire sulle variabili quantificabili in termini di soddisfazione del cliente (puntualità delle consegne, qualità, evoluzione progettuale, prestazioni finanziarie, ecc.). I risultati relativi alle **strategie di mercato** perseguite nei tre raggruppamenti geografici vedono gli Stati Uniti e l'Europa considerare priorità primarie l'aumento della quota di mercato e l'introduzione di nuovi prodotti sui mercati esistenti, mentre il Giappone persegue l'obiettivo del lancio di nuovi prodotti sia sui mercati esistenti, sia su nuovi mercati (tab. 1.II).

Indubbiamente rilevante è l'importanza strategica data all'introduzione di nuovi prodotti sul mercato, in quanto ha confermata la tendenza verso l'abbattimento del tempo di progettazione del prodotto stesso. L'aumento della quota per gli Stati Uniti e l'Europa era in linea con la ricerca della qualità, mentre l'espansione del Giappone (ed ora di Cina ed India) verso nuovi mercati confermava l'evoluzione verso un ambiente sempre più complesso. I dati non possono che registrare un avvenuto cambiamento nella formulazione della missione produttiva, definita come **ciò che la strategia dell'impresa richiede alla funzione produttiva**.

L'evoluzione ha trasformato l'obiettivo produttivo, dal perseguimento della massima efficienza e dei minimi costi unitari di produzione, al raggiungimento di un insieme di risultati associati a flessibilità dei volumi, qualità e progettazione, rispetto delle specifiche progettuali, tempi di consegna ed efficienza. Un'importante conclusione è che i bassi costi diretti di produzione non sono l'unico fattore determinante del vantaggio competitivo e che paesi produttori a basso costo del lavoro non evolveranno esclusivamente per spiazzare i concorrenti con l'offerta di prodotti al prezzo meno elevato. Con la diminuzione dei cicli di vita dei prodotti, i produttori dovranno migliorare la loro competitività introducendo un maggior numero di cambiamenti nella moda, portando alla maturità il prodotto prima che i concorrenti escano sul mercato, e più rapidamente.

tab. 1.II. Le priorità delle strategie di mercato nei Paesi Industrializzati.

Strategie di mercato	STATI UNITI	GIAPPONE	EUROPA
quota/vecchi mercati	1	3	2
nuovi mercati/vecchi prodotti	3	4	3
nuovi prodotti/vecchi mercati	2	1	1
nuovi prodotti/nuovi mercati	4	2	4

1.1.5. I Passi verso l'Efficienza Operativa.

Nel 1985, Wheelwright ed Hayes⁸ hanno proposto il cammino verso l'efficienza operativa, indicando il passaggio attraverso 4 livelli, da quello di grande inefficienza a quello di massima efficienza, cammino percorribile con l'uso degli strumenti strategici discussi sopra. La descrizione delle quattro situazioni aiuta ad illustrare come la produzione può essere dinamicamente indirizzata per essere più competitiva nel tempo.

1.1.5.1. 1° livello.

La situazione di minore efficienza può essere descritta come quella nella quale si cerca di minimizzare ogni impatto negativo della produzione sulle vendite. Cioè, la dirigenza pretende che l'attività produttiva resti sotto controllo, rispettando le strategie definite e raggiungendo gli obiettivi di breve periodo.

A questo scopo, la produzione viene mantenuta flessibile e reattiva, sono presenti efficienti sistemi di controllo delle prestazioni, anche con l'aiuto di esperti esterni, chiamati ad indicare le decisioni strategiche da prendere. Gran parte dell'attenzione della dirigenza è focalizzata sulla scelta delle decisioni strutturali (macchine ed impianti) e sugli aspetti finanziari degli investimenti fatti. Pertanto, la dirigenza dedica meno attenzione alle decisioni di ordine infrastrutturale (qualità, personale, sistemi ed organizzazione) e tende a non essere coinvolta nella produzione.

A questo livello, l'obiettivo è la garanzia contro qualsiasi danno all'organizzazione possa derivare dalla concorrenza, non quello di far uso della produzione come arma competitiva. Ne risulta che i responsabili della produzione non partecipano alla strategia generale, sono chiamati solamente a garantire la continuità della produzione e sono loro che devono risolvere i problemi e prendere le decisioni del breve periodo.

Spesso a questo livello, la produzione non tenta nemmeno di sviluppare nuove tecnologie e gli impianti produttivi sono semplicemente acquistati all'esterno. Non si assumono rischi e sono utilizzate tecnologie sicure. La produzione è vista come l'insieme di una serie di decisioni prese una volta per tutte, e la dirigenza non ha nozione se l'apprendimento continuo può essere la base per l'allargamento della capacità produttiva.

1.1.5.2. 2° livello.

Il secondo livello organizzativo minimizza l'effetto sia dei fattori interni visti sopra, sia di quelli esterni rappresentati dal livello di competitività dei concorrenti. La produzione segue una pratica industriale conformista ed usa la tecnologia disponibile ed i parametri produttivi comuni a tutta l'industria di appartenenza.

La dirigenza opera sulla corretta allocazione delle risorse come base della gestione della produzione, tende ad effettuare gli investimenti solamente quando necessari ed è normalmente riluttante ad assumere una posizione preminente sul mercato. La tecnologia è acquistata all'esterno sia da laboratori esterni di Ricerca e Sviluppo (R&D), sia da produttori esterni.

L'organizzazione valuta la dinamica dell'industria nella quale è inserita e del mercato dove deve competere, ma, ancora, la produzione non è vista come arma competitiva. Invece, l'organizzazione segue la strategia dei nuovi prodotti o della pubblicità per guadagnare il vantaggio competitivo. Questo è il livello tipico dell'industria matura, soprat-

8 H. Hayes, S.C. Wheelwright, *Competing through Manufacturing*, Harvard Business Review, 1, 1985.

tutto dei beni di consumo, anche se una certa attenzione al miglioramento della produzione comincia a farsi vedere anche in questo comparto.

1.1.5.3. 3° livello.

Il terzo livello è quello dove la produzione diventa un valido supporto alla strategia di mercato. In questo caso, le decisioni riguardanti la produzione sono prese conformemente alla strategia generale e la produzione tende ad essere di valido supporto e spinta alla concorrenza. Per raggiungere il livello 3, l'alta dirigenza ha un ruolo attivo nel gestire la produzione, attraverso una precisa definizione della strategia produttiva. È chiaro che la produzione ha qui una missione chiara, obiettivi di lungo periodo ben formalizzati, politiche strategiche e competenza distintiva. Le decisioni sugli investimenti sono prese valutandone la consistenza e la coerenza con la strategia generale e quella produttiva.

Spesso l'organizzazione arriva a questo livello in conseguenza di un piano strategico che impegna la produzione ad assumere essa stessa un piano strategico con un orizzonte di lungo periodo, tale da garantire un continuo supporto alla strategia di mercato. Ne deriva che le organizzazioni a questo livello presentano il progresso tecnologico come naturale risposta ai cambiamenti di strategia di mercato e possono sviluppare tecnologie di processo proprie e diverse da quelle dei concorrenti.

1.1.5.4. 4° livello.

Il livello più alto dell'efficienza produttiva è basato sull'idea che la produzione deve essere un'arma competitiva dell'intera organizzazione. Questo non significa che la produzione deve necessariamente essere il ruolo più importante nell'organizzazione, ma che le altre funzioni devono formare, insieme ad essa, un sistema coordinato ed integrato. A questo livello, la produzione anticipa nuove strade e sviluppa modelli propri di gestione, anzi sviluppa tecnologie di processo innovative, che danno vantaggio competitivo. Queste attività possono essere la base stessa della strategia di mercato. Un esempio può essere ancora quello della Ford, con le sue innovative linee transfer di montaggio dei primi del 1900; un altro può essere l'introduzione di innovativi sistemi di controllo della qualità dell'industria giapponese: questa capacità distintiva ha rivoluzionato la pratica industriale ed ha fornito la base di un vantaggio competitivo enorme.

Le organizzazioni di 4° livello hanno la funzione organizzativa della dirigenza ben integrata: marketing, finanza, R&D, personale e produzione insieme concorrono a sviluppare la strategia generale. Come detto, non è solamente la produzione a sostenere la strategia di mercato, ma la produzione è parte che partecipa alla sua definizione e rende possibile l'adozione di nuove strategie. Così, la produzione è coinvolta nelle decisioni che riguardano il marketing, la finanza, la R&D, ecc.

Queste organizzazioni sono frequentemente proprietarie dei processi e della tecnologia impiegata, anzi sviluppano il sistema produttivo in modo da essere costantemente al massimo livello, con un'organizzazione dell'apprendimento, appunto al livello 4.

L'alta dirigenza è impegnata nelle decisioni sulla gestione finanziaria, ma anche nelle altre. Essa sente la necessità che nell'organizzazione sia sviluppata la capacità produttiva ottimale quale base della strategia di mercato, oltre a valutare le necessità e le opportunità del mercato. Il ruolo dell'alta dirigenza è quello di integrare le diverse funzioni in un team operativo senza difficoltà di dialogo.

Nel tempo, l'organizzazione può gestire il passaggio dai livelli inferiori a quello superiore. Il percorso è complicato dalla presenza del quadro organizzativo e gestionale presente ai livelli inferiori, il quale di fatto condiziona lo sviluppo. Tuttavia, l'organizzazione può mostrare alcuni aspetti positivi dei vari livelli, nel senso che essa può avere un'area di attività particolarmente avanzata ed un'altra area meno, ma è il modo di vedere la produzione che è dominante nella determinazione del livello raggiunto dall'organizzazione in un particolare momento.

1.1.6. Il Ruolo dell'Ingegnere Impiantista.

Un giurista genovese, esperto di diritto internazionale, affermava di essere un *impiantista del diritto*. Come gli ingegneri impiantisti, i quali esercitano una professionalità caratterizzata dalla capacità di applicare un metodo ad una pluralità di specializzazioni, egli applica la sua professionalità a qualunque aspetto che riguardi gli interessi delle imprese e delle famiglie⁹. L'ingegnere impiantista, da sempre alla ricerca di una sua identità (difficile da individuare, essendo la sua una professione a taglio orizzontale applicabile ad una tipologia di situazioni infinita), possiede la professionalità necessaria al raggiungimento di un obiettivo ben preciso: *realizzare un impianto od un'infrastruttura che forniscano, una volta in esercizio, prodotti o servizi*.

Gli impianti e le infrastrutture sono costituiti da:

- una componente **materiale**, che comprende i prodotti elementari (equipaggiamenti, componenti, materiali), aggregati attraverso attività di costruzione e montaggio,
- una componente **immateriale**, che presiede alla realizzazione del **prodotto impiantistico**, attraverso attività tecniche, gestionali e complementari. Queste ultime coprono aspetti importantissimi ai fini della realizzabilità del progetto, che vanno dallo sviluppo del mercato al suo raccordo con l'azienda industriale, dall'ingegneria finanziaria alla contrattualistica, dall'analisi del rischio all'ingegneria assicurativa, dall'analisi ambientale e territoriale alla formazione del consenso.

Poi, l'azienda impiantistica è un'azienda sistemica che realizza prodotti di **lunga durata**, che, ormai, non finiscono più come in passato nella fabbrica o nel cantiere, ma iniziano molto prima e finiscono molto dopo il fatto della costruzione dell'impianto. Ciò soprattutto a causa della complessità del sistema globale (economico, finanziario, politico, sociale, ambientale), in cui si inseriscono e che manifesta, come ampiamente illustrato in §1.1.2, turbolenze, evoluzioni, perturbazioni e volatilità con durata di ciclo molto inferiore a quella del prodotto impiantistico. Perciò, sistema aperto ed assetto organizzativo a rete, insieme ad una continua revisione delle metodologie e degli strumenti di lavoro ed all'innovazione dei prodotti e dei processi, caratterizzano l'azienda impiantistica in generale.

Ne deriva che la funzione dell'ingegnere impiantista è quella di creare nell'impianto lo strumento atto a realizzare una produzione specificata in termini di tipo, qualità, prezzo, tempestività di consegna del prodotto, e di realizzarlo idoneo a conseguire nel modo migliore possibile gli obiettivi, anche di natura economica, dell'organizzazione in cui l'impianto è inserito. In questa attività, l'impiantista è innanzitutto capace di applicare nel mondo reale i propri concetti scientifici e le metodologie quantitative maturate, realizzando iniziative concrete. L'impiantista è, dunque, quel professionista che coordina

⁹ G. Arcelli, *Aziende bonsai su mercato mondiale*, Impiantistica Italiana, 10, 1991.

in una sintesi organica le risorse tecniche, umane ed economiche necessarie alla realizzazione ed alla gestione di sistemi tecnici (impianti di produzione o di servizio o qualunque sottosistema di un impianto di produzione), da inserire in sistemi economici, produttivi e sociali di maggiore dimensione. Per svolgere questo compito, egli deve essere in grado di coprire un certo numero di competenze specialistiche, e, soprattutto, di comprendere il linguaggio ed essere sensibile ai problemi degli specialisti interessati alla realizzazione dell'impianto che si va delineando.

Dunque, per svolgere adeguatamente i compiti che rientrano nella propria area professionale, l'impiantista deve possedere un vasto bagaglio di conoscenze in molte discipline. Le conoscenze non devono necessariamente essere spinte fino a livello specialistico, ma dovrà essere assicurata una larga base culturale che consenta all'impiantista di attraversare, con ottica generalista, impostata più per problemi che per tecniche, le varie aree di competenza degli specialisti con cui egli dovrà dialogare e collaborare. Su tale base, che costituirà il patrimonio culturale fondamentale della figura dell'ingegnere impiantista, potranno innestarsi più settori la cui conoscenza sia approfondita a livello operativo o professionale. Il conoscere a fondo almeno un settore è indispensabile poiché permette all'impiantista di avere una misura dei problemi e delle difficoltà che ogni specialista affronta per svolgere il compito affidatogli in ogni dettaglio.

La definizione data di ingegnere impiantista implica un'estensione del suo campo di interesse e di competenza fino a comprendere, oltre la progettazione e la realizzazione degli impianti, anche la loro gestione e conduzione. Ciò è in gran parte conseguenza dell'accelerarsi dei fenomeni di obsolescenza (dell'abbreviarsi della vita utile degli impianti), sicché le prospettive di lungo termine, come la pianificazione e la progettazione, tendono ad avere minore importanza in confronto con quelle di breve termine come la gestione. Ne consegue che l'impianto deve essere progettato in vista di specifiche modalità di gestione, definite in anticipo rispetto alla fase di conduzione vera e propria, spesso contemporaneamente all'attività di progettazione, e con processi logici sostanzialmente analoghi a questa.¹⁰

Più in concreto, si può dire che è essenziale che egli tenga conto di tutte le implicazioni tecnico-economiche relative ai seguenti **problemi** ed argomenti:

- previsione ed analisi di mercato;
- ricerca e sviluppo, utilizzo dei brevetti ed acquisizione del know-how;
- caratteristiche tecnologiche dei principali settori industriali e descrizione dei processi di fabbricazione più importanti e dei relativi macchinari;
- installazione, costruzione e montaggio degli impianti e loro programmazione, tecniche di gestione dei contratti;
- servizi di impianto fondamentali e loro collegamenti con le tecnologie;
- aspetti ergonomici del rapporto uomo-macchina (intercambiabilità dei singoli posti di lavoro, sicurezza del personale, igiene del lavoro, costi della mano d'opera e suoi riflessi sul grado di meccanizzazione, ecc.);
- meccanizzazione ed automazione degli impianti produttivi, gestione a distanza degli apparati di comando e di controllo, sistemi informativi computerizzati;
- movimentazione dei materiali, immagazzinaggio e trasporti interni;
- valutazione della vita economica dell'impianto (obsolescenza);
- qualità della produzione e metodi per il suo controllo;
- manutenzione, sicurezza di esercizio, affidabilità;
- gestione delle scorte e programmazione della produzione.

¹⁰ Dornig et alii, *Figura e Formazione dell'Impiantista*, Impianti, F. Angeli, 1972

Perciò, l'impiantista deve possedere gli elementi per sapersi avvalere delle seguenti **metodologie**:

- criteri di valutazione della qualità;
- metodi di scelta della metodologia produttiva;
- criteri di analisi del valore;
- metodi di valutazione di alternative e di redditività di investimenti in condizioni di certezza e di incertezza;
- metodi simulativi;
- metodi di programmazione matematica;
- metodi di rilevazione e controllo dei costi;
- metodi di analisi economica.

Messa in luce la figura dell'impiantista come professionista con competenze multidisciplinari e plurifunzionali (progettazione, gestione e conduzione dell'impianto), interessa ora chiarire la funzione specifica della materia di cui ci occupiamo, all'interno di questo quadro di riferimento generale. Si parlerà qui più specificatamente degli aspetti progettuali della formazione dell'impiantista. Si cercherà, pertanto, di fissare un quadro di riferimento per prefigurare ed interpretare la realtà dei sistemi produttivi nei quali molti ingegneri andranno ad operare, o con i quali essi avranno comunque a che fare qualora intraprendessero un'attività di engineering. Gli elementi fondamentali del lavoro di progettazione sono tre: l'**esperienza**, gli **strumenti** ed il **metodo**. La prima è rappresentata dall'accumulo di una serie di nozioni, che si acquisiscono nella pratica quotidiana. I secondi sono i concetti, le idee e le nozioni che formano il bagaglio culturale di ogni ingegnere, e che sono costituite dalla conoscenza delle discipline fondamentali della Fisica Tecnica, l'Idraulica, la Scienza delle Costruzioni, le Macchine, la Chimica Applicata, l'Elettrotecnica, l'Economia Industriale, la Tecnologia Meccanica ecc. Il metodo è quanto più precisamente questo corso cerca di fornire, ed al quale si cerca di esercitare l'allievo ingegnere.

Tuttavia, qui occorre subito dire cosa si intende per progettazione dal nostro punto di vista: la progettazione di sistemi produttivi complessi non è dimensionamento o disegno delle macchine ed attrezzature, né dei loro componenti ed organi. La conoscenza del funzionamento delle macchine è considerata utile per una più approfondita comprensione del fenomeno da controllare; ma, agli effetti della progettazione degli impianti, la macchina, ed in genere ogni componente di impianto, interessa per la sua caratteristica esterna, cioè per le grandezze di ingresso e di uscita, e per le loro relazioni, più che per il modo in cui tali grandezze vengono elaborate (se di ingresso) o prodotte (se di uscita). L'interazione con altri sistemi, che è carattere specifico degli impianti produttivi, si descrive esclusivamente attraverso la conoscenza di tali grandezze. Il progettista si limiterà a comporre, nel modo più rispondente agli obiettivi e vincoli dati, tali caratteristiche, il che vuol dire procedere ad una scelta tra componenti e più in generale tra alternative di soluzione diverse in termini di caratteristiche esterne (produttività, efficienza, costi, affidabilità, flessibilità, ecc.) dello stesso problema.

1.2. CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

Per sviluppare ogni processo produttivo, l'uomo ha ideato ed applicato vari mezzi, tra i quali gli Impianti Industriali di Produzione giocano un ruolo decisivo. La storia dello sviluppo dell'industria mostra che i perfezionamenti produttivi si sono verificati gradualmente, ma hanno avuto un andamento sempre positivo, dalla primitiva ascia di pietra al moderno robot. Come abbiamo detto sopra, l'**impianto industriale** è il complesso di macchine, apparecchiature e servizi, atti a permettere la trasformazione qualitativa delle materie prime o semilavorati in prodotti finiti.

La scienza che studia le leggi che governano il processo di costruzione delle macchine e degli impianti, ed ha lo scopo di applicare queste leggi per produrli con qualità garantita ed al minimo costo, è la **Scienza degli Impianti** o **ingegneria della produzione**.

Fino alla metà del 18° secolo si è assistito allo sviluppo di attività tecniche di tipo **artigianale**, quali la filatura e la tessitura di fibre animali e vegetali, la lavorazione del legno, la lavorazione della terra per l'ottenimento dei prodotti agricoli, ecc.

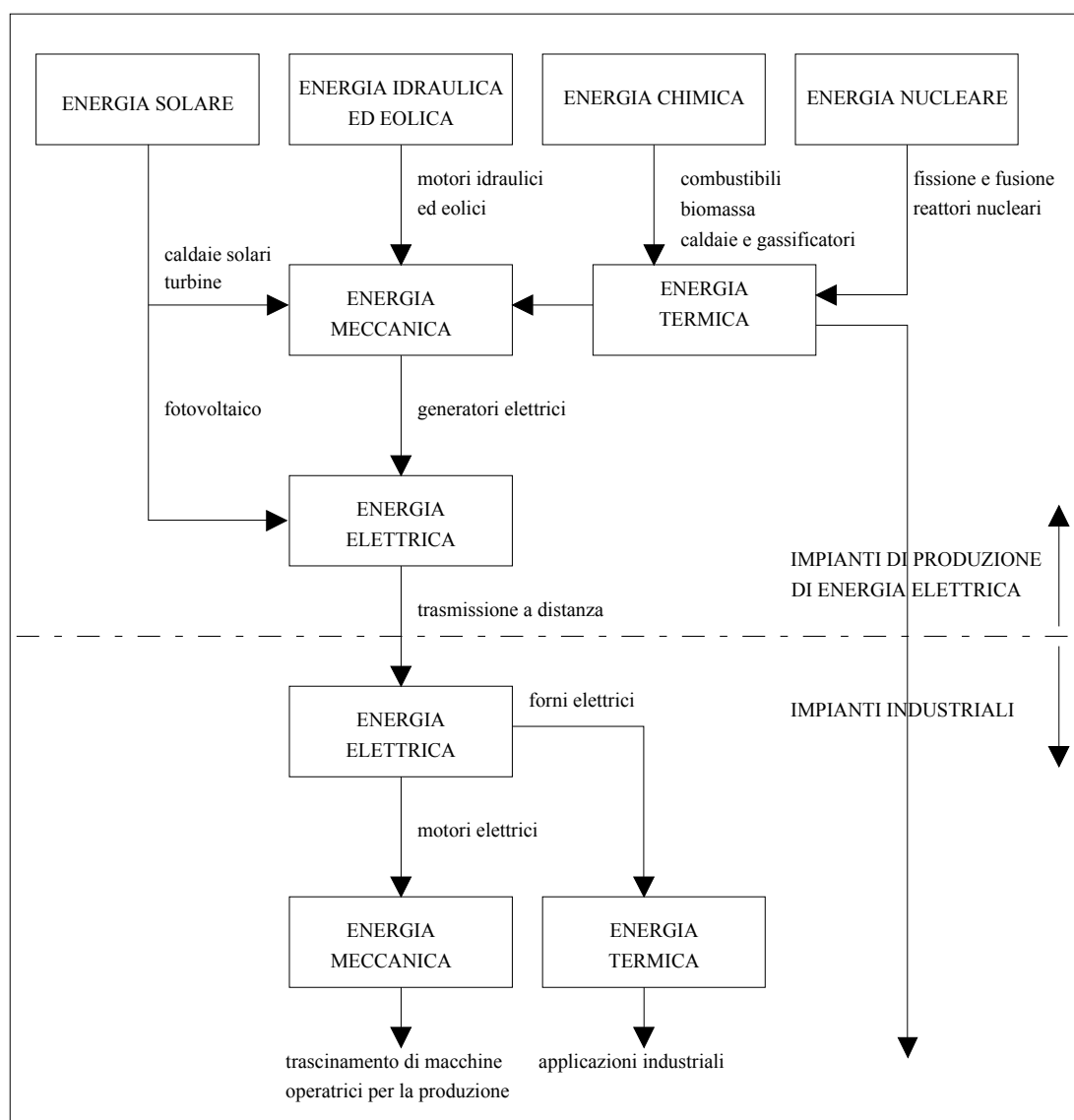


fig. 1.1. Schema delle trasformazioni dell'energia e delle sue utilizzazioni nell'industria di produzione e negli impianti industriali

Tali attività richiedevano la presenza di due elementi fondamentali: le *materie prime* e l'*energia meccanica*. Le materie prime ed i loro derivati erano in genere originati dal mondo minerale, animale e vegetale, o da una loro parziale trasformazione. L'energia meccanica era di origine idraulica od eolica: acque fluenti o venti muovevano pale e ruote fornendo l'energia necessaria per molini, cartiere, tessiture, segherie, fucine, ecc. Tuttavia, tale energia risultava disponibile in quantità ridotta ed in luoghi ben circoscritti dalla presenza del fluido motore, con conseguente localizzazione delle attività tecniche lontano dai centri di consumo. La ridotta disponibilità di energia meccanica e la scarsa accessibilità ai mercati hanno costituito a lungo un limite insuperabile per lo sviluppo delle attività artigianali.

Invece, le attività tecniche di tipo *industriale* necessitano, oltre che delle materie prime e dell'energia, anche di due altri elementi di fondamentale importanza: il *capitale* e la *manodopera*. Fattori che sono stati decisivi ai fini dello sviluppo delle attività tecniche a livello industriale sono i seguenti:

- l'invenzione della motrice a vapore e l'utilizzazione dell'energia termica,
- la reperibilità di nuove fonti energetiche, in particolare il carbone,
- lo sviluppo dell'elettrotecnica e delle sue principali applicazioni.

L'invenzione della motrice a vapore (Watt, 1763) ha aperto la via allo sviluppo dell'industria, in quanto tale macchina può produrre energia meccanica a partire dall'energia termica sviluppata dai combustibili, necessita di poca acqua e quindi può essere impiegata anche lontano dall'acqua fluente, perciò può essere utilizzata in prossimità dei mercati. La disponibilità di grandi quantità di energia meccanica in prossimità delle aree di mercato rimane condizionata solamente dalla disponibilità di combustibile. Poi, il trasporto del combustibile risulta sempre più economico di quello dell'acqua, grazie alle portate richieste, che sono al più nel rapporto 1:30 per i moderni impianti a vapore, e grazie al fatto che i prodotti della combustione sono a perdere.

L'industria di costruzione delle macchine e degli impianti è il campo dell'ingegneria più importante di tutti quelli di una nazione, ed uno degli indici principali del grado di trasformazione in termini di produttività del lavoro è il **costo** del prodotto. *Il costo esprime in termini monetari la spesa di lavoro intellettuale e di lavoro manuale necessaria per la costruzione di ogni impianto produttivo e l'ottenimento di ogni prodotto.* Quindi, è continua la ricerca di sempre nuovi processi, per utilizzare i continui aggiornamenti tecnici e scientifici. Per poter realizzare questi processi, l'industria produttrice delle macchine e degli impianti sviluppa continui perfezionamenti alla produzione, in quanto è chiamata a fornire sempre nuove macchine in quantità sufficienti a soddisfare le necessità del mercato in cui opera. Poi, le macchine devono essere in grado di svolgere le funzioni richieste al minimo costo possibile.

Infatti e come si è visto in §1.1, l'impianto industriale si inserisce in una struttura o sistema od organizzazione produttiva più complessa che può chiamarsi Gruppo, Impresa od Azienda, e che è rivolta al perseguimento di obiettivi economici, tra cui il fondamentale è quello di ottenere in uscita beni o servizi di valore superiore a quello delle materie prime o delle merci in ingresso, in modo da produrre un utile, oltre a compensare tutti i costi di produzione.

Nell'impianto industriale si possono distinguere, oltre ad uno o più impianti di produzione, o tecnologici, anche più impianti complementari di servizio, volti al soddisfacimento di una particolare esigenza del processo e delle attività produttive, la fornitura di acqua, di energia elettrica, di aria compressa, di vapore tecnologico, ecc, senza i quali l'impianto produttivo non sarebbe in grado di produrre nulla.

1.2.1. Tipologie di Produzione

Dunque, le attività industriali non sono rivolte soltanto alla produzione di **beni strumentali** (macchine, utensili, beni ed oggetti vari) e **di consumo** (tessuti, alimentari, carta, ecc.) ma anche alla produzione di **servizi** (trasporti pubblici, mense, magazzini, ospedali, ecc.), le quali tutte necessitano di impianti meccanici.¹¹

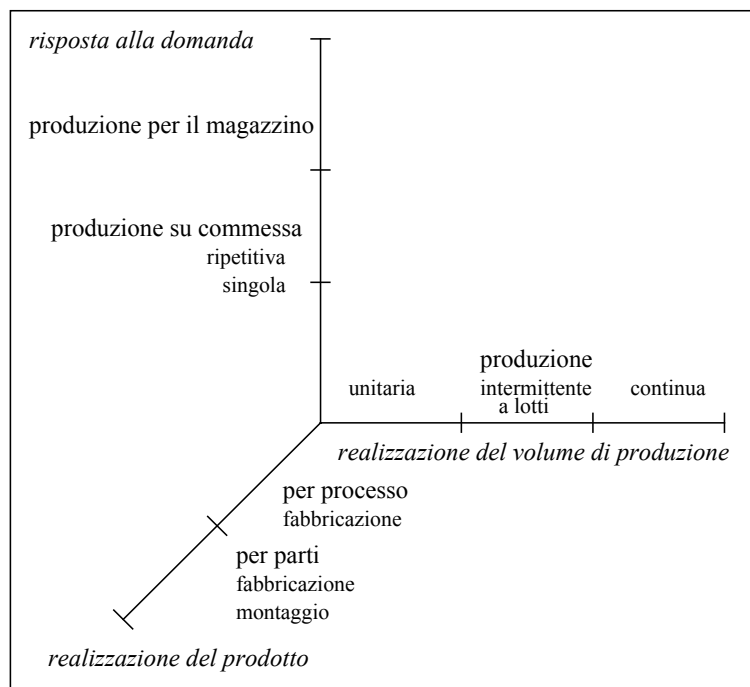


fig. 1.2. Classificazione delle produzioni industriali.

Come rappresentato schematicamente in fig. 1.2, le produzioni industriali possono essere classificate secondo:

la natura del prodotto. Essa implica la fabbricazione:

- per parti*, che, nel caso di produzione di massa (di automobili, elettrodomestici, ecc.), si svolge su linee o su reparti. Il montaggio può essere manuale od automatico,
- per processo*, quando si tratta di produzioni di massa di cemento, acciaio, prodotti chimici, ceramici, ecc.

il volume di produzione:

- unitaria*, quando il volume di produzione del prodotto è molto basso,
- intermittente a lotti*, quando il volume di produzione è maggiore,
- continua*, con volume di produzione nell'unità di tempo molto elevato.

le caratteristiche del prodotto, con produzione:

- a magazzino*, quando l'attività produttiva viene effettuata prima di avere ricevuto gli ordini dei clienti, e quindi sono necessari ambienti dedicati, per collocare i prodotti finiti. In questo caso l'organizzazione è esposta ai *rischi del mercato*;
- su commessa*, quando l'attività produttiva viene intrapresa sulla base degli ordini dei clienti. In questo caso l'organizzazione è esposta ai *rischi di esercizio*. Le commesse possono essere:

¹¹ A. Pareschi, Impianti Industriali, Criteri di scelta, progettazione e realizzazione, Progetto Leonardo, 1994

- *singole*, quando le specifiche del prodotto vengono conosciute solamente all'atto dell'acquisizione dell'ordine,
- *ripetitive*, quando le specifiche del prodotto sono note in anticipo, rispetto all'inizio del processo produttivo. Ad esempio, è questo il caso dei subfornitori di componenti per le industrie di grande serie e dei fornitori degli Enti di Stato.

1.2.2. Impianti per la Produzione.

L'**impianto tecnologico** è quell'insieme più o meno articolato di macchine, apparecchiature, congegni e dispositivi costituenti un'unità organica e tecnologicamente individuata, nella quale vengono compiute le operazioni di trasformazione qualitativa delle merci in ingresso in prodotto finito, in cui, cioè, si realizza il ciclo tecnologico. Gli impianti di produzione possono essere diversissimi e sono classificabili in base a diversi criteri di analisi, come la natura delle trasformazioni, del prodotto finito, delle dimensioni, del capitale investito, del lavoro umano richiesto, del diagramma tecnologico, del processo produttivo, della continuità del processo produttivo, ecc.

Tuttavia, da soli gli impianti tecnologici non consentono di ottenere alcun prodotto: il loro funzionamento è possibile in virtù degli impianti complementari di servizio, i quali sono inseriti nella struttura operativa. Gli impianti di servizio sono comuni ai diversi impianti di produzione ed in pratica si diversificano solamente dal punto di vista della potenzialità.

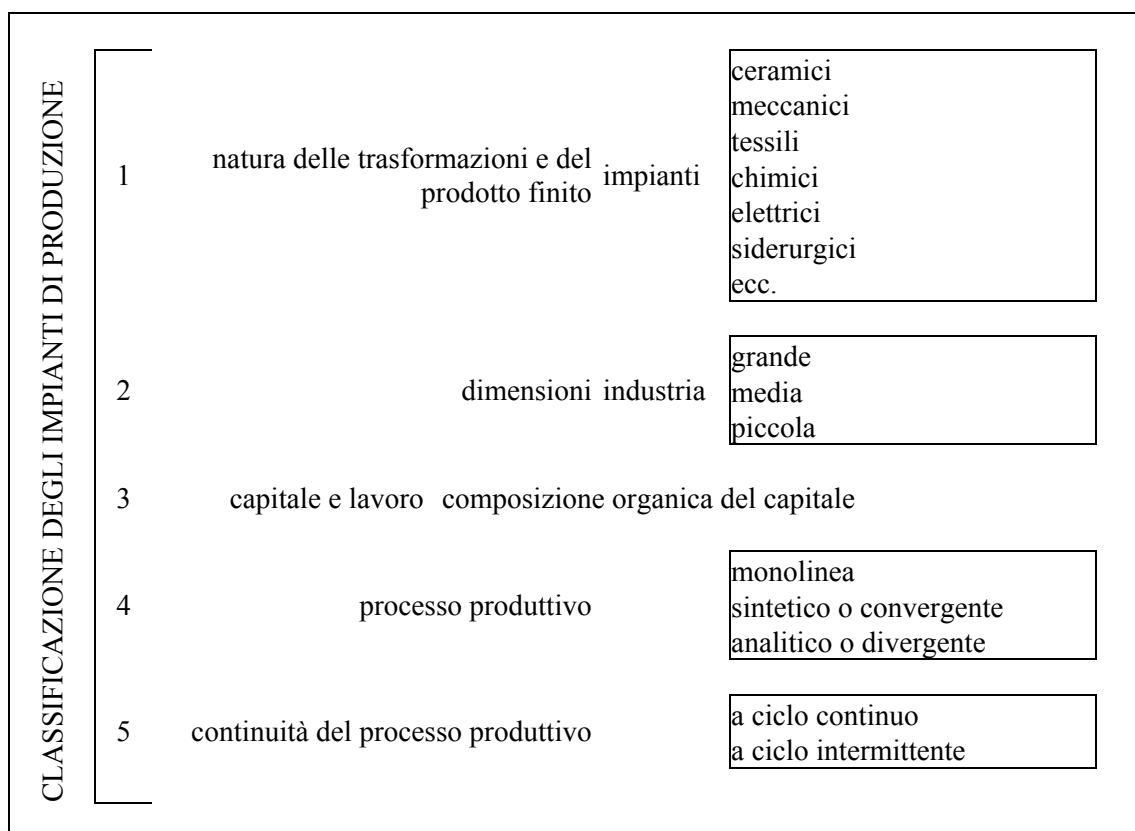


fig. 1.3. Classificazione degli Impianti di Produzione

1. Il Sistema Produttivo

Con riferimento alla *natura delle trasformazioni* e del *prodotto finito*, si guarda spesso alla parte terminale del processo tecnologico, laddove avvengono le trasformazioni più vicine al prodotto finito. Allora, gli impianti si distinguono in meccanici, siderurgici, tessili, ceramici, cementieri, chimici, elettrici, ecc.

Con riferimento alle *dimensioni*, si distinguono impianti appartenenti alla grande, media e piccola industria. I parametri di valutazione delle dimensioni sono vari: numero di addetti, capitale investito, capacità produttiva, ecc. Muovendoci dalla piccola alla grande dimensione, spesso si assiste ad una progressiva integrazione del ciclo produttivo, cioè alla sua estensione verso valle o verso monte, fino a pervenire al cosiddetto ciclo integrato, in cui hanno luogo tutte le trasformazioni dalla materia prima al prodotto finito.

Con riferimento al *capitale* ed al *lavoro*, che, unitamente alla materia prima ed all'energia, costituiscono i fattori necessari per lo svolgimento di ogni attività industriale, si distinguono impianti ad alta intensità di capitale ed impianti con prevalente contenuto di lavoro. I primi sono caratterizzati da elevati valori della *composizione organica del capitale R*, rapporto tra il capitale fisso, corrispondente al complesso dei mezzi di produzione, ed il cosiddetto capitale variabile, corrispondente alla forza lavoro. Invece, i secondi sono caratterizzati da bassi valori di *R*. I valori di *R* sono fortemente variabili da settore a settore. Si passa da poche decine di migliaia di Euro di capitale fisso investito per addetto, nel caso di un'officina meccanica, alle molte centinaia di migliaia di Euro per addetto in tecnologie come la siderurgica e la petrolchimica. La tendenza generale nell'ambito del sistema economico capitalistico, e che si verifica in ogni settore, è quella di andare verso valori di *R* sempre maggiori, sostituendo il lavoro vivo con nuove macchine, cioè col lavoro pregresso necessario per fabbricare le macchine stesse.

1.2.2.1. La Classificazione per Tipo di Flusso.

Come detto, le decisioni riguardanti la scelta del processo ne determinano il tipo da impiegare e le caratteristiche. Poiché sappiamo che la scelta del processo è di grande importanza, è per sua natura strategica e coinvolge pesantemente costi, qualità, termini di consegna, flessibilità e produzione, la scelta del processo è fatta dall'alta dirigenza, dando la massima rilevanza alla descrizione dei diversi processi ed alle condizioni determinate dall'adozione di uno di essi, in confronto agli altri. Tuttavia, prima che una decisione sulla scelta del processo sia presa, è necessario che la capacità produttiva sia stata definita, cioè che sia stata fatta una previsione sull'andamento della **domanda**. Nel seguito si supporrà che queste attività siano state già fatte.

Esempio

I dirigenti di un fast-food possono decidere se produrre il cibo strettamente all'ordine del cliente, oppure per il banco. Essi devono decidere se organizzare il flusso del processo secondo il modello continuo delle grandi quantità, oppure secondo quello delle piccole quantità (a lotti). Inoltre, devono decidere se indirizzare l'integrazione verso il mercato, oppure verso i propri fornitori. Tutte queste decisioni aiutano a definire il tipo di processo da approntare per l'ottenimento del prodotto.

Esempio

I forni a microonde hanno avuto grande successo, determinando un mercato in forte espansione. Uno dei leader degli U.S.A. è la Radarwave Inc., che ha raggiunto la quota di mercato del 30% ed ha fatto fronte ad un grande aumento delle vendite e dei profitti. Esaminando tale situazione,

il vicepresidente responsabile della produzione desiderava conoscere fino a che punto la domanda sarebbe cresciuta ed a quale livello della domanda fosse ragionevole pensare ad un cambio dell'apparato produttivo.

La Radarwave possiede due impianti, uno in Colorado, l'altro in S. Dakota. Essi impiegano una linea di montaggio parzialmente integrata, i componenti essendo prodotti in un reparto di produzione del tipo Job-Shop. A causa della rapida crescita della domanda e delle frequenti modifiche del prodotto, nel reparto di produzione, il flusso del prodotto era irregolare, mentre la linea di montaggio non era ottimizzata per raggiungere un elevato grado di efficienza. Infatti, la linea di montaggio era ad alta intensità di manodopera e molti componenti erano acquistati all'esterno.

Ad un certo punto, l'industria giapponese è entrata sul mercato con prodotti di basso costo, mentre quella U.S.A. provvedeva a standardizzare i propri prodotti e le maggiori imprese di costruzione di elettrodomestici introducevano nella gamma anche i forni a microonde.

Anche considerando tale fatto nuovo, il vicepresidente alla produzione decise di analizzare gli effetti della costruzione di una linea di montaggio meglio organizzata, con un maggiore impiego dell'automazione ed un'integrazione verticale più accentuata. Per condurre tale analisi, egli chiama il suo assistente alla progettazione del processo perché lo aiuti ad individuare le opzioni disponibili e gli prepari un'analisi dell'impatto di ogni opzione sulla produzione. Inoltre, lo invita a considerare non solo i costi delle varie proposte, ma anche gli effetti sulla qualità della produzione, sui termini di consegna e sulla flessibilità.

La prima dimensione della classificazione del processo è il flusso dei materiali fino al prodotto finito (sequenza delle attività produttive). Esistono tre tipi di flusso: in linea, intermittente e su progetto.

1.2.2.1.1. Processo in Linea.

Il processo in linea è caratterizzato da una sequenza fissa e continua delle operazioni, fatte per ottenere il prodotto od il servizio. In questo tipo di produzione, il prodotto deve essere ben standardizzato e deve fluire da un'operazione od una stazione di lavoro alla successiva in modo naturale. Le singole operazioni sono bene accoppiate e bilanciate, in modo che ognuna di esse non ritardi la successiva. L'andamento tipico è quello rappresentato in fig. 1.4, dove il prodotto è creato sequenzialmente da un estremo della linea all'altro. Inoltre, sono comuni i flussi su linee parallele, che, alla fine intersecano la linea principale, con una convergenza regolare nel tempo e nello spazio.

Talvolta, lo schema viene distinto in due tipi di produzione, di massa e continua. Normalmente, la **produzione di massa** si riferisce al tipo *linea di lavorazione e montaggio*, come quella dell'industria degli orologi, dei motori, ecc. Invece, la **produzione continua** si riferisce alle *industrie di processo*, come quelle chimiche, della carta, della birra, dell'acciaio, ma anche quelle elettriche, telefoniche, ecc. Si tratta di una distinzione tradizionale, la quale ha individuato nell'industria di processo maggiori possibilità di automazione degli impianti e di standardizzazione del prodotto.

La produzione in linea tradizionale è altamente efficiente, ma anche estremamente rigida. Infatti, l'alta efficienza è dovuta alla sostituzione di parte della manodopera col capitale, ed all'impiego della rimanente manodopera in un lavoro fortemente routinario. L'elevato livello di efficienza richiede che sia mantenuto un alto livello di produzione, per poter avere un rapido e sicuro ammortamento del costoso impianto dedicato. A sua volta, questo richiede una linea di produzione stabilizzata nel tempo. Infatti, a causa del-

la standardizzazione e dell'organizzazione sequenziale del lavoro, risulta difficile e costoso modificare il prodotto od il livello produttivo dell'impianto, da cui la rigidità del sistema produttivo.

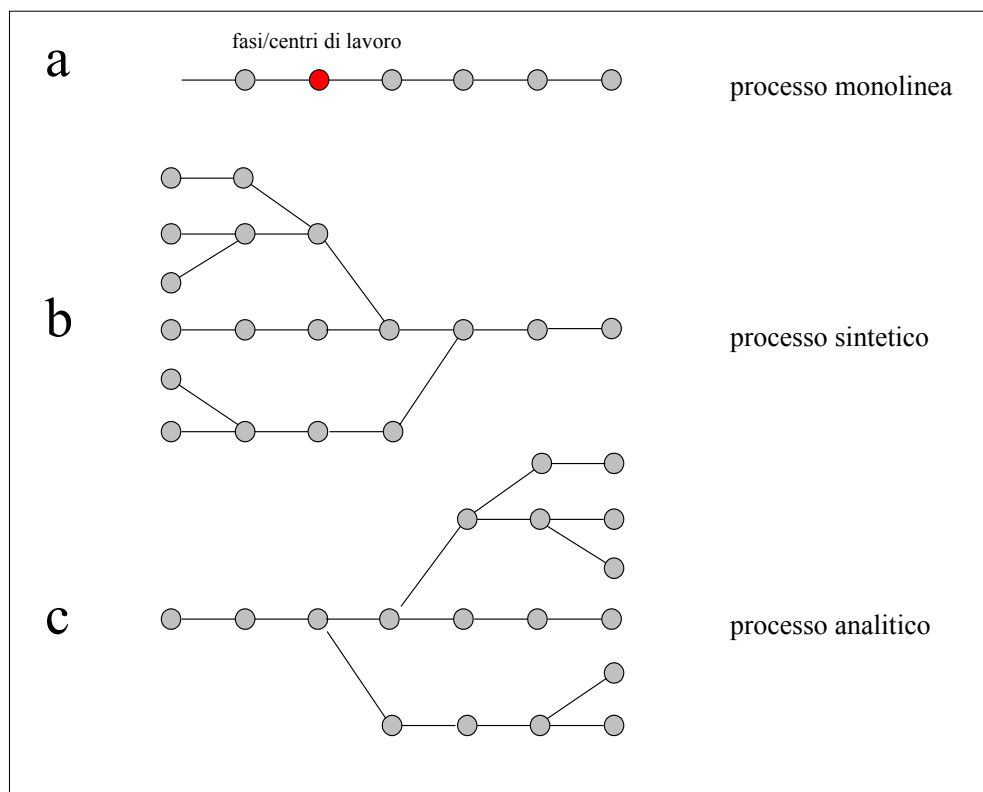


fig. 1.4. Tipi di processi **in linea** degli impianti industriali.

Le tecnologie informatiche hanno reso possibile un certo aumento della flessibilità delle linee di produzione. Questo è stato possibile con l'introduzione massiccia del controllo del processo e dell'impianto mediante il computer, e con la riduzione dei tempi morti di sostituzione delle attrezzature. Così, è possibile assegnare ad una linea di produzione flessibile un'intera famiglia di prodotti, differenziati tra loro per le dimensioni ed un po' per la forma, per produrre lotti di diversa numerosità. Cioè, una certa flessibilità può essere raggiunta quando è possibile l'impiego della tecnologia informatica.

Naturalmente, la produzione in linea può essere giustificata solamente in un numero limitato di situazioni. Le condizioni generali sono di poter contare su un gran volume di vendite di un prodotto standard od, al limite, di una famiglia di prodotti. Se queste condizioni sono soddisfatte, sarà la concorrenza a forzare l'impiego della produzione in linea, che potenzialmente garantisce la massima efficienza. Tuttavia, la dirigenza deve esaminare con cura l'adozione di questa soluzione: essa non può basarsi esclusivamente sull'efficienza. Altri fattori che devono essere considerati sono il rischio di obsolescenza del prodotto, la disaffezione della manodopera derivante dalla ripetitività del lavoro ed il rischio connesso alla difficoltà di cambiare la tecnologia di processo.

1.2.2.1.2. **Processo a Flusso Intermittente.**

Il processo produttivo intermittente è caratterizzato da una produzione a lotti (eventualmente ad intervalli differenziati). In questo caso, l'impianto e la manodopera sono

organizzati in centri di lavoro con macchine ed attrezzature dedicate a lavori simili e manodopera omogenea di mediamente alta qualifica. Dunque, il prodotto fluisce solamente verso i centri di lavoro utili alla sua lavorazione e salta i rimanenti. Ne risulta un processo a salti, come si vede in fig. 1.5.

Essendo le macchine e l'impianto abbastanza universali e la manodopera qualificata, la produzione è molto flessibile sia per quanto riguarda i cambiamenti di prodotto, sia per le variazioni di quantità, tuttavia la produzione non è sempre molto efficiente. Infatti, il flusso a salti e la variabilità del prodotto comportano difficili problemi di trasporto dei materiali, delle sequenze di lavorazione (scheduling) e della qualità.

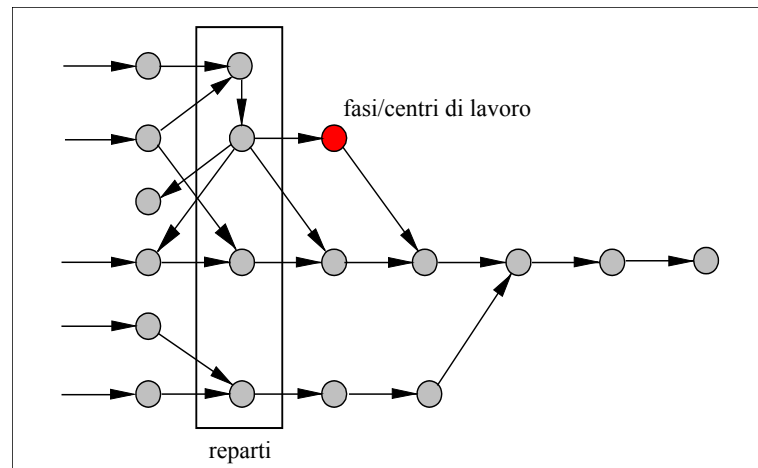


fig. 1.5. Modello del flusso nella produzione intermittente.

Se alcune funzioni operative lavorano vicino alla saturazione, si producono elevati quantitativi di semilavorati ed il tempo necessario al completamento delle lavorazioni (throughput-time) ed i tempi di consegna (lead-time) aumentano. Questo è dovuto all'inevitabile interferenza delle operazioni che richiedono lo stesso centro di lavoro o la stessa manodopera nello stesso momento, interferenza che porta ad una minore utilizzazione dell'impianto, in confronto alla produzione in linea.

Da Constable e New¹² abbiamo un parametro **TE** che misura l'efficienza:

$$TE = \frac{TWIT}{TTO} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

dove:

TWIT è il tempo macchina ed il tempo uomo effettivamente spesi per il compimento della lavorazione. Esso non comprende i tempi morti derivanti dall'interferenza,

TTO è il tempo totale necessario al completamento della lavorazione, compresi i tempi morti derivanti dall'interferenza.

Il processo produttivo intermittente ha valori tipici di **TE** compresi tra il 10 ed il 20%, raramente superiori al 40%, mentre nella produzione in linea si raggiungono facilmente valori compresi tra il 90 ed il 100%.

¹² C.J. Constable, C.C. New, *Operations Management: A System Approach through Text and Case*, Wiley-Interscience, 1976

La caratteristica del processo intermittente è che centri di lavoro simili e manodopera con grado di qualifica vicina sono raggruppati insieme, con una disposizione del lay-out detto di processo. Per contro, il flusso in linea aveva un lay-out di prodotto. Se si volesse complicare ulteriormente la terminologia, la produzione intermittente è chiamata a Job-Shop, ma non sempre, perché questa definizione da alcuni è riservata solamente alle produzioni su ordine del committente. Per evitare ogni confusione, d'ora in poi adotteremo solamente il termine *produzione intermittente*.

La produzione intermittente può essere giustificata quando il prodotto manca di standardizzazione, oppure il volume della serie è basso. In questo caso, l'adozione di questo schema è più economica e comporta il rischio minore. La ragione è che si usano macchine universali, le quali sono per loro natura destinate ad un ampio mercato ed, anche se dotate di una grande quantità di funzioni, sono di costo minore. Ne risulta che l'approntamento dell'impianto produttivo è meno costoso (per i costi fissi più bassi), anche se poi, in generale, la creazione del prodotto con quell'impianto dovrà patire di una minore efficienza e di un maggiore impiego di manodopera. È come dire che il risparmio ottenuto con il contenimento dei costi fissi verrà in qualche modo assorbito (spesso superato) dai maggiori costi variabili, in confronto alla produzione in linea. Tuttavia, bisogna tener presente che non tutti i prodotti sono richiesti in grande serie: esistono aziende che producono grandi turbine idrauliche, grandi motori marini, generatori di vapore, ecc, che non possono disporre di un'organizzazione fisica degli spazi, né di un mercato (volume di produzione), adeguati alla produzione in linea.

Per le organizzazioni che operano secondo questo principio, il problema fondamentale sarà quello di aumentare la loro efficienza tendendo alla saturazione degli impianti, piuttosto che tentare (anzi si evita) di standardizzare il prodotto.

1.2.2.1.3. Processo a Flusso su Progetto.

Il processo produttivo su progetto è usato per produrre pezzi, macchine od impianti unici, ma riguarda anche la costruzione di opere d'arte, l'edilizia e l'industria dell'intrattenimento e del tempo libero (cinematografia, concerti, mostre, ecc.). In termini generali, non esiste un vero e proprio flusso del prodotto, tuttavia si può individuare una serie di operazioni in sequenza, tutte indirizzate al compimento degli obiettivi del progetto. Dunque, lo schema del flusso è analogo a quello di fig. 1.5, tuttavia applicato agli obiettivi piuttosto che alle operazioni, ed è rappresentato in fig. 1.6. A questo scopo, esso indica la precedenza che deve essere assicurata nel raggiungimento dei vari obiettivi. Il problema significativo della gestione del progetto è rappresentato dalla pianificazione, cioè la definizione della sequenza ed il controllo degli obiettivi individuali che portano al completamento dell'intero progetto.

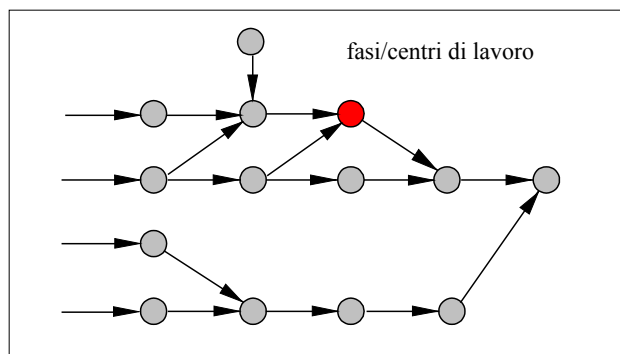


fig. 1.6. Modello di flusso nella produzione su progetto.

È difficile automatizzare questo tipo di processo produttivo, poiché esso deve fornire un unico prodotto, quindi esso impiegherà attrezzature, macchine ed impianti di tipo universale, e sarà indispensabile il contributo della manodopera al compimento del progetto. Normalmente, il progetto è caratterizzato da alti costi e difficoltà nella programmazione e nel controllo, anche perché esso è difficile da definire e preventivare compiutamente fin dall'inizio e, dunque, è esposto a frequenti modifiche ed innovazioni.

tab. 1.III. Caratteristiche dei processi.

caratteristica	in linea	intermittente	su progetto
PRODOTTO			
tipo di ordine	continuo grandi lotti	lotti	prodotto unico
flusso di prodotto	in sequenza	a salti	nessuno
varietà di prodotto	bassa	alta	assoluta
tipo di mercato	di massa	personalizzato	unico
volume di produzione	alto	medio	singola unità
MANODOPERA			
qualifica	bassa	alta	alta
obiettivo	ripetitivo	non routinario	non routinario
stipendio	basso	alto	alto
CAPITALE			
investimento	alto	medio	basso
impiego di materiali	basso	alto	medio
impianto	specifico	universale	universale
OBIETTIVI			
flessibilità	bassa	media	alta
costo	basso	medio	alto
qualità	costante	variabile	variabile
tempi di consegna	alti	medi	bassi
PROGRAMMAZIONE E CONTROLLO			
controllo produzione	facile	difficile	difficile
controllo qualità	facile	difficile	difficile
controllo materiali	facile	difficile	difficile

Tuttavia, sappiamo che questo non è certamente accaduto a Michelangelo di fronte alla sua Cappella Sistina od a Brunelleschi per la sua cupola di Santa Maria del Fiore. Infatti, dobbiamo considerare che, non solo i due erano un pò sopra alla media di noi studenti di Ingegneria e degli ingegneri, ma che la loro abilità era stata proprio quella di aver prima pensato ad un progetto assolutamente integrato, di aver steso un accuratissimo progetto esecutivo ed, infine, di aver curato l'approvvigionamento dei materiali e l'esecuzione dei lavori con un accanimento divenuto leggendario. Ma proprio perché ci consideriamo in media un pò inferiori ai due citati, dobbiamo costruirci degli schemi che ci aiutino a dirimere i dubbi iniziali ed a caratterizzare meglio i processi. Allo scopo, in tab. 1.III, sono distinte le caratteristiche generali dei tre modelli studiati.

Brunelleschi è a Firenze (1417); è chiamato dagli Operai dell'Opera ed espone le sue idee per voltare la cupola, suscita interesse, ma anche molti dubbi; allora chiede di lasciare Firenze e torna a Roma e vi studia nuovamente i modi di voltare degli antichi senza preoccuparsi delle spese "avendo sempre nella mente lo edificio di detta chiesa di Firenze"; nel 1419 è a Firenze e viene chiamato a intervenire nel Consiglio per la cupola; sostiene, lui solo, la possibilità di voltare senza centine; la discussione dura più giorni; gli Operai, di fronte alla sua ostinazione nel sostenere un'idea che sembra assurda lo fanno più volte 'portare di peso fuorj, come se ragionassj stoltamente e parole da ridensene'; realizza la cappella Ridolfi in S. Jacopo Sopr'Arno come prova della sua ipotesi tecnica; stende un programma della costruzione; viene nominato capo-maestro; accetta un pagamento inferiore e il limite del livello di 14 braccia come prova pur di tagliare corto alla discussione e alle opposizioni; accetta di spartire con Lorenzo Ghiberti l'incarico; fa un modello di legno della cupola; è chiamato 'ghovernatore della cupola maggiore' come il Ghiberti; lui solo è chiamato 'inventore'; si comincia a voltare secondo le sue direttive; le paure e le opposizioni aumentano; allora fingendo di essere malato dimostra l'incompetenza di Lorenzo e che la sua presenza è indispensabile; così ottiene la divisione dei compiti tra lui e Ghiberti; costruisce nuovi modelli; è sempre circondato dai curiosi e se ne lamenta, gli vengono fatti scherzi; quando la costruzione è giunta a sette braccia ottiene l'incarico per completare tutta la cupola compresa la lanterna; gli viene richiesto che ognuna delle otto facce della cupola sia assegnata a un 'maestro di cazuola'; risolve lo sciopero delle maestranze che rifiutano di essere completamente subordinate a lui, dimostrando di poter proseguire con nuovi operai da lui istruiti e diretti; escogita diversi 'provvedimenti e industrie per vari problemi della costruzione (venti, terremoti, e il peso stesso); fa continuamente modelli di particolari e li dimostra agli operai praticamente, con la terra molle, con la cera, con legname, o con grosse rape tagliate col coltello; provvede ai pericoli degli operai – "non che pericorj ma le paure e gli orroij di quegli che muravano e che servivano loro" - e "che vi fussi chi vendesse vino e chi pane e chuochj" sulla cupola in costruzione anche per guadagnare tempo; sceglie e controlla personalmente tutti i materiali e ogni particolare; l'organizzazione è ormai perfetta e l'opera si compie. Anche solo da questa sintetica cronaca del farsi della cupola emerge con evidenza che già in quest'opera il Brunelleschi non è più l'architetto partecipante o delegato della comunità tutta, ma piuttosto l'interprete che risolve nella sua visione personale il momento collettivo.¹³

Esempio

Molti esempi possono essere tratti dall'industria edile, ed uno di essi può chiarire, se ce ne fosse la necessità, ancor meglio il problema.

Prima di tutto, supponiamo di parlare della costruzione di una **casa personalizzata** per il compratore: il progetto può essere redatto dall'architetto come unico, oppure come rielaborazione di progetti esistenti. Poiché la costruzione della casa è personalizzata, il progetto, la programmazione delle attività, la sequenza ed il controllo delle varie attività operative costituiscono la fonte dei problemi. Il compratore è altamente coinvolto in tutte le fasi della costruzione e, talvolta, il progetto deve essere modificato in corso d'opera. La costruzione è a forte impiego di manodopera, grande spesa di tempo e, dunque, costosa.

D'altra parte, l'adozione dello schema di produzione intermittente consiste nella costruzione della **casa, inserita in un lotto di abitazioni**. In questo caso, il compratore può solamente scegliere tra i pochi schemi standard, con poche opzioni minori: i colori, gli infissi, i pavimenti, cioè le finiture. La casa è costruita in riferimento ai disegni che sono già serviti per case identiche o molto simili. Il costruttore può comprare i materiali in lotti più grossi e può adottare una tecnologia un po' più avanzata per accelerare il lavoro. Poiché il personale è addestrato ed ha familiarità con i metodi impiegati, la struttura, salvo le finiture, può essere completata in poche settimane. Ne deriva una forte riduzione dei costi per m², in confronto al caso precedente.

¹³ G. Fanelli, *Firenze del Brunelleschi*,
<http://www.firenze.turismo.toscana.it/apt/itinerari/bruneltext.html>

Invece, la produzione in linea di case consiste nella prefabbricazione modulare in fabbrica. Le case sono standardizzate e prodotte a sezioni, a costo relativamente basso. L'impiego di costose opere di carpenteria, di idraulica ed elettriche è largamente evitato prevedendo alveoli tecnici nei quali vengono installati i relativi sistemi completi, già in fabbrica. Per tagliare ulteriormente i costi, può essere previsto uno speciale impianto di produzione. Dopo che sono state assemblate in una linea di montaggio, le sezioni della casa sono portate nel sito previsto e la casa può essere costruita, almeno come scheletro, in un giorno. Queste **case prefabbricate** sono le più economiche in assoluto.

Ovviamente, il costruttore deve prendere la decisione più importante: la scelta del processo produttivo da seguire. Tutti e tre gli approcci descritti possono essere adottati, ma egli deve riservare una particolare cura nel distinguere le varie attività, in quanto esse richiedono diversi costi di manodopera, materiali, gestione e capitali a seconda dello schema scelto. Certamente, se egli è in qualche modo spinto ad offrire tutti e tre i tipi di prodotto, il costruttore terrà in debito conto l'opportunità di separare l'attività produttiva in tre divisioni, ognuna delle quali seguirà un solo tipo di processo.

1.2.2.2. **La Classificazione per Tipo di Ordinativo.**

Un'altra decisione critica nella scelta del tipo di processo riguarda la strategia, che può considerare il prodotto costruito per essere messo a magazzino, oppure dietro accettazione dell'ordine di un cliente.

Ognuna delle due soluzioni ha pregi e difetti: costruire per il magazzino (make-to-stock) consente un servizio al cliente veloce e di minor costo, ma gli limita le possibilità di scelta, in confronto a costruire su ordine (make-to-order). Essenzialmente, il processo make-to-order risponde alla richiesta del cliente con un prodotto. Nello stesso momento, in produzione deve essere possibile identificare il prodotto relativo a quel particolare ordine ed a quel particolare cliente. Invece, nel processo make-to-stock gli ordini non sono assegnati al particolare cliente durante la produzione. Quindi, si può individuare se il processo appartiene ad una od all'altra categoria, semplicemente esaminando le modalità di evasione degli ordini.

1.2.2.2.1. **Processo Make-to-Order.**

Se il processo è make-to-order, si deve tener conto di un ampio campo di specifiche dell'ordine. In alcuni casi, non si fa nulla prima dell'arrivo dell'ordine ed il prodotto è progettato e costruito sulla base delle specifiche del cliente. In altri casi, alcuni componenti sono costruiti in anticipo (in assenza di ordine) ed, all'arrivo dell'ordine, semplicemente si assembla il prodotto personalizzato per soddisfare le esigenze del cliente. In questo caso, il prodotto è praticamente standard, ma non viene inviato al magazzino, solamente consegnato.

Dunque, nel processo make-to-order le attività di processo sono orientate ai singoli ordini del cliente ed il ciclo di evasione dell'ordine inizia quando il cliente indica quale prodotto vuole. Sulla base dell'ordine, il produttore fissa un prezzo ed una scadenza per la consegna. All'accettazione, il prodotto segue un eventuale ciclo di progettazione ed un ciclo di produzione, secondo le specifiche ricevute. Può avvenire che le specifiche del cliente comportino l'impiego di materiali speciali o non disponibili direttamente dal produttore, nel qual caso essi devono essere indicati nell'ordine, in modo da giustificare l'inizio del ciclo di produzione solamente dopo l'arrivo dei materiali e se la saturazione della produzione lo consente. Come detto, alla fine del processo di costruzione, il prodotto viene direttamente consegnato.

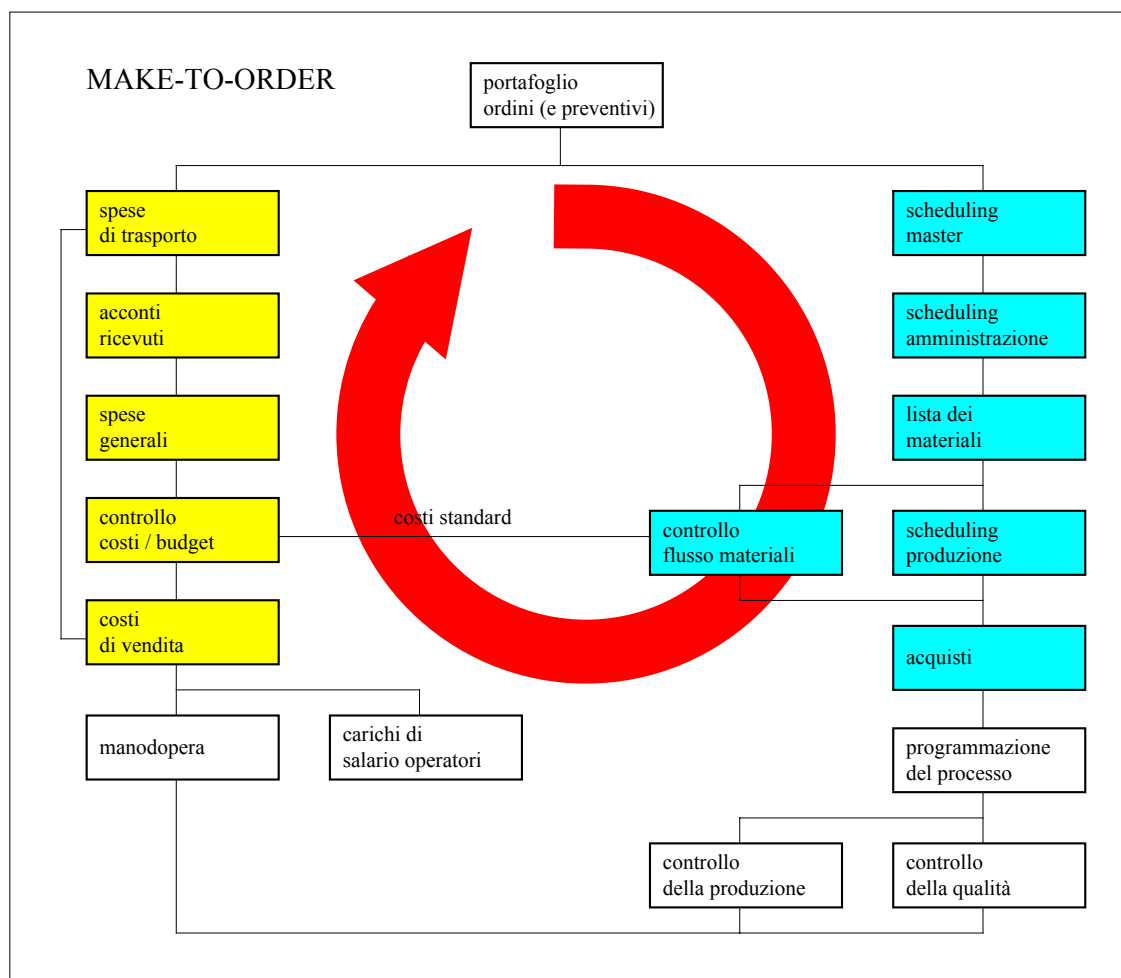


fig. 1.7. a) Schema di processo di produzione secondo il principio del make-to-order.

Lo schema dei flussi delle attività operative del modello make-to-order è indicato in fig. 1.7a. Oltre al costo, la misura chiave delle prestazioni del processo è rappresentata dal **tempo di consegna**, che normalmente, il cliente vuole conoscere in anticipo e che deve essere compatibile con i flussi presenti o previsti all'interno del processo produttivo. Ne deriva che i tempi di consegna debbano essere determinati realisticamente e nella piena collaborazione tra marketing e produzione.

1.2.2.2.2. Processo Make-to-Stock.

Un'azienda che lavora secondo lo schema del make-to-stock ha problemi completamente diversi. Prima di tutto, essa ha una linea di prodotto standardizzata. L'obiettivo della disponibilità del prodotto è di fornire al cliente i prodotti standard che sono a magazzino, con un *livello di servizio soddisfacente*, ad esempio il 95% degli ordini siano evasi prendendo il prodotto direttamente dal magazzino.

Per arrivare a questo risultato, l'azienda deve produrre in anticipo sulla domanda, quindi il magazzino deve far fronte all'incertezza della domanda, ma, anche e possibilmente, regolarizzare il flusso in produzione. Perciò, la previsione della domanda, la gestione del magazzino e la pianificazione della produzione diventano essenziali per un'organizzazione che lavori secondo il principio del make-to-stock.

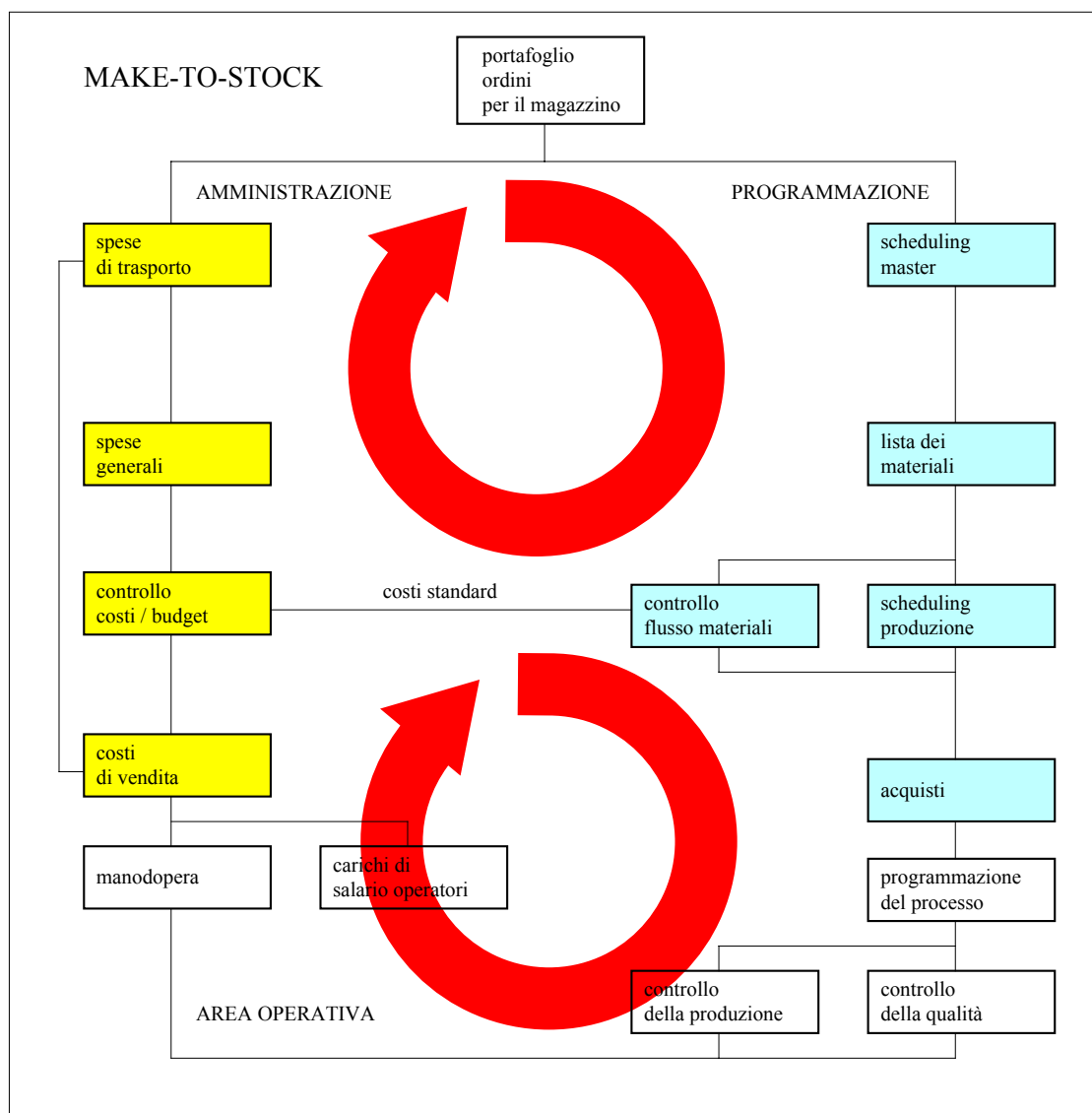


fig. 1.7. b) Schema di processo di produzione secondo il principio del make-to-stock.

In produzione, pochissime attività sono orientate agli ordinativi dei clienti, piuttosto l'obiettivo è la giusta gestione del magazzino, che, quindi, costituisce una rottura di carico. Perciò, ad eccezione dei ritorni di prodotto, in teoria sarebbe impossibile identificare il legame tra prodotto e cliente. In realtà questa identificazione è oggi richiesta proprio dalle regole della gestione e della garanzia della qualità, anzi, sono le norme internazionali sul commercio ad imporre la garanzia dei livelli della qualità (principio della rintracciabilità).

Il ciclo di produzione secondo lo schema make-to-stock inizia quando il *produttore*, non il cliente, specifica il prodotto da costruire. Il cliente prenderà il prodotto dal magazzino se il prezzo è accettabile, la qualità è buona ed il prodotto è pronto. In maniera ragionevolmente indipendente dal flusso reale degli ordini, il processo produttivo tende a saturare il magazzino. In qualche particolare momento si potrà verificare una certa correlazione tra ordinativi e produzione, ma, in generale la produzione lavora per gli ordini futuri, non per quelli correnti. La separazione tra il ciclo degli ordini e quello della produzione è rappresentato in fig. 1.7b. Invece, in fig. 1.7a si osserva che un tale feno-

1. Il Sistema Produttivo

meno non si verifica nel processo make-to-order, poiché, in quel caso, il ciclo produttivo parte quando si riceve l'ordine.

Nella situazione make-to-stock, le misure chiave della prestazione del processo produttivo sono i parametri di produzione (flusso dei materiali e quantità prodotta) ed il **servizio al cliente**. Esse comprendono la rotazione dei materiali, il grado di utilizzazione della capacità produttiva, l'impiego di straordinari e la frazione di ordini evasi direttamente da magazzino. L'obiettivo della produzione è di raggiungere il voluto servizio al cliente al minimo costo.

1.2.2.2.3. Confronto tra Make-to-Order e Make-to-Stock.

In definitiva, il processo make-to-order è orientato ad ottimizzare i tempi di consegna ed il flusso degli ordinativi, cioè il processo produttivo deve essere flessibile in modo da soddisfare gli ordini del cliente. Invece, il processo make-to-stock tende alla saturazione del magazzino e massimizza l'efficienza della produzione attraverso la costruzione di soli prodotti standard. La differenza tra le due situazioni è meglio rappresentata in tab. 1.IV.

tab. 1.IV. Confronto tra processo make-to-stock e make-to-order.

Caratteristiche	make-to-stock	make-to-order
PRODOTTO	specificato dal costruttore	specificato dal cliente
	bassa gamma	alta varietà
	non costoso	costoso
OBIETTIVI	bilanciamento del magazzino	tempi di consegna
	quantità prodotta/capacità produttiva	capacità produttiva
PRINCIPALI PROBLEMI DI PRODUZIONE	previsione ordinativi	tempi di consegna promessi
	programmazione della produzione	tempi di consegna reali
	controllo del magazzino	

Esempio

Esempi classici di make-to-stock e di make-to-order sono la catena di fast-food McDonald e quella Burger-King.

Gli hamburger della McDonald sono, in molti casi, prodotti secondo il make-to-stock, cioè, quando la domanda è stabile, la McDonald produce per la vetrina i vari tipi di hamburger. In questo modo, il processo produttivo tende a prevedere la domanda ed a produrre per il magazzino (vetrina).

Invece, per la Burger-King lo slogan è *ordinalo come lo vuoi*. I clienti possono specificare gli ingredienti con i quali vogliono sia fatto l'hamburger e quelli che non vogliono. In questo caso, l'ordinativo non può essere esattamente previsto e messo nello stock e la misura della prestazione del servizio si sposta sul tempo di attesa del cliente: la Burger-King lavora secondo lo schema make-to-order.

1.2.3. Impianti di Servizio.

Come detto, si tratta degli impianti complementari inseriti negli impianti industriali, ma non direttamente partecipanti alla produzione, invece finalizzati ad uno dei seguenti scopi:

- alimentazione di energia termica ed elettrica agli impianti tecnologici;
- alimentazione e scarico di materiali solidi e di fluidi vari;
- realizzazione di condizioni ambientali idonee alla produzione o conservazione dei beni e ad assicurare il benessere fisiologico dei lavoratori;
- realizzazione di condizioni di igiene e sicurezza, sia all'interno dell'impianto, sia nei confronti dell'ambiente esterno.

CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI DI SERVIZIO	a	entità servita	mezzi produttivi persone addette
	b	tipo di servizio	di alimentazione o centrifugo di scarico o centripeto
	c	funzione svolta	produzione e distribuzione di energia controllo condizioni ambiente di lavoro trasporto di materiali solidi e liquidi interazione impianto - ambiente esterno

fig. 1.8. Classificazione degli Impianti di Servizio

Gli impianti di servizio sono presenti in tutti gli ambienti industriali e la loro concezione e struttura sono del tutto generali ed indipendenti dalla particolare tecnologia produttiva presente. Come mostrato in fig. 1.8, essi possono essere classificati sotto tre aspetti:

1. *l'entità servita*, in quanto si distinguono gli impianti di servizio per i mezzi produttivi, da quelli destinati alle persone;
2. *il tipo di servizio*, in quanto si possono distinguere gli impianti di servizio di alimentazione o centrifughi da quelli di scarico o centripeti:
 - nei primi il servizio prodotto da un'unità centrale viene distribuito ai punti di utilizzazione (ad esempio l'energia elettrica, l'acqua industriale, il vapore, ecc.);
 - nei secondi l'oggetto del servizio viene raccolto dalle utenze e convogliato ad un centro di raccolta (ad esempio gli effluenti liquidi, gli sfridi ed i materiali di rifiuto). Talvolta le quantità in gioco sono notevoli; ad esempio, trattando le presse, la quantità di rottame di sfrido può arrivare al 25% del materiale in ingresso;
3. *la funzione svolta*, in quanto gli impianti di servizio possono essere distinti in:
 - servizi per la produzione e la distribuzione dell'energia (elettrica, pneumatica, termica, ecc.),
 - servizi di controllo delle condizioni ambientali di lavoro (riscaldamento, condizionamento, illuminazione, ecc.),
 - servizio di trasporto di materiali solidi e fluidi,
 - interazione impianto – ambiente esterno (trattamento di effluenti, approvvigionamento e trattamento di acqua industriale, sicurezza, ecc.).

Un'altra classificazione degli impianti di servizio può essere fatta distinguendoli in servizi che debbono essere prodotti esclusivamente **in proprio** e quelli che possono essere **integrati** con acquisti esterni. Generalmente, i primi devono essere proporzionati alla massima richiesta probabile che si desidera soddisfare per far funzionare l'impianto

industriale. Invece, conviene che i servizi anche acquistabili all'esterno, come ad esempio il servizio di produzione dell'energia elettrica, vengano dimensionati per un opportuno valore medio della domanda, prevedendo di sopperire alle punte con acquisti dall'esterno, generalmente a costi unitari meno vantaggiosi. In questo modo viene resa più economica la vita dell'impianto in condizioni di marcia ridotta, grazie alla minore incidenza dei costi fissi di investimento in questi servizi.

Fra gli altri servizi essenziali in esercizio ai fini della produzione, si hanno:

- il servizio Manutenzione, che assicura l'efficiente funzionamento di tutte le macchine di produzione e degli stessi impianti di servizio, provvedendo a riparare i guasti e ricorrendo sempre più frequentemente alla manutenzione preventiva,
- il servizio di controllo della Qualità, che assicura la rispondenza dei prodotti alle norme di qualità prescritte dal compratore,
- il servizio di preparazione e controllo della produzione, che ha il compito di programmare, preparare e lanciare le lavorazioni, controllandone poi la rispondenza ai limiti di tempo prestabiliti.

1.3. PROBLEMI FONDAMENTALI DI TUTTI GLI IMPIANTI

Come si è visto, il corpo degli Impianti Industriali può essere enormemente diverso e differenziato da caso a caso. Tuttavia, se esaminiamo quali sono i problemi di progettazione, costruzione ed esercizio di un qualunque impianto produttivo, ci rendiamo conto che, in generale, per i tecnici si tratta essenzialmente di dover analizzare, scegliere e definire le caratteristiche, le modalità di realizzazione e l'utilizzazione di elementi fondamentali comuni, quali i seguenti:

1. risorse umane,
2. macchine di produzione e servizio,
3. materiali,
4. posizione relativa dei posti di lavoro e delle macchine di produzione e di servizio,
5. depositi e magazzini,
6. fabbricati,
7. ubicazione dell'impianto,
8. possibili ampliamenti futuri ed altre modifiche dell'impianto stesso.

Sono questi i problemi che, durante le fasi di progettazione e realizzazione dell'impianto, vengono a costituire nel loro complesso il cosiddetto problema del lay-out, intendendo con tale termine la rappresentazione sintetica di un sistema impiantistico definito da 3 parametri fondamentali: *uomini*, *macchine* e *materiali*. Agendo come cause in un certo spazio e tempo, questi parametri *producono* come effetto il quarto parametro fondamentale, il *profitto*. In termini anglosassoni, il problema del lay-out può essere messo come lo slogan delle **4 M**: Man, Machinery, Materials, Money.

1.3.1. Il Principio Economico

La più sintetica espressione di un generico bilancio economico annuale di qualunque impianto è la seguente:

$$Fa - Ca = Ua$$

dove: **Fa** rappresenta il fatturato annuo, **Ca** l'ammontare totale dei costi ed **Ua** l'utile.

I costi sono divisibili in varie componenti delle quali interessa qui mettere in luce solo **C₁**, cioè i costi proporzionali all'investimento (costi fissi per l'esercizio), e **C₂**, cioè i costi proporzionali al volume della produzione ed influenzati dai consumi specifici di materiali, energia, manodopera, ecc. (costi variabili). Il costo totale annuo di esercizio è allora dato da:

$$Ca = C_1 + C_2 + C_3$$

dove **C₃** rappresenta gli altri costi (fissi) non considerati in **C₁**. L'esperienza insegna che **C₁** e **C₂** sono tra loro correlati, generalmente in modo tale che, crescendo **C₁**, diminuisce **C₂** e viceversa. Infatti, appare evidente che, dedicando più risorse e più efficienza agli investimenti, si possono ottenere risultati di esercizio più brillanti, con minori costi variabili.

Le decisioni tecniche dell'impiantista influiscono sempre direttamente su **C₁**, determinando il volume ed il tipo di risorse costose da dedicare all'impianto: le conseguenze di esercizio sono solo indirette e si quantificano in **C₂**. Appare allora evidente che l'equazione fondamentale di ogni impianto, che è soprattutto un sistema tecnico-

economico, è la seguente, che va riferita a tutta la vita prevista dell'impianto, cioè N anni:

$$\sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot [F_n - (C_{1n} + C_{2n} + C_{3n})] = U \quad (1.2)$$

dove: α_n è il fattore di attualizzazione per l'anno n al tasso i , ed F_n , C_{1n} , C_{2n} e C_{3n} sono fatturato e costi per l'anno n , ed U è l'utile complessivo attualizzato.

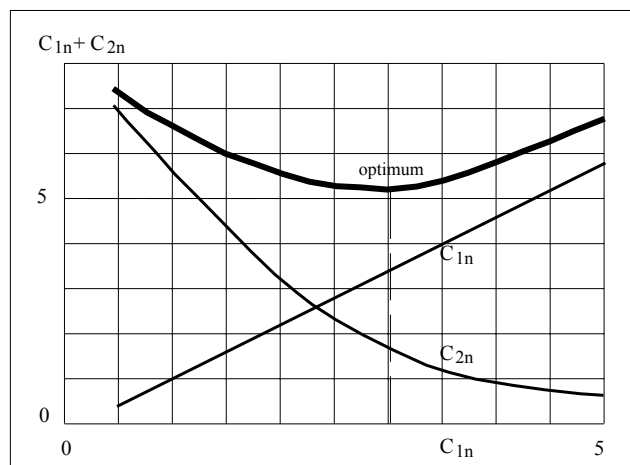


fig. 1.9. Metodo di ottimizzazione dei costi di gestione annuali.

In questa equazione sono correlate le decisioni tecniche che influenzano i valori di C_{1n} , ed i risultati economici sintetizzati nell'utile U . Per la forma generale della correlazione tra C_{1n} e C_{2n} accade che la funzione:

$$f(C_{1n}) = (C_{1n} + C_{2n})$$

relativa all'anno n , ha l'andamento del diagramma di fig. 1.1. Cioè, si ha un valore C_{1n} cui corrisponde un minimo di $C_{1n} + C_{2n}$ e quindi, supposto C_{3n} costante, un massimo dell'utile dell'anno considerato. Naturalmente interessa, attraverso opportune decisioni tecniche, massimizzare l'utile complessivo U .

A questo punto giova sottolineare che, avendo l'impianto come fine ultimo il vantaggio od il bene dell'uomo, non va dimenticato che l'aspetto economico, anche se non importantissimo, non è tutto. Qualunque decisione e scelta, presa alla luce del freddo principio economico esposto, deve essere verificata nei confronti di altri fattori aventi portata morale, giuridica e sociale. In caso contrario, si corre il rischio di cadere nel deprecabile errore di utilizzare immoralmente le risorse umane. Sull'argomento basta pensare alla dose di discriminazione che può essere dietro all'impiego di immigrati per lo svolgimento di lavori non graditi ai cittadini italiani. Ovviamente, affinché l'impianto risulti effettivamente a vantaggio dell'uomo, occorre che il fine economico non sia in contrasto con le esigenze di natura morale, sociale e giuridica dette. Perciò, il primo principio generale degli Impianti Industriali è quello economico:

tutti gli impianti si progettano, si realizzano e si gestiscono dosando opportunamente l'impiego di risorse da investire, con lo scopo di ottimizzare il bilancio economico di esercizio, per tutta la vita prevista per l'impianto, con i soli vincoli dettati dalle esigenze morali, sociali e giuridiche.

1.3.2. Il Principio del Traffico

Come già detto, per il fatto di aver riunito in un sistema le risorse dell'uomo e delle macchine che elaborano i materiali utilizzando i vari servizi, si presuppone che parte o tutti e tre i fattori (manodopera, materiali e macchinario) siano in movimento per entrare in contatto relativo, oppure in un rapporto di lavoro al fine di realizzare la produzione. La produzione, intesa in senso elementare, avviene nel modo seguente:

1. le macchine vengono messe in condizioni di funzionamento, fornendole dei servizi vitali,
2. uno o più uomini assumono il controllo delle macchine,
3. i materiali vengono trasformati dalle macchine.

In ogni impianto produttivo coesistono molti uomini, molte macchine e molti materiali da far entrare in reciproco rapporto di lavoro mediante movimenti relativi e trasporti. Il fatto che i servizi vitali da fornire alle diverse macchine hanno generalmente molti aspetti in comune giustifica la creazione di reti di servizio di impianto. Così, trattando dei servizi di alimentazione, essi presentano generalmente un centro di origine comune, collegato alle varie macchine per mezzo di sistemi di trasporto, quali le reti elettriche, di distribuzione dell'aria compressa, del vapore, ecc.

Tuttavia, il funzionamento del sistema impiantistico è coerente solo se è diretto da uno o più cervelli organizzati. Per realizzare questo coordinamento, che è la premessa per un funzionamento razionale, si fanno confluire ai cervelli le informazioni su ciò che succede nella marcia dell'impianto: da qui tornano poi ai centri di azione le decisioni congruenti su ciò che occorre fare per realizzare, in esercizio, la politica decisa per l'impianto stesso.

Pertanto, la vita dell'impianto è essenzialmente caratterizzata da un flusso continuo di materiali, uomini, macchine e servizi che entrano in contatto reciproco realizzando la produzione. Tutti questi movimenti sono diretti da un flusso di ordini che scaturiscono da un opposto movimento delle informazioni. Affinché la politica dell'impianto si sviluppi in accordo col principio economico enunciato, una delle condizioni è che la sistemazione della rete di tutti i trasporti ed il suo esercizio avvengano col massimo di economicità e cioè col minimo consumo delle risorse impiegate per tutti i trasporti. Quindi, nascono problemi di:

1. distanze da minimizzare,
2. velocità da massimizzare,
3. impegni e fabbisogni (tempi, risorse, ecc.) su tutto il percorso di trasporto, da minimizzare.

Quanto maggiore è il numero di attività che interagiscono, nel senso che una serve od è servita dall'altra, e tanto più sorgono problemi di coordinamento nel tempo tra servente-servito, che suscitano a loro volta problemi di accumulo e di fermata di attesa. Ne derivano influenze sull'economia di esercizio, dovute alla necessità di prevedere ragazzini, depositi, ecc. ed alle conseguenti modificazioni di produttività dell'impianto.

Tuttavia, in generale accade che i problemi di traffico, di ingorgo e di reale utilizzazione delle risorse possono essere risolti tanto meglio quanto più intenso è il flusso di informazioni che si dirigono verso il centro di coordinamento. Risparmi nell'investimento di risorse per trasporti fisici e diminuzioni dei loro impegni, possono essere raggiunti solamente grazie ad un maggior impegno di altre risorse che consentano lo svolgimento delle attività di informazione e decisione, quali i mezzi di acquisizione dei dati, i canali di trasmissione, gli elaboratori in tempo reale, gli anelli di regolazione automatica, ecc. In questo modo possono essere regolati i flussi di lavorazioni, programmando

lavorazioni opportune in certe zone, nell'ambito di una visione integrata dell'impianto, così da ridurre al minimo i tempi di mancata utilizzazione dell'impianto per inattività delle macchine e dei reparti, ed anche di minimizzare le dimensioni dei depositi e magazzini di materiali e servizi che si accumulano in code di attesa.

Per lo studio dei problemi di traffico sono disponibili oggi metodi di simulazione, o sulla teoria delle code, che permettono di affrontare e risolvere in modo razionale questi problemi, quantificando anche economicamente le conseguenze della soluzione di impianto o della politica di esercizio, sia dal punto di vista dell'impegno delle risorse per realizzare i trasporti, sia da quello delle interferenze che nascono per i problemi di coordinamento tra servente e servito. Qui la minimizzazione dei costi è ottenuta solitamente attraverso una ricerca caso per caso e per lo più con verifiche analitiche o numeriche su soluzioni impostate sinteticamente. Quanto detto ci porta ad enunciare che il secondo principio generale degli Impianti Industriali è del traffico:

tutti gli impianti sono caratterizzati da flussi di materiali, macchine manodopera e servizi, nonché informazioni ed ordinativi. Questi flussi devono essere studiati tenendo conto di tutti i fenomeni di ingorgo del traffico che si verificano in esercizio e che possono derivare dalla variabilità dei flussi che si incrociano nelle stazioni di lavoro.

2. LO STUDIO DI FATTIBILITÀ

La progettazione degli impianti industriali si articola nelle parti di fig. 2.1:

- adozione dei criteri di **scelta dell'impianto** (studio di fattibilità). La scelta di una nuova unità operativa si compone delle seguenti fasi:
 - a. scelta (tramite ricerca di mercato) e studio del **prodotto P** (*product design*);
 - b. scelta del ciclo produttivo **C** e definizione qualitativa del **diagramma di lavorazione** (*process design*);
 - c. definizione dei **servizi S** (impianti ausiliari) necessari al funzionamento dell'impianto di produzione;
 - d. scelta della **potenzialità produttiva Q ottimale**, sulla base del confronto tra i costi previsti di produzione ed i prezzi di vendita, e valutazione della redditività economica dell'investimento impiantistico in oggetto.

In genere, la fase **a.** è affidata da un lato ad un gruppo di economisti esperti di ricerche di mercato, e dall'altro ad un gruppo di tecnici progettisti. La fase **b.** è affidata ad uno o più esperti di tecnologie industriali. Invece, le fasi **c.** e **d.** sono più propriamente di competenza degli esperti impiantisti, cui è affidato il progetto dell'intero impianto di produzione.

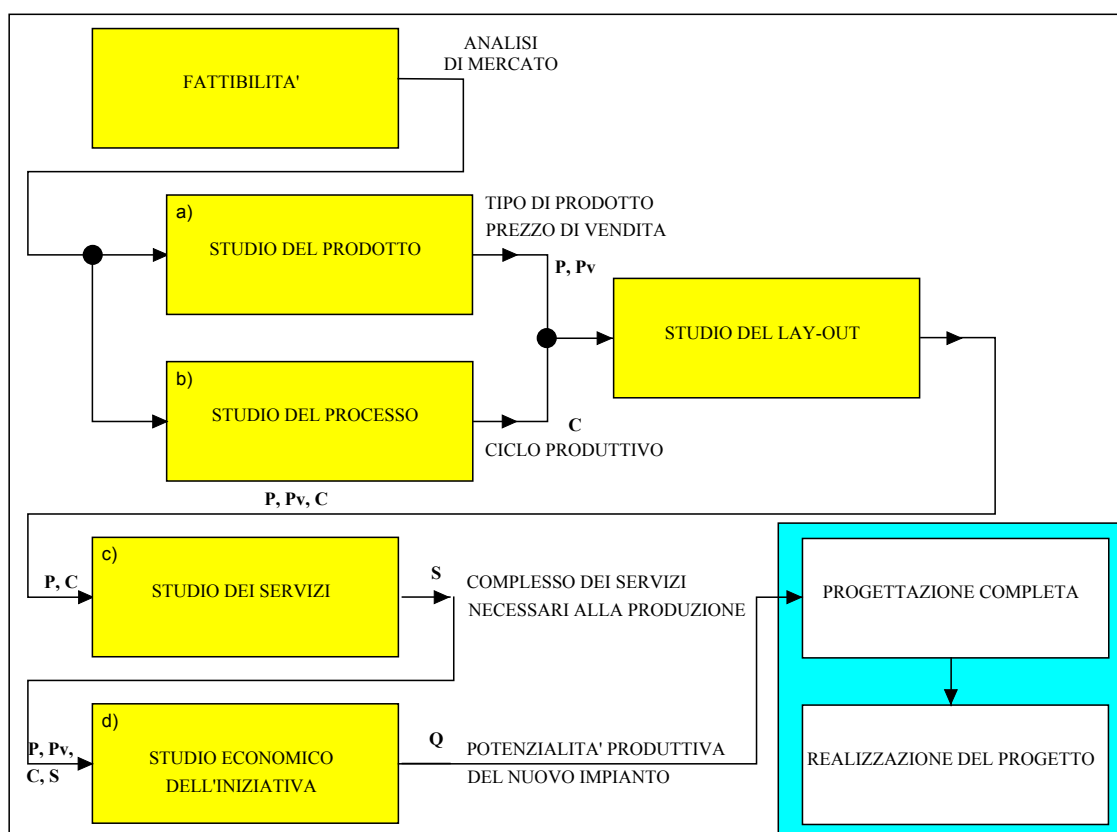


fig. 2.1. Schema della realizzazione di un impianto di produzione ed esplosione della fase dello Studio di Fattibilità.

- **progettazione completa dell'impianto.** Noti **P**, **C**, **S** e **Q** dallo studio di fattibilità ed avuta una risposta positiva sulla validità economica dell'iniziativa, si passa alla pro-

2. Lo Studio di Fattibilità

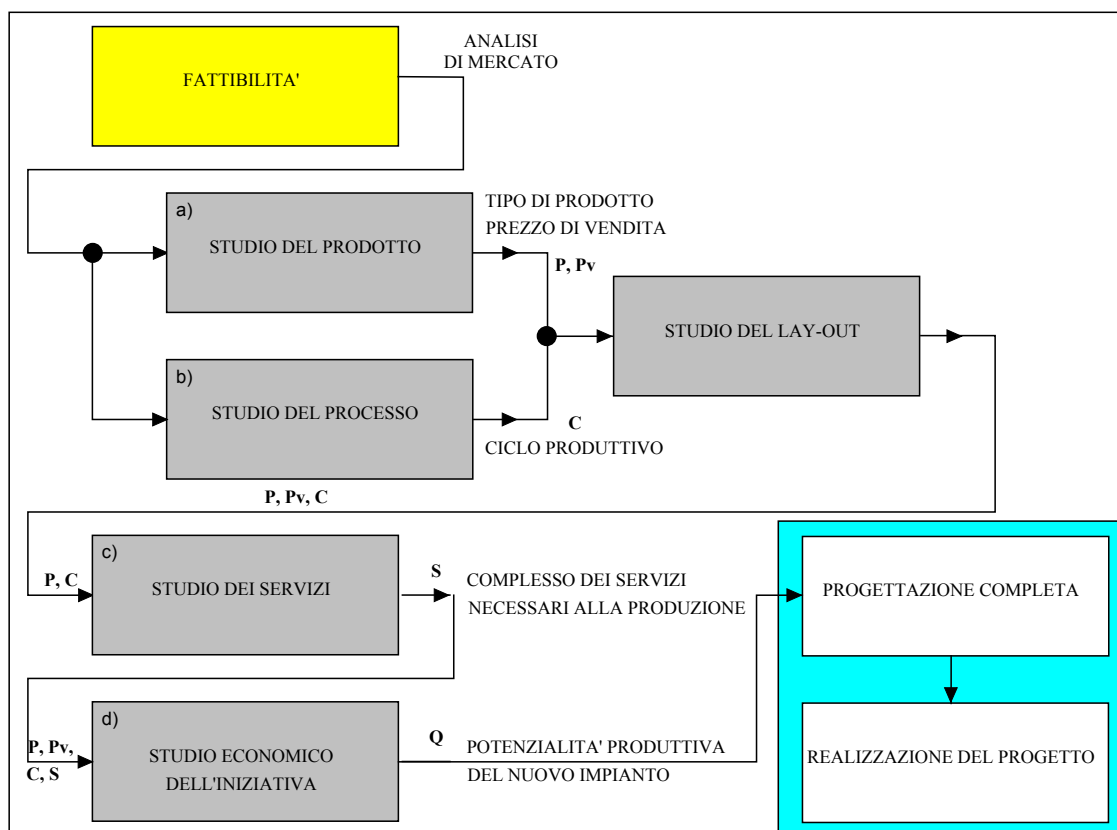
gettazione ed alla realizzazione della nuova unità produttiva, che si articola nelle seguenti fasi:

1. scelta dell'ubicazione;
2. studio della disposizione planimetrica dell'impianto, cioè del layout generale, che a sua volta comprende:
 - la definizione del ciclo di lavorazione, con la stesura dei diagrammi tecnologici quantitativi e dei diagrammi di flusso dei materiali;
 - l'analisi dei rapporti tra le attività di servizio e relativo diagramma;
 - scelta del tipo e numero delle macchine, attrezzature ed apparecchiature di produzione;
 - definizione delle esigenze di spazio e confronto con le disponibilità;
 - stesura ed analisi del diagramma delle relazioni tra gli spazi ed utilizzazione in parallelo di modelli analitici e numerici per la simulazione del layout;
 - considerazioni di modifica e considerazioni pratiche;
 - formulazione di alternative di layout, anche con l'ausilio di programmi di calcolo e criteri di scelta del layout ottimale;
3. progetto del layout dettagliato;
4. progettazione esecutiva.

► **realizzazione del progetto.** Essa comprende:

- tempi e metodi di realizzazione ed installazione dell'impianto, con applicazione di tecniche reticolari,
- sviluppo e controllo delle fasi di realizzazione.

2.1. L'ANALISI DEL MERCATO.



Il mercato è *l'insieme dei venditori e dei potenziali acquirenti, il cui comportamento si riflette sulla domanda del prodotto offerto dall'impresa*, ma questa definizione presuppone sempre un'operazione arbitraria per incertezze sia di natura geografica, sia merceologica. Allargando il territorio in cui operano venditori ed acquirenti, possono cambiare le caratteristiche del mercato di un certo prodotto. Così, si possono avere sulla domanda di beni di consumo immediato (ad esempio prodotti tessili) riflessi di variazione del mercato esercitati dall'offerta di beni di consumo durevoli (ad esempio elettrodomestici), od anche solo dei sistemi di vendita (ad esempio, a rate).

Secondo questa definizione, il mercato è il gruppo di persone che variano continuamente, piuttosto che un luogo od una istituzione sociale identificabile. Nel mercato del carbone troviamo gli industriali del settore minerario e quelli dell'acciaio, le compagnie elettriche, i commercianti di carbone, ecc. Tutti costoro restano influenzati e possono cambiare in funzione del prezzo del carbone che trattano e, con le loro stesse azioni, complessivamente esercitano un'influenza sul prezzo.

Per l'impresa, nascono **rischi** perché non è possibile negoziare contemporaneamente la vendita delle merci e l'acquisto di tutti i fattori occorrenti per produrle, compreso l'impianto, quindi tutti i lead-time li fanno aumentare. Infatti, si hanno **rischi di mercato** quando si fanno investimenti per l'acquisto dei fattori di produzione (o magari dell'intero impianto), si produce un certo prodotto, ma non esiste la certezza per quanto riguarda la vendita di quel prodotto e quindi il profitto conseguibile nel momento in cui esso è disponibile. Poi, si hanno **rischi di esercizio** quando si vende un prodotto non ancora costruito e non c'è certezza della praticabilità dei prezzi di acquisto dei fattori di produzione occorrenti ed il livello di produttività raggiungibile dall'impresa.

Pertanto, l'investimento in un nuovo impianto comporta sempre rischi di mercato, ma investimenti in altri fattori di produzione (materie prime, ecc.) comportano rischi di mercato nel caso di produzione a magazzino, e rischi di esercizio nel caso di produzione su commessa. Come sappiamo, la produzione a magazzino si ha quando la vendita dei prodotti è effettuata dopo che i processi di produzione sono giunti a termine, mentre la produzione su commessa si ha quando la vendita è effettuata prima che sia iniziato il processo produttivo. Ovviamente, esistono tutti i casi intermedi di produzione in parte per il magazzino ed in parte su commessa, con corrispondenti rischi di mercato e di esercizio.

Dai rischi di mercato l'azienda può coprirsi ottenendo dalle imprese di distribuzione l'impegno di assorbire il prodotto a condizioni prefissate. Invece, dai rischi di esercizio l'azienda può garantirsi con clausole di revisione del prezzo di vendita in modo da proporzionare il futuro ricavo all'andamento dei costi, oppure con acquisti a consegna differita e prezzo bloccato dei fattori occorrenti all'esecuzione del processo, ma tale ultima copertura è difficile da ottenere. Quindi, la più importante forma di copertura dai rischi considerati è costituita dalla riduzione del lead-time, dopo l'esecuzione di efficienti ricerche di mercato con riferimento ai *fattori di produzione*, ma soprattutto ai *prodotti* da collocare sul mercato.

Obiettivo finale delle ricerche di mercato è dunque di fornire un'affidabile *previsione delle vendite dei prodotti*. Tale volume delle vendite aziendali dipende da due elementi principali:

1. fenomeni di mercato (reddito della comunità e sua distribuzione, livello di occupazione, preferenze e mode, azione dello Stato, ecc.);
2. iniziative dell'impresa (variazioni di prezzo, pubblicità, variazioni delle condizioni di vendita, ecc.).

In pratica possiamo distinguere una **domanda di mercato del prodotto** che, a parità di condizioni di offerta dell'impresa, varia in dipendenza dei fenomeni di mercato. Corrispondentemente, possiamo distinguere un **volume delle vendite aziendali** che, posto un certo andamento della domanda, varia in funzione delle scelte ed iniziative dell'azienda. Perciò, la previsione delle vendite aziendali si articola in due fasi distinte:

1. valutazione dei fenomeni di mercato, in base ai quali ipotizzare il futuro andamento della domanda, a parità di condizioni a cui l'azienda offre il prodotto (*analisi della domanda*);
2. valutazione della quota di tale domanda che l'azienda, in varie ipotesi, può soddisfare, manovrando gli strumenti di cui dispone (*processo di formazione del prezzo*). Tale seconda fase consiste nella valutazione comparata degli effetti economici prevedibili a partire da diverse iniziative (ad esempio sui costi), che possono essere assunte dall'impresa per collocare le merci prodotte.

Indicando con **D** la domanda di mercato di un certo prodotto, con **V** il volume delle vendite aziendali, con **F_i** i fenomeni di mercato e con **I_k** le iniziative dell'impresa, si può scrivere simbolicamente:

$$D = f(F_i, I_k) \quad V = \varphi(F_i, I_k)$$

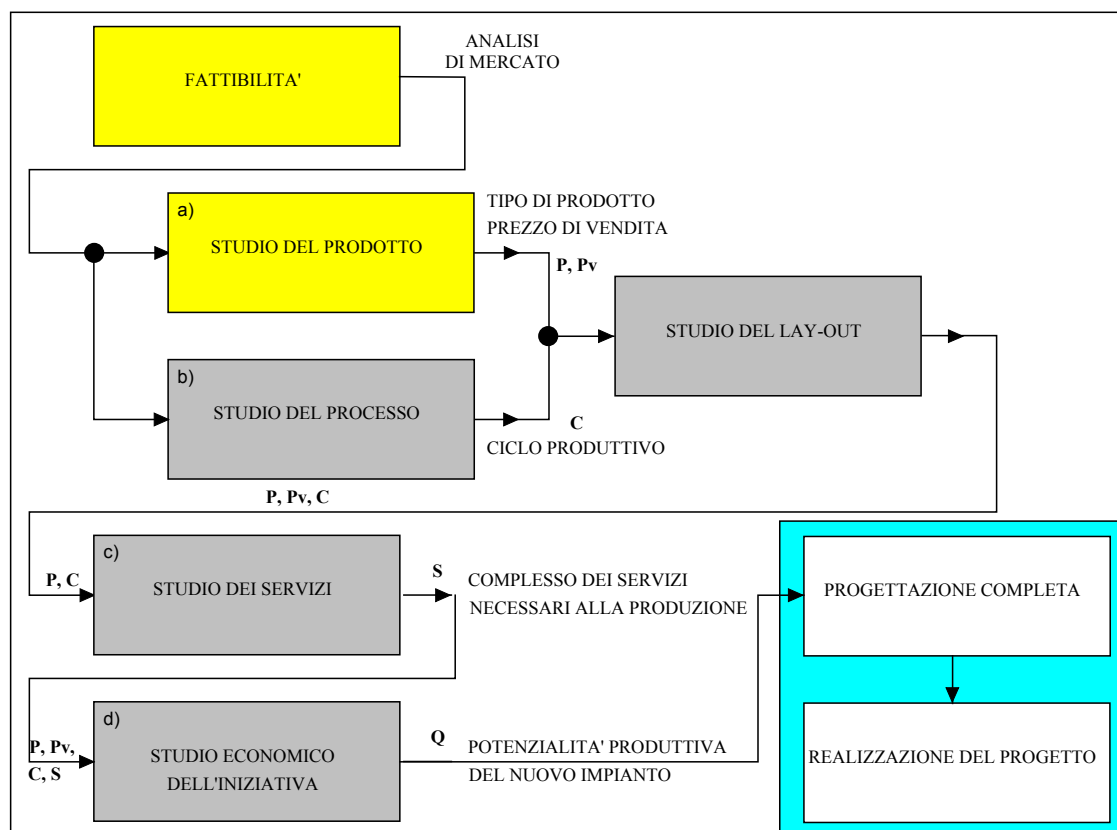
Schematicamente si può dire che nella fase **1.** di analisi della domanda si cerca di conoscere la funzione $D = f(F_i)$, con **I_k** costanti. Invece, nella fase **2.** di formazione del prezzo, si cerca di conoscere la funzione $V = \varphi(I_k)$, con **F_i** costanti ed assegnato il valore della domanda.

Le previsioni che si fanno nell'ambito delle ricerche di mercato possono essere di lungo, medio e breve periodo. Le previsioni di breve e medio periodo, oltre all'analisi della domanda, debbono comprendere anche la definizione del volume delle vendite aziendali, attraverso il processo di formazione del prezzo. Ad esempio, per periodi brevi (limitati al tempo necessario all'esecuzione di un certo programma di produzione ed al collocamento dei prodotti) ad impianto funzionante, è possibile valutare le situazioni di mercato in cui si collocano le iniziative aziendali nel campo dei prezzi, delle condizioni di vendita, di assistenza ai clienti, ecc. In questo caso si fanno previsioni per l'esercizio, come mostrato nel quadro riepilogativo di fig. 2.2. Invece, le previsioni di lungo periodo si limitano all'analisi della domanda di mercato, come ad esempio in occasione della costruzione di un nuovo impianto: si conducono *previsioni per l'impianto*.

PREVISIONI DELLA DOMANDA DI MERCATO	A BREVE TERMINE (DI ESERCIZIO) qualche mese	per PROGRAMMI DI PRODUZIONE DA IMPIANTO FUNZIONANTE durata mensile, trimestrale, ecc.	analisi di: [componente congiunturale componente stagionale
	A MEDIO TERMINE da 1 a pochi anni	LANCIO DI NUOVI PRODOTTI DA IMPIANTI ESISTENTI O MODIFICATI	[componente di trend componente congiunturale
	A LUNGO TERMINE (DI IMPIANTO) 10 - 15 anni	COSTRUZIONE DI NUOVI IMPIANTI	[possibili innovazioni tecnologiche componente di trend

fig. 2.2. Quadro riepilogativo delle previsioni della domanda di mercato e delle iniziative dell'impresa.

2.2. LO STUDIO DEL PRODOTTO.



I processi produttivi trasformano la materia prima in prodotti finiti che vengono messi a disposizione del mercato. Esiste una differenza di valore economico fra i prodotti e la materia prima da cui sono stati derivati: da essa dipende, compensati i costi di produzione, l'utile dell'azienda, che gestisce il sistema produttivo.

Poiché i prodotti sono l'output principale di ogni organizzazione industriale e costituiscono normalmente la fonte primaria di profitto, la loro scelta e progetto devono essere definiti in stretto rapporto con gli obiettivi dell'azienda. La progettazione di nuovi prodotti è cruciale per la sopravvivenza della maggior parte delle organizzazioni produttive, anche se ne esistono alcune nelle quali, nel tempo, non si effettuano sensibili modifiche di prodotto. La maggior parte delle organizzazioni rivede continuamente i progetti, anzi, nelle industrie a forte rinnovamento, si seguono approcci molto sofisticati per procedere all'introduzione di nuove scelte per il cliente.

Raramente la progettazione è l'unica responsabilità tra le funzioni operative, ma la produzione è grandemente influenzata dall'introduzione di nuovi prodotti e viceversa, poiché la produzione è la fase terminale del processo di introduzione del nuovo prodotto. Allo stesso tempo, i nuovi prodotti sono condizionati dal sistema produttivo e dalla tecnologia esistenti. Perciò, è decisivo comprendere l'interazione con la produzione del processo di progettazione del nuovo prodotto.

Le decisioni sulle caratteristiche del prodotto interessano tutte le aree delle decisioni operative, quindi le decisioni sul prodotto devono essere strettamente coordinate con la produzione, e la produzione deve essere integrata col marketing, il mercato, la strategia di prodotto, la strategia di processo, la capacità produttiva, la gestione dei materiali, la manodopera e la qualità.

Tra l'altro, la definizione del prodotto è il risultato di una strategia di mercato. Per esempio, la strategia di mercato può determinare una linea di produzione a flusso continuo per fornire una particolare fascia di clienti ed il nuovo prodotto deve saturare la linea di produzione. Perciò, la definizione del nuovo prodotto entra come input per la strategia produttiva e le conseguenti decisioni sono aggiustate in modo da coordinarsi con la strategia di nuovo prodotto. Assumendo un ruolo attivo fin dall'inizio, la produzione può ottenere il ruolo di supporto alle decisioni strategiche, come mostrato nell'esempio seguente. A volte bisogna modificare o riprogettare i prodotti per conservare risorse, ridurre i consumi di energia, migliorare la sicurezza od il controllo dell'inquinamento da parte dello stabilimento. Infatti, il processo produttivo di un certo prodotto può avere un impatto ambientale sia in ingresso, per quanto riguarda la conservazione delle risorse naturali, sia in uscita, per quanto riguarda gli scarichi industriali. Il riciclaggio può ridurre la spinta verso nuovi materiali e l'accumulo di rifiuti solidi dopo lo smaltimento.

Inoltre, la progettazione del prodotto è un prerequisito per la produzione e la previsione della capacità produttiva, cosicché le decisioni sulla progettazione sono trasmesse alla produzione come specifiche di prodotto, che ne stabiliscano le caratteristiche desiderate ed, ove rispettate, consentano il regolare procedere del processo produttivo.

Esempio

Nel 1968, N.C. Wyeth (un ingegnere della Dupont-de-Nemours) ha sviluppato una bottiglia di plastica da 2 litri, costituita da PET (polietilene tetaftalato). Questo sviluppo doveva determinare una vera rivoluzione presso i clienti, in quanto la bottiglia pesava 11 volte meno della corrispondente di vetro e consentiva di risparmiare costi di trasporto e di manipolazione dei materiali attraverso l'intera catena della distribuzione.

Inoltre, aumentava la soddisfazione del cliente, il quale trovava anch'egli più facile il trasporto, ma, soprattutto, valutava molto più sicura la manipolazione del prodotto per riguardo al pericolo di ferite derivanti dalla rottura o dall'esplosione dei contenitori. Giova ricordare che, in quell'anno, negli Stati Uniti si erano verificati 20.000 incidenti gravi derivanti dalla rottura delle bottiglie di vetro. Infine, la bottiglia di plastica era meno costosa di quella di vetro. Tuttavia, il limite del nuovo prodotto era una minore garanzia di protezione del contenuto nel tempo ed, esteticamente, un minor feeling da parte del cliente.

Nel 1977, C.K. Sewell e J.T. Pollock convincevano la dirigenza della Dorsey Co. a coinvolgere la loro Sewell Plastic Division nell'iniziativa di avviare la produzione di bottiglie di plastica PET da 2 litri. Infatti, durante il periodo precedente, la bottiglia aveva avuto l'approvazione della FDA (Food and Drug Administration) e la Cincinnati-Milacron aveva costruito un prototipo di macchina per la produzione di massa della bottiglia. C.K. Sewell decise di acquistare le macchine Cincinnati, anche se la produzione della bottiglia avveniva in due pezzi, poiché percepiva che era decisivo muoversi rapidamente per stabilire un vantaggio competitivo nei confronti dei propri formidabili concorrenti.

Uno dei concorrenti, la Continental-Group, decise di sviluppare una propria tecnologia produttiva, in grado di produrre la bottiglia in un sol pezzo. La progettazione richiese 2 anni, il che costò non poco in termini di quota del mercato, l'1.6%, in confronto al 28% della Dorsey.

La quota della Dorsey non era stata solamente il risultato di essere entrata per prima nel mercato, ma era attribuibile anche allo sforzo compiuto per modificare il progetto del prodotto in corso di produzione, in modo da ridurre il costo unitario senza compromettere la soddisfazione del cliente. Per esempio, la Dorsey ha lavorato per accumulare vantaggi riducendo ulteriormente il peso del prodotto, ma anche allargando il numero di aziende che lo utilizzavano.

2. Lo Studio di Fattibilità

In seguito, la Dorsey non ebbe altrettanto successo quando si mosse nel mercato delle bottiglie da 1 e da ½ litro. Essa entrava in un mercato di 4 M\$ di macchine da 1 litro e di 6 M\$ di macchine da ½ litro, prima di aver raggiunto la capacità di produrre ad una qualità sufficiente. Inoltre, in quel momento, il mercato delle bottiglie da 1 litro era calante ed, in quello delle bevande in bottiglie da ½ litro, le bottiglie di vetro erano più desiderabili anche economicamente, potendosi raggiungere con esse risparmi del 10÷20%, in confronto a quelle di plastica.

2.2.1. Ricerca, Sviluppo ed Ingegnerizzazione.

Molte aziende hanno in produzione una varietà di prodotti, cosa necessaria per sopravvivere nel mercato in un periodo di tempo molto esteso. Avere un mix produttivo molto ampio protegge dal decadere di brevetti, dalla comparsa sul mercato di prodotti competitivi e di nuove tecnologie di produzione.

L'attenzione costante al prodotto è dovuta al fatto che esso ha uno specifico **ciclo di vita**, in quanto la concorrenza del mercato si manifesta con la produzione di prodotti di più alta qualità e di migliori prestazioni, a parità di prezzo di quelli esistenti. Pertanto il progetto finale di un prodotto non deve essere congelato in azienda, la quale si mantiene sempre giovane, proprio grazie al continuo sviluppo di nuovi prodotti e servizi.

Perciò, la linea di un prodotto non è fissa, ma sottoposta ad un continuo cambiamento. L'azienda deve gestire ogni prodotto del proprio mix produttivo in maniera correlata agli altri prodotti, in modo che questi siano fra loro complementari, in relazione alla produzione ed alla distribuzione. Sono necessarie accurate indagini di mercato per stabilire il grado di accettabilità del prodotto da parte dei consumatori, tenendo conto che del mercato fanno parte anche le aziende concorrenti che producono e vendono prodotti simili. Le indagini di mercato permettono anche di mettere a fuoco nuove idee per lo sviluppo diversificato del prodotto ed in generale costituiscono l'interfaccia tra l'azienda ed il suo mercato, sia esistente, sia potenziale. Quindi, lo sviluppo dei nuovi e l'aggiornamento dei vecchi prodotti, come pure dei relativi processi, è vitale per la sopravvivenza di molte organizzazioni industriali.

Solitamente, lo **Sviluppo** segue una fase di **Ricerca** e si concentra sulla fattibilità economica delle applicazioni. Poi, l'**Ingegnerizzazione** perfeziona il lavoro dei gruppi di ricerca e sviluppo per conseguire utili commerciali. In tab. 2.I è riportato lo schema generale dello studio del prodotto.

L'azione coordinata di Ricerca, Sviluppo ed Ingegnerizzazione è illustrata nel modello ideale del processo di fig. 2.3. A prescindere dall'approccio organizzativo seguito per lo sviluppo di un nuovo prodotto, si devono percorrere i seguenti passi, praticamente comuni ad ogni situazione:

Creazione dell'idea. Come abbiamo visto sopra, le idee hanno origine nel mercato, dove sono analizzate le esigenze dei compratori, oppure discendono dalla Ricerca e dalla Tecnologia disponibile. Di conseguenza, l'identificazione delle esigenze del mercato può portare allo sviluppo di nuove tecnologie e di prodotti che le possono soddisfare. D'altra parte, le idee possono nascere dall'utilizzazione della tecnologia disponibile, la quale è una ricca sorgente di proposte per nuovi prodotti: basta pensare all'invenzione del nylon da parte della citata Dupont de Nemours, che ha portato allo sviluppo di un mondo di nuovi prodotti. In questa fase, è di fondamentale importanza il possesso delle conoscenze, quindi dei risultati della **Ricerca**. La Ricerca **pura** si

occupa di realizzare scoperte di base e di scoprire nuovi principi. Invece, la ricerca è **applicata**, quando è diretta alla soluzione di problemi pratici.

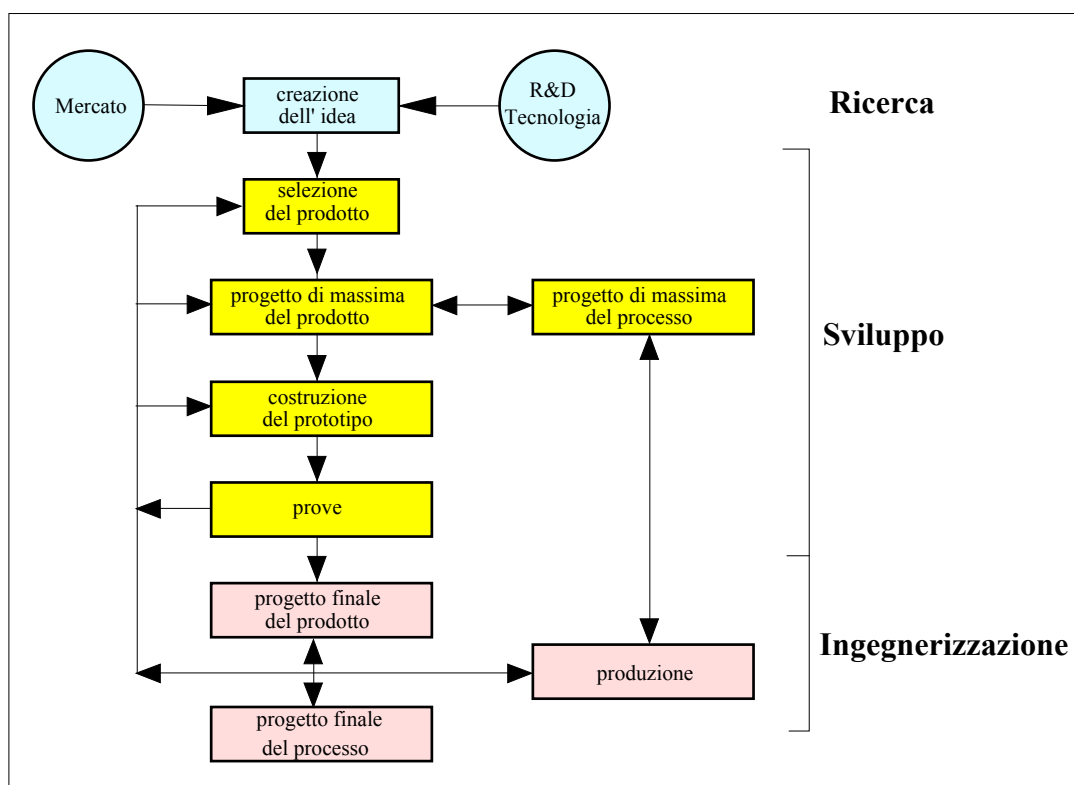


fig. 2.3. Processo di sviluppo di un nuovo prodotto.

La *Ricerca Pura* ha l'obiettivo di contribuire alla conoscenza dell'uomo sui fenomeni naturali, senza riguardo alle possibili applicazioni commerciali dei risultati conseguiti. Per questo, con poche eccezioni, la ricerca di base non viene praticata dalle organizzazioni industriali: le spese sarebbero troppo grandi e rischiose, a fronte dei risultati economici conseguibili.

Al contrario, la *Ricerca Applicata* è rivolta quasi interamente alle applicazioni pratiche ed alla soluzione dei problemi concreti. Il suo obiettivo è di permettere la progettazione di un prodotto o di un processo che abbia valore economico. Quindi, la Ricerca Applicata è più adatta alle imprese industriali e può essere suddivisa nel seguente modo:

- *ricerca sul prodotto*: si rivolge ai nuovi prodotti, ai nuovi impieghi dei prodotti esistenti ed all'utilizzazione dei sottoprodotti,
- *ricerca sul processo*: si rivolge al miglioramento del processo produttivo ed alla riduzione dei costi,
- *ricerca sui materiali*: si rivolge alla scoperta ed all'ottimizzazione dei materiali costituenti il prodotto,
- *ricerca di mercato*: cerca di prevedere i bisogni, i desideri e la propensione all'acquisto dei potenziali clienti, fornisce il grado di accettabilità dei prodotti da parte dei clienti e suggerisce nuove idee di sviluppo,
- *ricerca sulla gestione operativa*: sviluppa le tecniche ed i metodi matematici quantitativi (principalmente di Ricerca Operativa), per la soluzione dei problemi organizzativi e gestionali dell'azienda industriale.

tab. 2.I. Schema dello studio del prodotto

CICLO DI VITA DEL PRODOTTO		Introduzione Crescita Maturità Declino
RICERCA		Prodotto Processo Materiali Mercato Gestione Operativa
SVILUPPO		Prodotto Processo
INGEGNERIZZAZIONE		Prodotto Processo Impianto
STRATEGIE DI PRODOTTO		leader del mercato segui il leader orientata alle applicazioni produzione efficiente
VERIFICA DELLA FATTIBILITÀ		
PROGETTO PRELIMINARE		
PROGETTO DETTAGLIATO	Progetto funzionale	livello qualitativo del mercato selezione dei materiali affidabilità manutenibilità garanzie brevetti, copyright, marchi di fabbrica
	Progetto della forma	Funzionalità, estetica e confezionamento
	Progetto del processo	semplificazione del mix produttivo diversificazione del mix produttivo standardizzazione modularità analisi del valore
DISEGNI ESECUTIVI E SPECIFICHE		
CAD		
PROGETTO DEI SERVIZI		

Sviluppo del prodotto. Come si vede in fig. 2.3, lo sviluppo del prodotto è un processo di riprogettazioni successive, di prove e di correzione degli errori, che permette di pervenire alla definizione delle specifiche definitive del prodotto, avendo via via eliminato tutti i problemi ed introdotto tutti i possibili miglioramenti. Richiede in genere prove su prototipi, prove su impianti pilota, esperimenti di laboratorio in scala (anche ridotta), e collaudi, prima che incominci la produzione. Esso permette la misura delle prestazioni del prodotto in diverse configurazioni progettuali, con l'obiettivo di pervenire ad un progetto del prodotto che concili economicità e prestazioni. Inoltre, si combina con lo **Sviluppo del Processo**, che comprende le prove di produzione su macchine ed impianti pilota. Generalmente, in questo caso si produce una piccola quantità di prodotto (*preserie*), per studiare il comportamento del processo, scoprendone eventuali difetti ed inefficienze.

Più in dettaglio, nello **sviluppo del prodotto** si distinguono:

- 1.1. *Selezione del prodotto.* Non tutte le nuove idee possono concludersi in nuovi prodotti, in quanto essi devono superare almeno tre condizioni, il **mercato potenziale**, la **fattibilità finanziaria** e la **compatibilità con la produzione**. Lo scopo dell'analisi selettiva è di identificare le idee migliori, non quella di raggiungere la decisione conclusiva di produrre e commercializzare il prodotto. Dopo uno sviluppo iniziale, è richiesta un'analisi più approfondita di quanto non si sia fatto qui, attraverso attività rivolte sia al mercato, sia alla produzione di preserie, prima di poter arrivare alle decisioni finali. Ne deriva che la selezione del prodotto è fondamentalmente di natura soggettiva e basata su informazioni limitate. Quindi, i metodi sviluppati a supporto di questa decisione sono un pò grossolani e sono principalmente del tipo dei *check-sheet*, cioè metodi che si basano sull'elenco dei fattori che devono essere garantiti dal prodotto, i quali sono verificati attraverso un peso corrispondente alla loro importanza. Se la somma dei pesi supera un livello minimo, l'idea di nuovo prodotto viene selezionata per un ulteriore passo di sviluppo. Alternativamente, l'idea di nuovo prodotto può essere valutata attraverso un'analisi convenzionale del ritorno di investimento previsto, mediante la previsione del *cash-flow* che deriva dagli investimenti, i costi ed i ricavi che si possono prevedere dall'andamento futuro delle vendite.
- 1.2. *Progetto di massima del prodotto.* Questo stadio del processo di sviluppo del prodotto riguarda la scelta del modo migliore per mettere in pratica l'idea. Se esso viene approvato, si passa alla costruzione di uno o più prototipi da sottoporre a prove ed analisi. In questa fase, viene considerato un gran numero di relazioni tra disegno, costi, qualità e prestazioni, in modo che sia possibile valutare se il prodotto sarà competitivo sul mercato e realizzabile in produzione. Questi obiettivi del progetto sono evidentemente i più difficili da raggiungere. Mentre il risultato della selezione del prodotto è di definirne solamente le idee fondamentali, il progetto preliminare deve specificare il prodotto in maniera più completa.
- 1.3. *Costruzione del prototipo.* Essa può assumere diverse caratteristiche: quella considerata importante è che il prototipo assomigli al prodotto finale, anche se può essere eseguito semplicemente a mano. Nel campo dei servizi, il prototipo può essere il singolo sito dove il concetto di nuovo servizio può essere verificato nelle condizioni di uso reale. Così, il servizio può essere modificato per meglio soddisfare le esigenze del mercato anche nella fase di lancio del prototipo. Infine, quando il prototipo è stato testato con successo, il progetto finale può essere completato ed il servizio sviluppato sulla base di mercato prevista.
- 1.4. *Prove.* Le prove sul prototipo servono a garantire la congruenza con le esigenze del mercato e con le prestazioni volute. Un modo per provare la rispondenza alle richieste del mercato può essere quello di costruire una preserie di prototipi del nuovo prodotto da provare sul campo. La prova può durare da 6 mesi ad 1 anno, è limitata ad una regione geografica ridotta e deve fornire un numero sufficiente di dati quantitativi e di gradimento del compratore. I prototipi sono costruiti anche per fornire dati sulle prestazioni tecniche. Un esempio classico è quello degli aerei militari, i quali richiedono anche 6 evoluzioni di prototipi da provare in modo estensivo, prima che la dirigenza approvi il progetto finale. In questo caso, ad ogni campagna di prove su un prototipo, la progettazione esegue i cambiamenti richiesti e gli introduce nel prototipo successivo.

Il processo di sviluppo del nuovo prodotto appena descritto può essere considerato anche come il flusso in un setaccio, nel quale la grande quantità di idee e proposte i-

niziali viene via via ridotta alle poche che possono essere effettivamente materializzate in un prototipo ed all'unica che può entrare come prodotto nel mercato. D. Uman ha rappresentato questo processo nel diagramma di fig. 2.4, detto di *mortalità delle idee* di nuovo prodotto. Il suo studio ha dimostrato che circa 1 su 60 idee ha successo, ed in particolare, la più forte contrazione si ha nelle prime fasi, quelle antecedenti al progetto di massima. Questo è dovuto al grande peso che giustamente deve essere dato alla fase di selezione e di analisi iniziale.

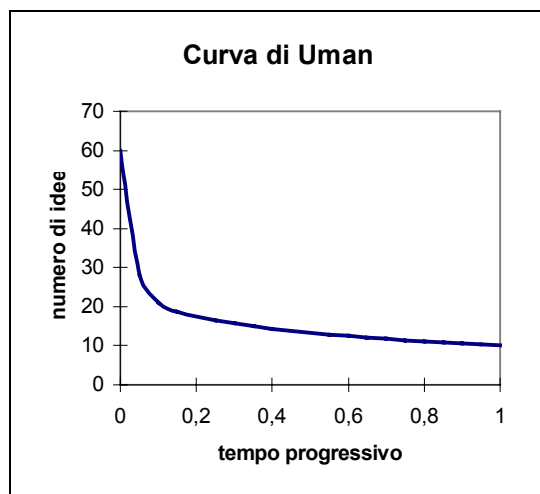


fig. 2.4. Curva di mortalità delle idee di un nuovo prodotto.

La divisione di Ricerca e Sviluppo (R&D) non solo deve stendere le specifiche per la produzione, ma deve anche preparare un'informativa che dimostri che il prodotto sia effettivamente fattibile e che, perciò, contenga i dettagli necessari della tecnologia del processo, i dati di controllo della qualità, le procedure di prova delle prestazioni del prodotto, ecc.

Si deve notare che il progetto di un nuovo prodotto deve svilupparsi con una sistematica iterazione dei passi precedenti; ad esempio, la prova del prototipo può richiedere la revisione del progetto di massima o la costruzione di un nuovo prototipo, cioè non è necessario che lo svolgimento del processo segua sequenzialmente lo schema di fig. 2.3: qualche passo può essere saltato ed altri possono essere ripetuti più volte.

Ingegnerizzazione. Anche questa fase può essere distinta ed ulteriormente suddivisa in:

- 2.1. *Ingegnerizzazione del prodotto*, durante la quale si sviluppano i disegni e le specifiche del prodotto, in particolare le specifiche devono contenere le condizioni che, se soddisfatte, consentono il normale prosieguo della produzione. In particolare, devono essere specificate le prescrizioni e le modalità di collaudo,
- 2.2. *Ingegnerizzazione del processo*, che consiste nel progetto esecutivo del processo, compresa la scelta degli utensili e delle attrezzature di produzione, dei tempi e dei metodi di lavorazione, dei sistemi di trasporto e di manipolazione (handling) dei materiali, del sistema di produzione in linea o per reparti, le prescrizioni riguardo alla gestione della qualità,
- 2.3. *Ingegnerizzazione dell'impianto*, che consiste nel progetto esecutivo dell'impianto di produzione, compresi il lay-out e l'installazione delle macchine, gli impianti di servizio (energia elettrica, vapore tecnologico, aria compressa, acqua industriale, ecc.), la manutenzione e la riparazione di tutte le attrezzature di produzione e di servizio, la sicurezza.

Il **processo produttivo** può essere organizzato in parallelo con lo sviluppo del nuovo prodotto, anzi la fig. 2.3 li mostra contemporanei. Questo implica che il progetto del processo non debba attendere che il progetto del prodotto sia completato, al contrario il progetto del processo può essere sviluppato come parte del progetto del prodotto. Se il progetto del processo fosse in cascata a quello del prodotto, potrebbe verificarsi che il prodotto risultasse troppo costoso od, addirittura, impossibile da ottenere con qualsiasi processo economicamente accettabile. Questa è una delle ragioni per cui tutto il personale è coinvolto nell'attività di progettazione fin dall'inizio, ma è anche una delle ragioni del grande impulso che si constata nell'attività di **parallelizzazione** della progettazione, mediante l'utilizzo sempre più diffuso di mezzi informatici e di comunicazione.

Se la comunicazione tra le funzioni è efficiente, anche il processo produttivo risulta programmato in modo efficace, efficiente e sufficientemente flessibile di fronte alle inevitabili modifiche future. Inoltre, un buon sistema informatico ed informativo consente di lanciare più rapidamente il prodotto in produzione (lead-time di lancio), consentendo di ottenere notevoli risparmi sui carichi finanziari legati al processo di introduzione del nuovo prodotto.

Così, la tecnologia sta influenzando radicalmente il processo di introduzione del nuovo prodotto. Il CAD (Computer-Aided-Design) ed il CAM (Computer-Aided-Manufacturing) sono gli strumenti di **base** per accelerare in modo decisivo il progetto del prodotto e per rendere il prodotto più facilmente ottenibile fin dall'inizio. Inoltre, la tecnologia informatica CAD rende la produzione più flessibile, in quanto la progettazione avviene *per oggetti*, cioè attraverso l'individuazione di *primitive* che sono comuni a più prodotti ed a più famiglie di prodotti, quali le entità geometriche di base (le superfici cilindriche, piane rettangolari, gli assi ed i punti, ecc), e che possono essere prodotte dalle macchine disponibili nell'impianto. Ciò rende più facili i cambiamenti sul prodotto (prima di costruirne altri), e di utilizzare al massimo la flessibilità del sistema produttivo per soddisfare le modifiche del gusto dei compratori. Questa tecnologia computerizzata, pur tendendo (come vedremo) a distribuirsi su tutto il processo decisionale dell'organizzazione, tuttavia non riesce spesso a superare problemi organizzativi, i quali richiedono una grande cooperazione interfunzionale per essere risolti.

2.2.2. Verifica della Fattibilità del Prodotto.

Come già visto in fig. 2.3, le decisioni sul prodotto iniziano sulla base delle indicazioni provenienti dall'analisi del mercato (che indicano le esigenze dei consumatori), e dei risultati della ricerca (anche interna), dai suggerimenti dei dipendenti, da inventori individuali, dai distributori e dai fornitori, che suggeriscono le evoluzioni del prodotto più opportune. Tutti i nuovi prodotti devono essere soggetti alla verifica della fattibilità per stabilire la loro plausibilità economica, tecnica e del processo operativo. In fig. 2.5 è riportato un analogo diagramma di flusso che specifica le varie fasi, attraverso le quali si perviene alle decisioni di prodotto. In essa, un prodotto è considerato *non accettabile* in una delle seguenti condizioni:

- non sono prevedibili utili,
- è incompatibile con altri obiettivi dell'impresa,
- richiede investimenti troppo elevati,
- richiede competenze manageriali, tecniche ed operative troppo elevate,
- offre opportunità troppo basse.

Dopo che il nuovo prodotto soddisfa le condizioni economiche, finanziarie, tecniche ed operative imposte, esso viene considerato compatibile con gli obiettivi e le risorse dell'azienda. In questa fase si fa ricorso ad uno dei metodi per la previsione della redditività dell'investimento, mediante l'analisi del rapporto costi/benefici, l'analisi marginale, la simulazione e la teoria delle decisioni.

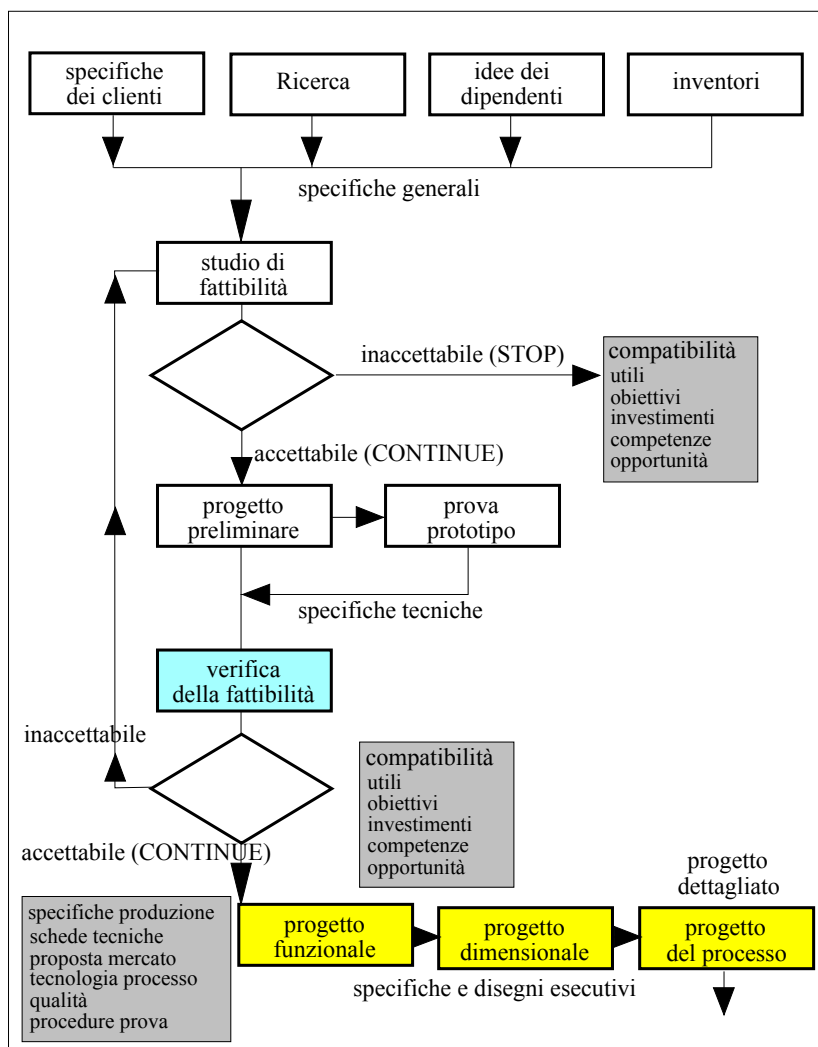


fig. 2.5. Diagramma di flusso per le decisioni di **prodotto**.

2.2.3. Progetto Funzionale del Prodotto.

Il progetto funzionale riguarda le prestazioni del prodotto. È necessario deciderne le caratteristiche tecniche con riferimento al livello qualitativo del mercato cui si intende rivolgersi, all'affidabilità ed al costo, in confronto ai prodotti concorrenti:

Livello qualitativo del mercato. Un prodotto può essere destinato a servire un segmento del mercato di alto, medio o basso livello qualitativo, e ciò si riflette sulla scelta dei materiali previsti nella produzione e nel grado di affidabilità del prodotto finale. Così, prodotti di alta qualità tendono a costare maggiormente, in confronto a quelli di livello standard. La scelta ottimale dei materiali è quella che permette di ottenere, con i minori costi di produzione, un prodotto di prestazioni pari a quelle previste nel progetto e, nel contempo, rispondente alle attese dei potenziali clienti. Ciò significa

che, da un lato non si devono scegliere i materiali meno costosi, se questi, poi, comportano elevati costi di trasformazione durante il processo; dall'altro lato, non si devono prevedere materiali troppo pregiati, rispetto agli obiettivi.

Affidabilità. La vita del prodotto è di previsione complessa, in quanto essa dipende dal suo progetto, dal livello qualitativo del processo produttivo, dalle condizioni in cui viene impiegato e dalla sorte. Spesso la scelta del prodotto dipende dalla fama di affidabilità che esso ha, in confronto ai prodotti concorrenti.

Si definisce affidabilità $R(t)$ al tempo t la probabilità cumulativa che il prodotto, che ha iniziato la sua vita al tempo $t = 0$, sia ancora funzionante al tempo t . Poiché per $t \rightarrow \infty$ risulta $R = 0$, in quanto si è certi del guasto del prodotto, l'affidabilità $R(t)$ del prodotto varia da 1 a 0, passando dal tempo nullo al tempo infinito. I tipi di guasto possono essere:

- guasto durante il **rodaggio** (mortalità infantile), che è dovuto in genere ad errori di processo (materiale difettoso, assemblaggio scorretto, fuori controllo della precisione ecc.);
- guasto **casuale**, dovuto alla sorte;
- guasto per **invecchiamento organico** o tecnico del prodotto o di una sua parte. Tale tipo di guasto, in un insieme di prodotti uguali, segue approssimativamente una distribuzione di probabilità statistica normale, da cui è possibile ricavare una vita media **MTBF** (Mean Time Before Failure) fino al guasto o tra due guasti successivi.

Eliminati tutti i guasti che si presentano durante il rodaggio attraverso la ricerca e l'eliminazione degli errori specifici del progetto, il numero degli altri guasti, cioè quelli aleatori e per invecchiamento, è tanto più ridotto quanto maggiore è l'affidabilità del prodotto e dei suoi componenti. Ciò si può ottenere in diversi modi:

- riducendo la complessità del prodotto, poiché l'affidabilità di un sistema dipende dall'affidabilità e dal numero dei suoi componenti;
- utilizzando materiali di caratteristiche più elevate;
- impiegando componenti delle parti più soggette a guasto disposti in parallelo dal punto di vista dell'affidabilità;
- attuando una corretta politica di manutenzione preventiva o predittiva.

Manutenibilità. Quando il prodotto (articolo) è un bene strumentale, esso va soggetto durante la sua vita a più cicli di funzionamento, guasto, riparazione e ripresa del funzionamento. Si definisce manutenibilità $P(t')$ al tempo t' la probabilità cumulativa che l'articolo, che si è fermato per guasto al tempo $t = 0$, sia già riparato ed in condizione di funzionare correttamente entro il tempo t' . Poiché per $t' \rightarrow \infty$ risulta $R(t')=1$, in quanto si è certi che il guasto è stato riparato, la manutenibilità di un articolo varia da 0 ad 1, passando dal tempo 0 al tempo infinito. È possibile ricavare una durata media della riparazione, che chiameremo **MTTR** (Mean Time To Repair).

Nel caso di prodotti che siano beni strumentali, ha importanza la **disponibilità A** dell'articolo:

$$A = \frac{UT}{UT + DT} \quad (2.1a)$$

in cui: **UT** (up time) è il tempo in cui l'articolo è disponibile per il funzionamento e **DT** (down time) è il tempo di fuori servizio. Mediando su più cicli guasto – riparazione, si ottiene:

2. Lo Studio di Fattibilità

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.1b)$$

Le voci che concorrono a determinare il tempo di fuori servizio **DT**, oltre al tempo per la manutenzione preventiva, sono i tempi seguenti:

1. di avviso,
2. di preparazione,
3. di localizzazione del guasto,
4. di smontaggio,
5. di ottenimento dei pezzi e dei materiali necessari,
6. di riparazione vera e propria,
7. di aggiustaggio e registrazione,
8. di riassettaggio,
9. di verifica del buon funzionamento del componente riparato,
10. di pulizia e chiusura.

Dalla (2.1b) appare evidente che gli articoli che hanno alta affidabilità e manutenibilità presentano anche elevati valori di disponibilità e, quindi, offrono vantaggi economici di gestione a chi li utilizza.

Garanzie. La protezione del compratore, la dichiarazione del livello di qualità e di affidabilità e l'assicurazione del buon funzionamento di ogni articolo commercializzato, per un periodo di tempo dichiarato, viene normalmente esercitata mediante lo strumento della garanzia. Per i sistemi complessi, l'utilizzatore ha il vincolo di seguire le regole di utilizzo dell'articolo espresse in manuali ed istruzioni di accompagnamento. A seconda del tipo di garanzia, la responsabilità assunta dal produttore può essere parziale o totale e con pagamento totale o parziale del costo di riparazione. La garanzia può applicarsi all'intero articolo o ad una sua parte, tuttavia gli aspetti della qualità e della sicurezza divengono sempre più a totale carico del costruttore.

Brevetti, copyright e marchi di fabbrica. Nell'ambito del progetto funzionale, il nuovo prodotto è protetto con un brevetto od il deposito di un marchio di fabbrica.

I **brevetti** sono depositati allo scopo di proteggere il prodotto dalle contraffazioni per un lasso di tempo regolato dalle leggi internazionali: la protezione incoraggia lo sviluppo dell'innovazione di prodotto e di processo.

Con **copyright** si intende il diritto di esclusiva di riprodurre, pubblicare e vendere materiali vari (testi, stampe, mappe, carte, disegni, ecc.) di un autore per la durata della sua vita e per i 50 anni successivi alla sua morte.

Il **marchio di fabbrica** è un simbolo usato per distinguere un prodotto da quelli concorrenti, che può essere protetto legalmente per 20 anni ed è rinnovabile. Esso è molto utile per l'identificazione del prodotto da parte del consumatore.

2.2.4. Progetto della Forma del Prodotto e dell'Imballaggio.

Tale fase del progetto riguarda l'aspetto fisico e la forma del prodotto, anche se spesso i valori estetici presenti nel prodotto hanno poco a che fare con le sue esigenze funzionali. Anche il tipo di confezionamento può aumentare l'accettabilità del prodotto da parte del mercato.

In particolare, i materiali utilizzati per il confezionamento e l'imballaggio dei prodotti devono essere da un lato di basso costo in quanto destinati allo scarto, al riciclo od alla distruzione, dall'altro lato devono avere un aspetto gradevole per contribuire al suc-

cesso del prodotto ed avere caratteristiche idonee a proteggere adeguatamente il prodotto durante l'immagazzinamento ed i trasferimenti. La selezione del materiale della confezione dipende dai seguenti fattori:

- suscettibilità di danneggiamento nelle condizioni normali di esposizione del prodotto,
- durata della permanenza del prodotto nell'imballaggio,
- ruolo promozionale dell'imballaggio,
- facilità di manomissione.

Sono materiali tipici da confezionamento la carta, il cartone, l'alluminio, il vetro, il legno, la plastica e l'acciaio opportunamente trattato.

Il progetto del prodotto termina con la stesura dei disegni esecutivi, con l'indicazione dei materiali, delle dimensioni, delle tolleranze, del grado di finitura superficiale, e con la redazione di documenti contenenti tutte le specifiche necessarie per i reparti interessati alla produzione del prodotto. Tipica è la **distinta base**, che fornisce all'Ufficio Acquisti l'indicazione dei materiali da approvvigionare e delle relative quantità. Quando il progetto del prodotto è sottoposto a modifiche, queste sono rese note a tutti i settori interessati dell'azienda, attraverso le *revisioni ufficiali dei disegni esecutivi e delle specifiche*.

2.2.5. Il Ciclo di Vita del Prodotto.

La competizione internazionale condiziona il progetto del prodotto. Precedentemente, i prodotti erano destinati ai mercati domestici, e successivamente modificati per l'esportazione. Oggi i prodotti di massa devono agire in un mercato globale fin dall'inizio: le auto, gli elettrodomestici, i prodotti elettronici, le macchine utensili, ecc. ed impianti produttivi fabbricano lo stesso prodotto in giro per il mondo, sotto la supervisione concentrata in un solo sito.

Il ciclo di vita di un prodotto viene misurato studiandone l'evoluzione delle **vendite** nel tempo. Come mostrato in fig. 2.6, esso comprende normalmente i seguenti stadi:

- introduzione,
- crescita,
- maturità,
- declino.

Generalmente, la storia commerciale del prodotto presenta una crescita iniziale delle vendite piuttosto lenta, mentre il mercato viene sensibilizzato (fase di *introduzione*). Segue un rapido aumento delle vendite quando il prodotto raggiunge il gradimento del mercato (fase di *crescita*), con incremento degli utili. Poi si verifica una graduale riduzione del ritmo di crescita, mano a mano che il mercato diventa saturo (fase di *maturità*). Qui il fatturato si stabilizza e l'utile unitario comincia a diminuire. Infine, per molti prodotti sopraggiunge la caduta della domanda, quando scompare la necessità del prodotto stesso oppure il prodotto è sostituito da altri dello stesso genere, ma più appetibili (fase di *declino*).

La durata del ciclo di vita, l'estensione temporale di ogni stadio e la forma delle curve funzione del tempo variano fortemente da un prodotto all'altro, ma il ciclo di vita di un prodotto è sempre molto simile al ciclo di vita dell'uomo, comprendendo la nascita, la crescita, la maturità ed il decesso.

Dal punto di vista commerciale, la divisione del ciclo di vita del prodotto in stadi distinti permette di studiare le caratteristiche del mercato per ogni stadio e di adottare le strategie più appropriate. Così, l'andamento del ciclo del profitto è nettamente diverso da quello del fatturato, infatti:

- durante l'**introduzione** nel mercato non si hanno profitti, a causa degli elevati costi iniziali di investimento e lo scarso fatturato dovuto alla poca conoscenza del mercato. I costi sono appesantiti anche dalla decisione di accorciare la fase di introduzione aumentando le spese di marketing, ad esempio assicurando una distribuzione più rapida su tutto il mercato;
- durante la fase di **crescita**, il flusso di cassa per unità di prodotto (profitto unitario) raggiunge il suo valore massimo e quindi comincia a calare, benché l'utile totale possa crescere ancora, in conseguenza dell'aumento del volume delle vendite. La fase di crescita può essere accelerata allargando il mercato, abbassando il prezzo dei prodotti e conducendo campagne di vendita più efficaci;
- durante l'ultima parte della fase di crescita e la prima parte del periodo di maturità, la concorrenza crescente incide sempre più profondamente sui margini di profitto. La fase di **maturità** può essere allungata radicalmente mediante miglioramenti, rinnovo del confezionamento e rivitalizzazione del prodotto. Lo scopo è di rimodellare il ciclo di vita, così da evitare il declino del prodotto. Non tutti i prodotti sono suscettibili di rivitalizzazione, ma se un prodotto può essere distinto dagli altri per un qualche *marchio di fabbrica*, allora vuol dire che esso ha trovato un *elisir* che estende la sua durata, rallentando l'evoluzione del ciclo di vita;
- alla fine, nel periodo di **declino**, la diminuzione del volume delle vendite e l'incremento dei costi di produzione riduce fino ad annullare l'utile totale e quello unitario.

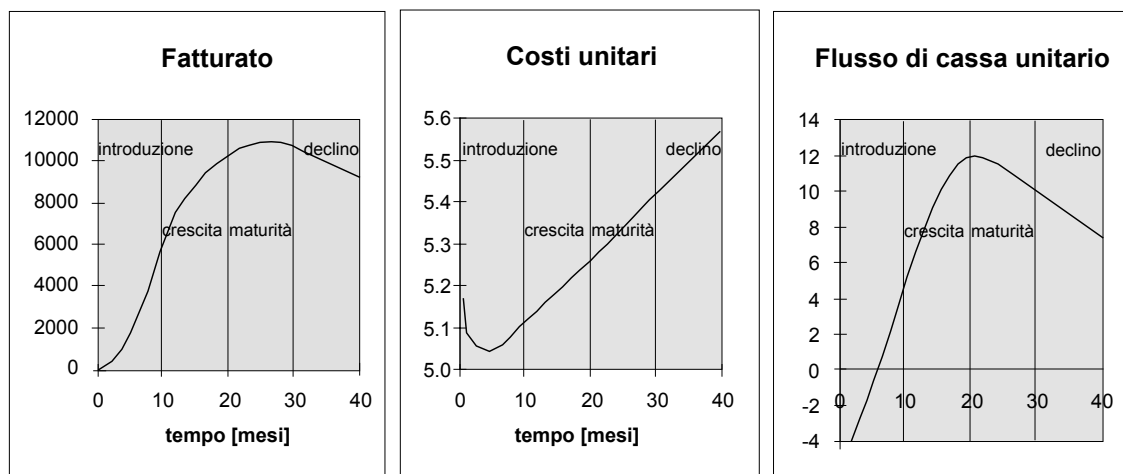


fig. 2.6. Ciclo di vita del prodotto.

È importante identificare il passaggio da uno stadio del ciclo di vita al successivo, poiché le strategie di mercato devono cambiare nel tempo. Infatti, sono importanti:

- lo sviluppo del prodotto e del suo progetto nel periodo di introduzione;
- una consolidata reputazione del prodotto, basata su una buona affidabilità nel periodo di crescita;
- la pubblicità ed il livello di servizio ai clienti durante il periodo di maturità;
- il controllo dei costi di produzione durante la fase di declino.

Inoltre, dopo il processo di sviluppo del nuovo prodotto discusso sopra, il prodotto è inviato alla produzione, dove viene ancora sviluppato e cambiato durante tutto il suo ciclo di vita: in particolare, si può attuare il **redesign** del prodotto, il quale viene qui descritto con particolare riguardo all'interazione che si ha tra prodotto e processo, secondo i tre periodi di vita attiva, come indicato in fig. 2.7:

Introduzione. La vita iniziale del prodotto è caratterizzata da frequenti cambiamenti, determinati dall'incertezza della risposta del mercato e dall'avanzamento tecnologico. In questa fase, il processo produttivo non è ancora andato a regime, è fondamentalmente a basso volume di produzione e per sua natura un pò sordo. Tipicamente, l'impianto non è ancora perfettamente orientato al prodotto e sono frequenti le operazioni eseguite con macchine universali, che sono per loro natura flessibili ed adattabili ai cambiamenti del prodotto, anzi favoriscono decisioni orientate ad ottenere elevati tassi di innovazione e di diversificazione in confronto ai prodotti concorrenti. Si può dire che sia il prodotto sia la produzione sono *fluidi* e si possono riscontrare facilmente operazioni sordinate, colli di bottiglia, e sbalzi di produzione derivanti dalla mancanza di flussi regolari dei materiali e del prodotto stesso.

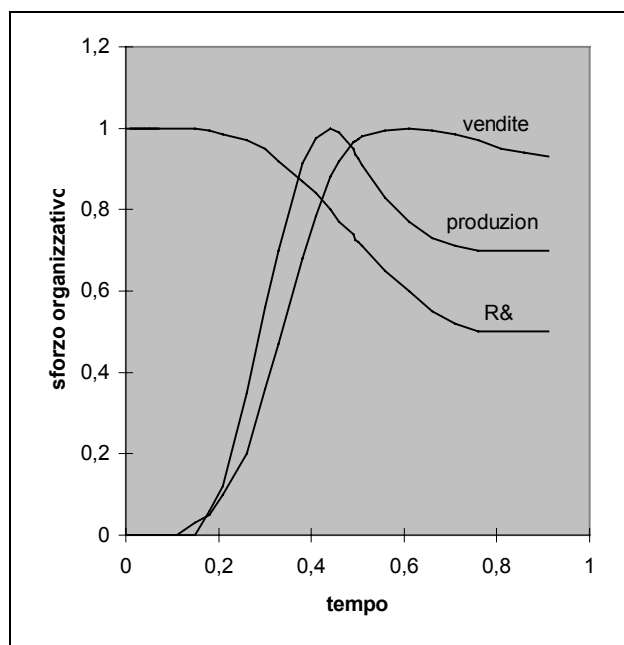


fig. 2.7. Approccio simultaneo nel ciclo di vita del Prodotto.

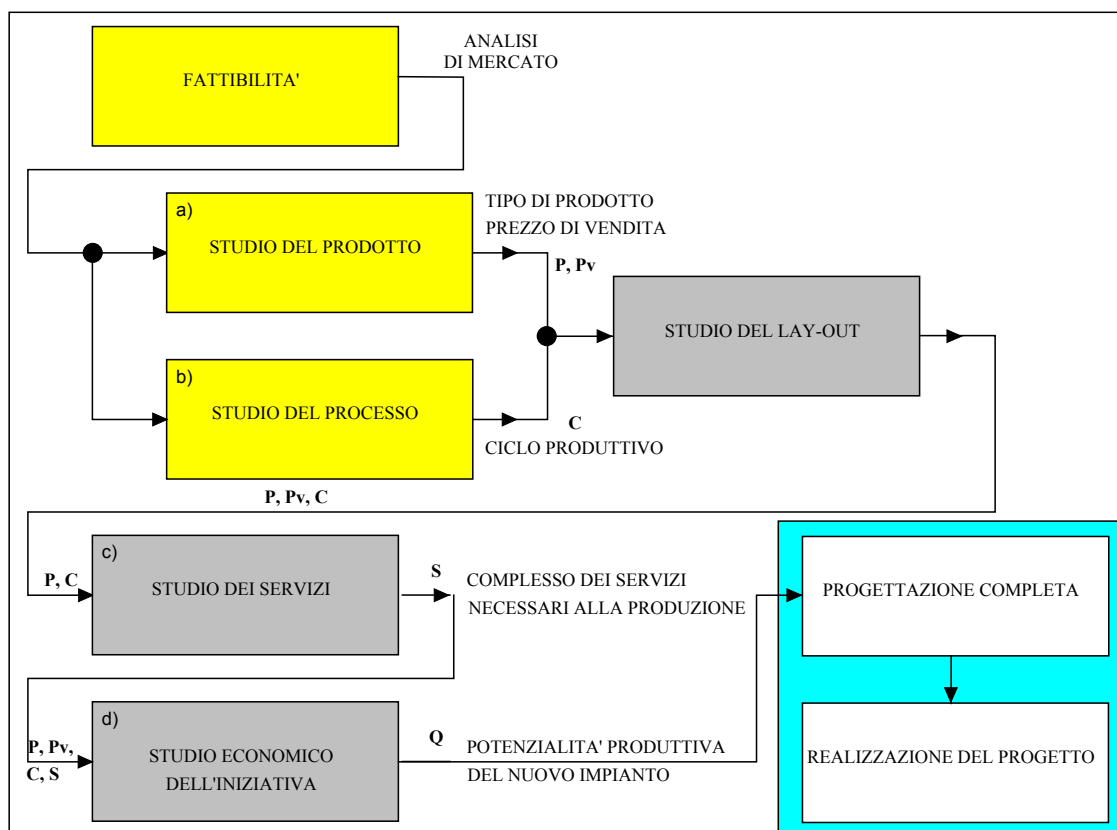
Crescita. Mano a mano che lo sviluppo ha luogo, la concorrenza sui prezzi diminuisce, in quanto i dirigenti prendono più a cuore il problema dei costi. Ne risulta che progressivamente i flussi dei materiali e del prodotto sono meglio integrati, gli obiettivi meglio identificati, l'automazione e la pianificazione ed il controllo della produzione sono più diffusi. In questo periodo si sviluppano le isole di meccanizzazione, nelle quali alcuni sottoprocessi diventano altamente automatizzati, mediante l'introduzione di impianti e macchine dedicate. Tuttavia, la meccanizzazione non può essere introdotta prima che il prodotto abbia raggiunto una posizione più matura sul mercato e non sia garantita una sufficiente stabilità delle sue caratteristiche.

Maturità. Con la raggiunta maturità del prodotto, la concorrenza diventa più intensa ed è richiesta la massima standardizzazione, la maggiore automazione, la più attenta attività di riduzione dei costi e dei tempi di consegna. Il processo produttivo diventa al-

2. Lo Studio di Fattibilità

tamente integrato ed automatizzato, dunque è praticamente impossibile, a questo livello per ragioni di costo, apportare modifiche importanti al prodotto ed al processo. Perciò, i cambiamenti diventano molto lenti, ma possono subire una forte accelerazione a causa dei cambiamenti degli input esterni, leggi e regolamenti, crisi improvvise nel mercato.

2.3. LO STUDIO DEL PROCESSO PRODUTTIVO.



Tra le più importanti decisioni dei dirigenti operativi, si devono considerare quelle relative al progetto del processo fisico di produzione di beni ed erogazione di servizi. Esse comprendono la selezione ed il progetto del processo, la scelta della tecnologia, l'analisi del flusso di processo, il lay-out dell'impianto, insieme agli impianti di servizio. Una volta prese, le decisioni definiscono in dettaglio il tipo di processo, il grado di automazione, il lay-out fisico e le modalità di svolgimento del lavoro. Quindi, il progetto del processo non è semplicemente materia tecnica, ma coinvolge anche scelte di tipo sociale, economico ed ambientale.

La selezione del processo è per sua natura dinamica, poiché essa continua nel tempo a causa dei cambiamenti effettuati sul prodotto (i quali condizionano il processo) ed a causa dell'evolvere della tecnologia (che condiziona il prodotto).

Hayes e Wheelwright hanno suggerito di guardare il prodotto ed il processo lungo i due lati della **matrice** di fig. 2.8. Sul lato del prodotto viene riportato il ciclo di vita del prodotto di un'organizzazione che raggiunge vendite crescenti dalla piccola scala (prodotto personalizzato) alla grande scala (di grande diffusione). Mano a mano che la linea di prodotto matura, la zona si sposta verso destra.

Sul lato verticale della matrice, il processo passa dalla produzione di pezzi singoli e la struttura Job-Shop verso la produzione in linea di prodotti di massa costruiti su linea a flusso continuo. Si può osservare che, dal punto di vista del processo, si ha un ciclo di vita simile al ciclo di vita del prodotto e, come abbiamo visto, il processo si muove da uno stadio di grande fluidità e flessibilità verso un ciclo fortemente standardizzato in basso della matrice.

2. Lo Studio di Fattibilità

Normalmente, l'organizzazione si posiziona lungo la diagonale della matrice di fig. 2.8, che contiene, ad esempio, una stamperia (che fornisce molti prodotti personalizzati su ordine del cliente con un impianto universale in un ambiente tipico Job-Shop). Lungo la diagonale, si trovano anche gli impianti di assemblaggio dell'industria automobilistica, che crea pochi prodotti principali in un impianto in linea, dotato di attrezzature altamente meccanizzate e con un'organizzazione del lavoro fortemente strutturata.

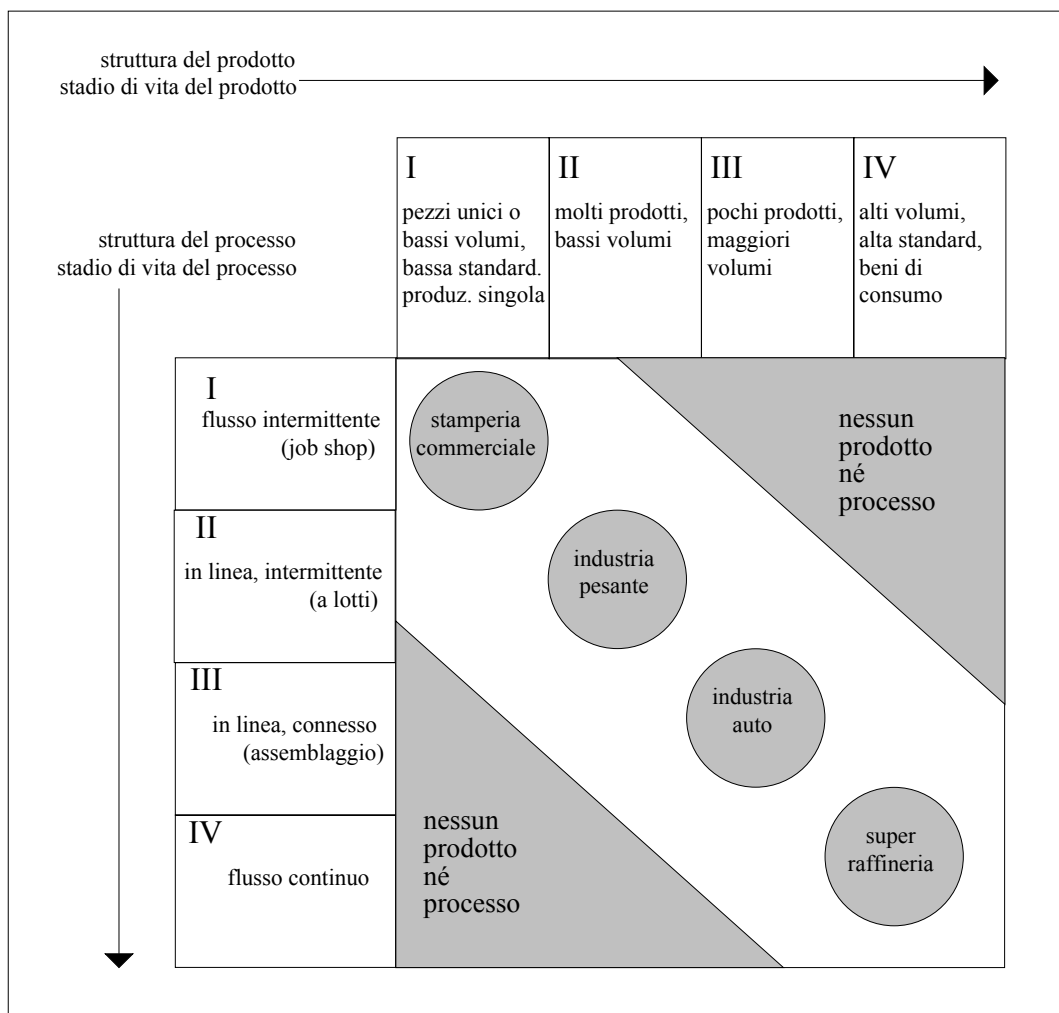


fig. 2.8. Matrice della relazione tra prodotto e processo.

La matrice prodotto-processo aiuta a descrivere la relazione tra la strategia di prodotto e quella di processo. In alcuni casi la strategia è focalizzata solamente in vista del prodotto e del mercato, ma questo limita le decisioni ad un solo lato della matrice. Invece, osservando anche la dimensione del processo, l'organizzazione può trarre un vantaggio competitivo dalla specificità del proprio processo produttivo, espandere considerevolmente le opzioni disponibili ed usare il processo produttivo come arma competitiva per la definizione della sua strategia.

Raramente l'evoluzione del prodotto e del processo avviene nello stesso tempo nelle due direzioni, piuttosto i cambiamenti sono lenti ed avvengono alternando la direzione verticale a quella orizzontale. Così, una modifica di strategia sul prodotto può portare l'organizzazione a destra, fuori della diagonale, se si mantiene inalterato il processo produttivo; ma i concorrenti che trattano lo stesso prodotto ed operano sulla diagonale od al di sotto di essa possono avere costi minori e questo forza l'organizzazione a cam-

biare il processo tecnologico spostando il punto di funzionamento verso il basso. Naturalmente, se il cambiamento comporta che il nuovo punto si piazzasse sotto la diagonale, si verificherebbe un impulso verso un nuovo cambiamento del prodotto, ecc. Sulla base di questo ragionamento si potrebbe pensare che esista una specie di istinto a spostarsi da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso della matrice. Invece, **è importante ricordare che una tale tendenza comporta una progressiva perdita di flessibilità a causa della standardizzazione del prodotto**. Perciò, se la standardizzazione del prodotto non dovesse essere congruente con le aspettative commerciali, ogni cambiamento sul prodotto o sul processo diventerebbe costosissimo, obbligando l'organizzazione a riportare il punto di funzionamento sulla diagonale. Cioè, l'organizzazione non deve avventurarsi lontano dalla diagonale, a meno che questo non faccia parte di una strategia di mercato scelta coscientemente e con la necessaria attività previsionale.

Nell'ambito della stessa industria, non tutti si muovono nella stessa direzione. Così, si possono incontrare produttori che preferiscono la strategia della produzione di basso volume, con un apparato produttivo a flusso intermittente per fare della flessibilità e della qualità un'arma competitiva. Dall'altra parte e per la stessa categoria di prodotti, possono esistere organizzazioni impostate sui punti in basso a destra della matrice le quali privilegiano la produzione in linea a flusso continuo per proporre al mercato prodotti standard a basso costo.

Esempio

Nella produzione di calcolatrici tascabili, è evidente la diversità di strategia che anima la Hewlett&Packard e la Casio e la opposta posizione che, di conseguenza, occupano nella matrice. È noto che, ad un certo punto, la Hewlett&Packard tentò di spostare il suo punto sulla matrice verso prodotti più standardizzati ed alti volumi, ma senza modificare con un adeguato livello di automazione i suoi impianti produttivi. Questo ha portato la Hewlett&Packard a lavorare sulla parte alta della matrice, sopra la diagonale, ma ha anche spinto l'organizzazione a ritornare verso una zona della matrice più confacente alla sua competenza distintiva.

La scelta della tecnologia determina il grado di automazione del processo. Essa non costituisce semplicemente una decisione tecnica, ma anche sociale e condiziona il lavoro e gli altri fattori sociali. Questo porta all'idea di un processo decisionale che consideri le implicazioni ambientali, sociali ed economiche delle alternative tecnologiche.

Anche il progetto del processo richiede decisioni di microlivello, riguardanti l'analisi del flusso di processo ed il lay-out degli impianti ausiliari. Queste decisioni determinano il flusso fisico dei materiali (ma altre decisioni di microlivello possono riguardare perfino la clientela ed il tipo di informazione più adatta ad illustrare il prodotto). Come vedremo, metodi di analisi del processo impiegano modelli matematici anche molto sofisticati e riguardano le decisioni sul lay-out che tendono ad ottimizzare il flusso di processo con la razionale disposizione di macchine ed impianti. Dunque, si possono individuare due grandi temi nello sviluppo del progetto del processo:

- l'idea di ottimizzare i flussi dei materiali e delle informazioni,
- l'idea di integrare l'aspetto tecnico del progetto del processo con le considerazioni di tipo sociale, economico ed ambientale.

Generalmente, il progetto del processo inizia con le macrodecisioni che riguardano la selezione del processo e la scelta della tecnologia. Esse sono per loro natura di lungo periodo, richiedono l'uso di grandi risorse, sono praticamente irreversibili e sono prese dall'alta dirigenza. Solo successivamente si passa alla microdecisioni, le quali compren-

dono l'analisi del flusso dei materiali ed il lay-out. Si tratta di attività svolte nell'organizzazione a livello più basso, richiedono minori risorse e possono essere modificate più facilmente.

Le decisioni sul progetto del processo interagiscono con quelle delle altre aree di decisione delle funzioni produttive. Così, le decisioni sulla capacità produttiva dell'impianto influenzano il tipo di processo da scegliere. A sua volta, il tipo di processo determina il flusso dei materiali, la numerosità e la qualifica della manodopera, ma anche il livello di qualità del prodotto ottenuto, poiché certi tipi di processo sono meglio controllabili di altri. Ecc. ecc.

2.3.1. Gamma di Prodotti.

Sono stati trattati i problemi del design e del redesign di un singolo prodotto. Ora parleremo delle decisioni che si riferiscono all'eventuale progetto simultaneo di una varietà di prodotti. La pratica di introdurre una varietà di prodotti deriva sia dalle spinte del mercato, sia da quelle della produzione, comunque di essa si devono controllare i vantaggi e gli svantaggi.

Dal punto di vista del *marketing*, il vantaggio di avere una larga varietà di prodotti sta nella capacità di offrire ai consumatori una maggiore possibilità di scelta ed, infatti, spesso si osserva una caduta delle vendite se l'organizzazione offre meno varietà di prodotti, rispetto ai concorrenti. Da questo punto di vista, i responsabili del marketing potrebbero spingere per disporre di una linea di prodotti talmente completa da poter soddisfare praticamente tutte le possibili richieste del mercato. Tuttavia questo comportamento si ribalterebbe presto contro di essi, in quanto, prima di tutto, sorgerebbero difficoltà nella gestione stessa del marketing. Troppi prodotti possono confondere il cliente che non riconosce sufficientemente le differenze tra le proposte, rendono difficile l'addestramento del personale di vendita e la strategia pubblicitaria risulta più costosa e meno focalizzata. Così, le vendite possono appiattirsi, anzi ridursi in qualche caso. Tuttavia, in generale i responsabili del marketing preferiscono disporre di una importante varietà di prodotti, forse in ciò spinti dall'esempio giapponese, il quale riesce particolarmente bene in questa strategia. In ogni caso, si deve ricordare che questo dipende dalla particolarissima struttura industriale di quel Paese, la quale è grandemente flessibile grazie anche all'eccezionale attitudine professionale della manodopera.

Dal punto di vista della *produzione*, una grande varietà di prodotti porta ad elevati costi, maggiore complessità e difficoltà di specializzare manodopera e sistema produttivo. Naturalmente, la situazione ideale è vista quella di una bassa varietà di prodotti costruiti in grande serie in impianti specificatamente progettati, ma questa possibilità è offerta solamente da un mercato sufficientemente ampio.

Sulla base di queste considerazioni, è possibile formulare una semplice teoria economica della varietà di prodotto, cioè dell'ampiezza della gamma. Come si può vedere in fig. 2.9, l'aumento eccessivo della varietà di prodotto porta ad un forte aumento dei costi unitari di produzione ed alla conseguente caduta degli utili. Quindi, si può pensare ad una condizione di optimum della gamma, nella quale si ottengono i massimi profitti. Il problema chiave per le linee produttive è di determinare se la gamma proposta dall'organizzazione è troppo grande, il che equivale a stabilire come allocare i costi fissi sulle linee di produzione.

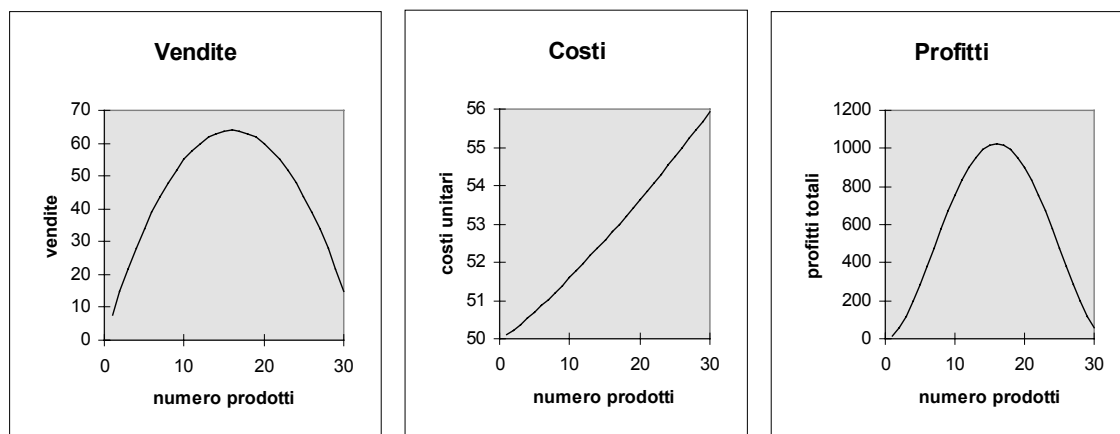


fig. 2.9. Modello economico della varietà di gamma.

Grossolanamente si può dire che, finché un prodotto della gamma contribuisce alle spese generali ed ai profitti, esso può essere mantenuto; ma, nel breve periodo, anche se contribuisce solamente ai costi variabili necessari per la sua produzione. Pur essendo sostanzialmente corretto, questo ragionamento non può essere portato sul medio periodo, poiché i costi fissi e le spese generali necessari all'organizzazione (per il prodotto che contribuisce solo ai costi variabili), verrebbero ripartiti sui prodotti rimanenti, riducendo l'efficienza generale dell'impresa. Dunque, anche in questo campo l'analisi del valore, che vedremo subito, assume una grande importanza.

In definitiva, nella definizione del ciclo produttivo, il prodotto deve essere progettato con caratteristiche tali da non creare problemi eccessivi al processo. Perciò, il progetto del processo produttivo riguarda la possibilità di costruire il prodotto al livello qualitativo richiesto ed a costi accettabili. Le maggiori opportunità di contenere i successivi costi di produzione del prodotto si hanno durante il progetto del prodotto stesso, ma se, durante questa fase, le esigenze di processo vengono trascurate, il costo del prodotto risulterà sicuramente elevato.

Esempio

Un costruttore di compressori d'aria impiegava una linea di compressori alternativi in grado di alimentare una rete di vendita da 1M€. Anche se la linea era correttamente complementare ad un'altra più grande linea di ventilatori e soffianti, impiegava una tecnologia ben consolidata ed era stata oggetto di un grande sforzo di introduzione nel mercato, essa non produceva profitti e le prospettive di aumento della quota di mercato erano sfavorevoli.

Alla fine, il costruttore decise di vendere la divisione dei compressori alternativi per un prezzo simbolico. Il compratore fu uno dei suoi impiegati, che fondò un'azienda separata.

Per riguardo al venditore, gli effetti benefici della vendita furono sostanziali e praticamente istantanei. Il bilancio migliorò moltissimo, mano a mano che si evadevano gli ordinativi residui, fuori dal processo produttivo principale, senza acquistare molto materiale. I guadagni aumentavano molto più di quanto l'eliminazione della linea potessero far prevedere. Solo allora la dirigenza si rese conto di quante attività erano state dedicate alla linea ceduta, e di quante spese generali per la costruzione dei compressori erano in realtà coperte dalla linea dei ventilatori e delle soffianti, senza che questo potesse apparire chiaramente dall'amministrazione.

I vantaggi della semplificazione sono difficili da valutare, ma sono reali. A dispetto di quanto può fare il computer, non esiste via migliore all'efficienza di quella di eliminare le complessità, spesso dividendo l'organizzazione in unità più piccole e più facilmente gestibili.

2. Lo Studio di Fattibilità

Quindi, l'obiettivo è di adottare un progetto dettagliato che consenta l'ottenimento delle migliori caratteristiche funzionali del prodotto al minore costo di produzione possibile. Strumenti importanti di scelta del prodotto, e che hanno un forte impatto sul progetto del processo, sono:

- la semplificazione del mix produttivo,
- la diversificazione del mix produttivo,
- la standardizzazione,
- la modularità dei componenti,
- l'analisi del valore.

Semplificazione del mix produttivo. Significa ridurre la varietà dei prodotti diversi immessi nel mercato dall'azienda: ciò consente di semplificare i cicli di produzione, di eliminare le linee produttive non sature, di ridurre le scorte di magazzino, di concentrare le risorse dell'azienda sulla produzione dei pochi prodotti più venduti e più remunerativi. Si favorisce l'attività dei settori produttivi a scapito del settore commerciale, che si trova ad operare verso l'esterno con un minore ventaglio di offerte diversificate.

Diversificazione del mix produttivo. Rappresenta il contrario del metodo precedente, nel quale, per aumentare la penetrazione dell'azienda nel mercato, si aumenta la varietà dei prodotti offerti per attirare nuovi clienti. Se l'azienda opera in un mercato fortemente competitivo, questa è spesso la strategia obbligata per conservare ed ampliare il proprio mercato. Si privilegia l'azione del settore commerciale e si complica l'attività dei settori produttivi, con la conseguente proliferazione di cicli di lavoro e di linee produttive diversificate.

Questo metodo è particolarmente efficace per saturare attrezzature e linee produttive inopere, soprattutto nel caso di necessità di bilanciamento fra produzioni stagionali. Inoltre, esso consente di ripartire il rischio di mercato su più prodotti, con la possibilità di riconvertire la produzione a prodotti diversi. Naturalmente, è necessario che il sistema produttivo sia sufficientemente flessibile.

Si possono distinguere diversificazioni di tipo orizzontale, verticale e laterale.

- La *diversificazione orizzontale* consiste nella progettazione e produzione di prodotti simili, che utilizzano le stesse attrezzature, impianti di produzione e canali di distribuzione dei prodotti già esistenti.
- La *diversificazione verticale* consiste nell'espansione del ciclo produttivo in atto all'interno dell'azienda fino alla produzione diretta dei semilavorati verso monte e fino alla distribuzione dei prodotti verso valle, in modo da non dipendere da subfornitori e da aziende di servizi commerciali, quindi aumentare la flessibilità.
- La *diversificazione laterale* consiste nell'espandere la gamma produttiva verso prodotti che sono fuori dal proprio settore merceologico.

Gli svantaggi della diversificazione dei prodotti risiedono nella necessità di eseguire una produzione per lotti di piccole dimensioni e, quindi, di maggior costo rispetto al caso di una produzione di massa con linee dedicate, soprattutto a causa dei costi di riattrezzaggio. Inoltre, aumentano le scorte ed i conseguenti costi di magazzino sia per il costruttore, sia per i grossisti, sia per i rivenditori.

Standardizzazione. Tale metodo riguarda sia la standardizzazione dei prodotti per dimensione, forma, colore, prestazioni, sia dei processi per metodologie operative, procedure, macchine ed attrezzature. Se il progetto del prodotto prevede l'impiego di componenti standard, il costo di produzione viene diminuito grazie all'uso di parti commerciali di facile reperimento e di basso costo. Inoltre, viene semplificata la manutenzione dello stesso, grazie all'intercambiabilità dei componenti guasti da sostit-

tuire. Tuttavia, in questo modo si rinuncia all'ottimizzazione del disegno del prodotto, secondo il *principio della total quality* (meno componenti, aventi più funzioni).

Modularità dei componenti. Tale metodo consiste nello sviluppare un numero ridotto di componenti modulari che possano essere combinati ed assemblati in vario modo per ottenere una grande varietà di prodotti diversificati. In tal modo, si associa il vantaggio di offrire al mercato un ampio mix di prodotti con quello di effettuare una produzione di lotti di maggiore dimensione, con conseguenti minori costi di produzione e semplificazione dei problemi della produzione. Inoltre, si possono superare in tal modo potenziali conflitti fra settori produttivi e commerciali all'interno dell'azienda. Tipico è l'esempio dell'auto, che corrisponde come modello alle richieste del cliente, ma è costituita da componenti ausiliari modulari e standardizzati all'interno dell'azienda stessa.

Analisi del valore. Abbiamo visto come l'innovazione sia il criterio principale perché il prodotto resti competitivo, quindi incontri sempre meglio i bisogni del compratore. Una maniera conveniente di organizzare l'innovazione e di indirizzarla a migliorare il valore del prodotto o dei servizi è l'impiego dell'analisi del valore.

L'analisi del valore è lo strumento che *tende ad eliminare ogni attività o componente che causi costi e non contribuisca al valore (alla qualità) del prodotto*. Perciò, essa tende a favorire l'incontro tra le richieste di prestazioni del prodotto e le esigenze del cliente, al minor costo possibile. L'analisi del valore è anche l'approccio organizzato di analisi del prodotto che viene impiegato con molte tecniche nella normale routine. La fondamentale differenza tra costo e valore consiste in:

- il **costo** è un valore assoluto, espresso in termini monetari e che misura la quantità di risorse impiegate per creare il prodotto: esso comprende i materiali, la manodopera, l'energia e le spese generali, ecc;
- d'altra parte, il **valore** rappresenta la percezione del cliente del rapporto tra l'attitudine all'uso del prodotto ed il suo costo. L'attitudine all'uso è il risultato della qualità, dell'affidabilità e delle prestazioni del bene. Cioè, non volendo guardare troppo al mercato dei beni di lusso, l'acquirente tende a soddisfare al minimo costo i propri bisogni (o desideri). Impostato così il problema, il valore di un prodotto può essere aumentato migliorando la sua attitudine all'uso allo stesso costo, oppure diminuendo il costo a parità di attitudine all'uso, e questo scopo può essere raggiunto eliminando le funzioni costose e non necessarie, che non contribuiscono al valore. In questo modo, si segue il **principio della total-quality**.

Nell'analisi del valore si impiegano le seguenti definizioni:

- *obiettivo*: scopo e ragione per i quali il prodotto (od una sua parte) esiste,
- *funzione di base*: quella che, se eliminata, rende il prodotto inutile per riguardo all'obiettivo stabilito,
- *funzioni secondarie*: quelle che rendono possibile la funzione di base, nel modo in cui il prodotto è stato progettato.

Identificare queste tre caratteristiche rappresenta il cuore dell'analisi del valore.

In generale, l'analisi del valore si sviluppa su quattro fasi:

Pianificazione. La prima fase consiste nell'orientamento dell'organizzazione verso la convenienza di eseguire un'analisi del valore. L'alta dirigenza e lo staff vengono informati del vantaggio produttivo di eseguire l'analisi del valore, ma anche delle procedure necessarie, in modo da ottenere l'adeguato supporto a questa attività. Successivamente, viene formato un **team** con tutte le componenti potenzialmente coinvolte nel possibile processo di redesign, e nominandone il leader. In una divisione manifatturiera, il team può comprendere i responsabili del progetto

e dell'industrializzazione, quelli della produzione, degli acquisti, della qualità, dell'amministrazione e, se necessario, il personale di supporto necessario. Il leader addestra il team e definisce lo scopo dell'attività, sotto forma di modifiche del prodotto e di risultati attesi. Ad esempio lo scopo può essere la riduzione percentuale dei costi, a parità di prestazioni del prodotto.

Descrizione. Questa fase di studio inizia con l'identificazione dell'obiettivo del prodotto, delle funzioni di base e di quelle secondarie. Normalmente, le funzioni sono descritte in poche parole, come visto sopra. Quelle secondarie sono anch'esse definite semplicemente, ma sono soggette a modifiche od eliminazioni, se l'obiettivo è di aumentare il valore. Un modo per partire con l'analisi è di valutare il costo di ogni funzione di base e secondaria. Poi, il team vede la possibilità di confermare, rivedere od eliminarne, in relazione alla variazione conseguente del valore del bene.

Progettazione creativa. La terza fase dell'analisi del valore ha lo scopo di generare alternative creative. Ad esempio, nel caso di un'organizzazione di servizio postale, può essere utile riorganizzare il ricevimento della corrispondenza per ridurre la necessità di mettere in ordine la posta, oppure acquistare le attrezzature necessarie per automatizzare la distribuzione, ma anche garantire un'atmosfera aperta ed innovativa, in modo che in questa fase le idee non siano soffocate.

Valutazione. In questa fase, le idee sono esaminate in relazione alla fattibilità, al costo ed al contributo al valore del prodotto. Le idee migliori sono confermate in un piano di miglioramento di prodotto, il quale viene portato avanti dai membri del team e dalla dirigenza. Per questo, normalmente è meglio formare il team con le persone che devono dimostrare i risultati dello studio di analisi del valore e, così, si garantiscono responsabilità ed entusiasmo anche nel successivo processo di implementazione. Come detto, l'analisi del valore è un modo organizzato per aumentare l'attitudine all'uso del prodotto relativamente al suo costo. Esso non è praticamente per nulla basato su decisioni di budget, in quanto ogni funzione del prodotto viene accuratamente esaminata per essere migliorata od eliminata: in pratica, nulla è dato per scontato ed i risultati sono talvolta eccezionali, con miglioramenti normali del 10% del valore e miglioramenti limite anche del 50%.

L'analisi del valore è importante non solo nel progetto del prodotto nuovo, ma, soprattutto, nella riprogettazione del prodotto, nella modifica del processo produttivo e nella selezione di componenti e materiali.

Solo raramente le grandi organizzazioni sono coinvolte in maniera complessiva nel processo innovativo, piuttosto al loro interno si creano team autonomi di sviluppo, ai quali viene attribuito un campo di interesse, livelli di autorità ed un'autonomia adeguati al raggiungimento degli obiettivi stabiliti dalla dirigenza. Essi si assumono i rischi, progrediscono nelle conoscenze attraverso l'attività, con un processo di selezione e correzione delle decisioni prese, che ammette larghi margini di incertezza.

Giova mettere in evidenza anche l'importanza del ruolo positivo che i fornitori svolgono, soprattutto nel trasferimento di tecnologia. Essi possono essere coinvolti fin dall'inizio e consultati regolarmente nella soluzione dei problemi, in quanto proprietari di conoscenze che possono essere assenti o solo parziali in azienda. In questo caso, il processo di trasferimento di tecnologia è fondamentalmente di apprendimento da parte di tutte le funzioni, piuttosto che di progettazione. Inoltre, è più facile che i livelli più elevati dell'organizzazione dimentichino i metodi adottati in precedenza mano a mano che il nuovo prodotto viene accettato, cosicché la produzione può essere vista non solo co-

me la funzione operativa più importante, ma anche come sistema sociale e di apprendimento.

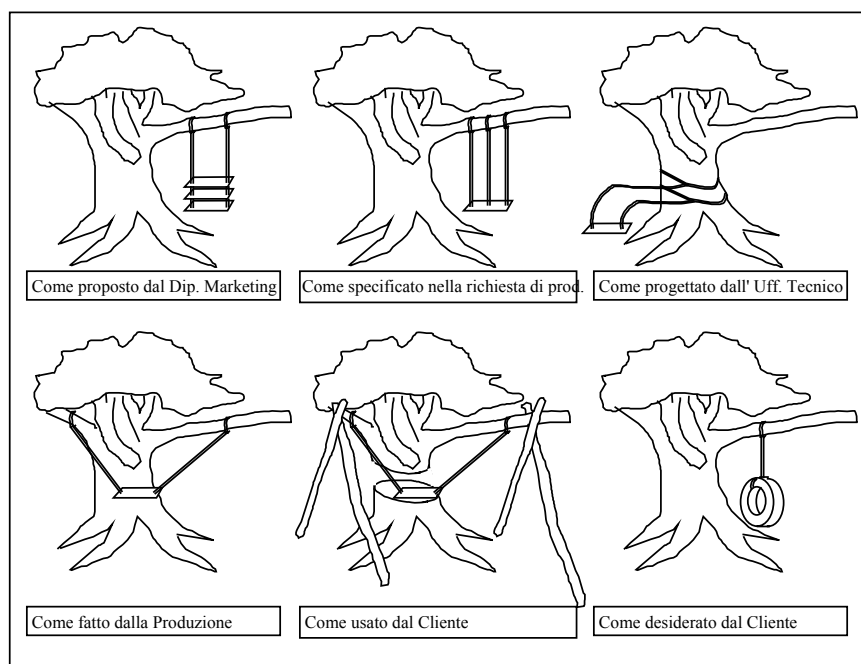


fig. 2.10. Mancanza di integrazione interfunkzionale nel progetto di un'altalena (da R.G. Schröder).¹⁴

È evidente che procedere per gruppi di sviluppo non è sempre il modo più razionale, basti pensare al processo innovativo di grandi progetti, che richiedono pianificazione e controllo di progetto molto elaborati e complessi, oppure, la situazione opposta del singolo inventore od imprenditore di una piccola azienda, che assume l'intero carico dell'attività innovativa. La mancanza di coordinamento interfunkzionale può essere rilevata simpaticamente in fig. 2.10.

2.3.2. Strategie di Introduzione del Nuovo Prodotto.

Si possono descrivere tre modi di vedere il processo di introduzione di un nuovo prodotto:

Market-pull (tirato dal mercato), quale può essere descritto dallo slogan: *Fai ciò che puoi vendere*. In questo caso, i nuovi prodotti sono determinati dal mercato, con scarsa attenzione alla tecnologia ed al processo produttivo esistenti. Le esigenze del compratore sono una base primaria (anche se non esclusiva) per la loro introduzione e sono individuate attraverso ricerche di mercato e risposte del cliente, prima di iniziare la produzione.

Technology-push (spinto dalla tecnologia), quale può essere descritto dallo slogan: *vendi ciò che puoi produrre*. Conseguentemente, i nuovi prodotti sono derivati dalla tecnologia di produzione, con scarsa attenzione al mercato. È compito del marketing

¹⁴ R.G. Schröder, Operations Management, Decision Making in the Operations Function, Mc Graw-Hill Int. Ed, 1989

creare il mercato dei beni prodotti. Questo modo è fortemente dominato dall'uso della tecnologia e dalla flessibilità. Per mezzo di un impiego aggressivo della R&D e della produzione, si creano prodotti di qualità superiore, i quali hanno un vantaggio naturale nel raggiungere forti quote di mercato.

Interfunzionale, per il quale modo l'introduzione di nuovi prodotti richiede per sua natura l'attività coordinata del marketing, dell'engineering, della produzione, ecc, come detto in §2.2. Il risultato deve dare nuovi prodotti che incontrino la soddisfazione del cliente utilizzando la tecnologia per il miglior successo. Normalmente, con questo sistema si raggiungono i migliori risultati, anche se si tratta dell'approccio più difficile da introdurre in produzione, a causa dei vincoli imposti dalle altre funzioni, con le quali si possono creare problemi di rivalità ed attriti. In molti casi, si usano opportuni meccanismi organizzativi, come il progetto a matrice od i team di progettazione, per integrare i diversi elementi dell'organizzazione.

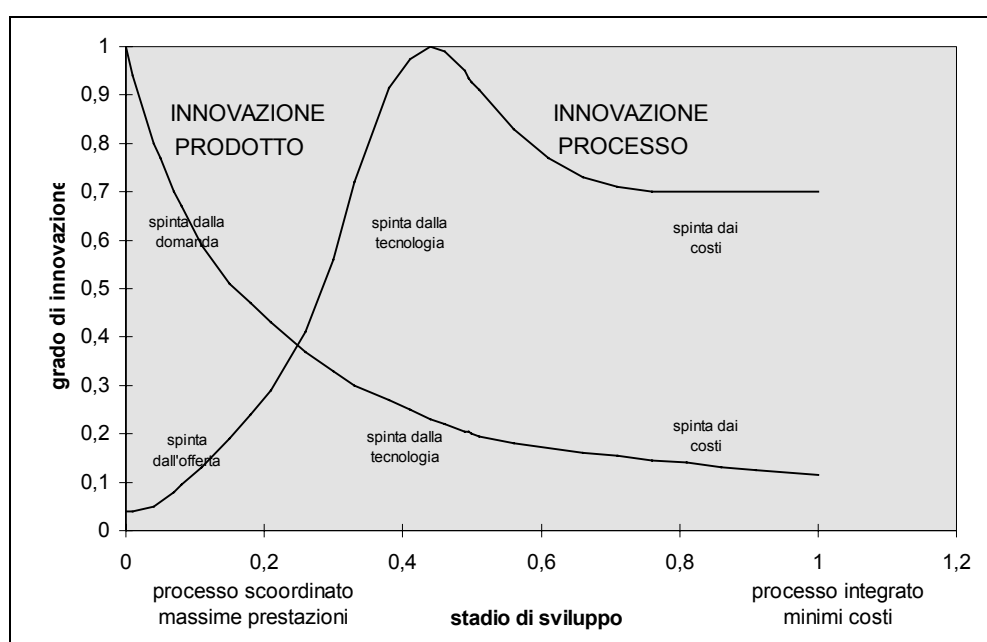


fig. 2.11. Modello dinamico dell'innovazione prodotto-processo.

Inoltre, esistono quattro principali strategie di prodotto che le imprese industriali possono seguire:

1. **leader** di mercato, che consiste nel collocarsi e mantenersi come punto di riferimento, ciò che richiede intensi sforzi di Ricerca, Sviluppo ed Ingegnerizzazione dei prodotti e, quindi, forti investimenti con elevati rischi: solamente le grandi imprese, con elevate risorse economiche, possono adottare questa strategia, che permette comunque di guidare ed orientare il mercato;
2. **inseguitore**, che consiste nell'essere in grado di fornire una rapida risposta tecnica all'introduzione di nuovi prodotti da parte del leader. Tale strategia richiede meno ricerca, ma grandi sforzi di sviluppo ed ingegnerizzazione ed, inoltre, validi esperti del mercato e del processo per competere nel mercato con prodotti validi già quando il prodotto dell'azienda leader è nella fase di crescita. Questa strategia è seguita dalle imprese di medie e grandi dimensioni;
3. **orientata alle applicazioni**, che consiste nell'essere in grado di sviluppare modifiche speciali del prodotto per soddisfare un segmento particolare del mercato. Tale strategia richiede meno ricerca e sviluppo, ma un intenso sforzo di ingegneriz-

zazione (infatti si entra nel mercato durante il periodo di maturità del prodotto). È la più comune strategia delle piccole e medie aziende;

4. **orientata alla produzione efficiente**, che si basa sulla capacità di realizzare una produzione ed un controllo dei costi più efficiente di quanto non faccia la concorrenza. Le armi competitive diventano i tempi di consegna ed il prezzo del prodotto, per cui tale strategia richiede poca ricerca, sviluppo ed ingegnerizzazione, ma intensi sforzi a livello di produzione in quanto si entra nel mercato nella fase di maturità del prodotto. Essa è la più comune strategia delle piccole imprese.

La fig. 2.11 mostra la natura dell'interazione prodotto, processo e sviluppo. Mentre l'innovazione di prodotto declina via via che il prodotto matura, l'innovazione di processo e l'automazione salgono. Allo stadio di maturazione, entrambe calano. Oggi, i tre stadi descritti sopra sono sempre meno differenziati, grazie all'introduzione dell'automazione flessibile computerizzata: CAD, CAM, CIM e robotica consentono cambiamenti di prodotto anche al livello inoltrato di maturazione. Tuttavia, anche l'automazione flessibile ha i suoi limiti e non può essere allargata ad ogni volume di produzione e grado di standardizzazione del prodotto.

2.3.3. La Scelta della Tecnologia.

La tecnologia è un fattore dominante nel mercato e nella nostra vita. L'incessante progresso tecnologico è stato chiamato *determinismo tecnologico*, per dire che la tecnologia determina la corsa della società e sembra non lasciarci alcuna possibilità di scelta in materia. In realtà, tutti ci rendiamo conto che deve esserci una scelta della tecnologia ed il punto è stato dimostrato, fra l'altro, nella scelta di non costruire un aereo da trasporto supersonico, a causa dei problemi che avrebbe creato. Dunque, la scelta c'è, ma bisogna imparare a gestire le tecnologie in modo adeguato, per poterne scegliere alcune e rifiutare altre. Se non altro, già i problemi dell'ambiente richiedono che le decisioni riguardanti la tecnologia siano prese in modo intelligente ed ogni avanzamento tecnologico dovrebbe essere deciso solamente dopo un'accurata analisi dei possibili effetti negativi sull'uomo e sull'ambiente: si dovrebbe essere gestori della tecnologia, piuttosto che utenti della stessa.

Prima di tutto si deve definire cosa si intende per tecnologia. Se ne possono dare due definizioni:

- applicazione della conoscenza per risolvere i problemi dell'uomo e delle sue attività,
- più in dettaglio, l'insieme dei processi, le macchine, gli utensili, i metodi e le procedure usate per produrre beni e servizi.

Nel capitolo precedente si è discusso della scelta del processo, la quale riguarda anche la scelta della tecnologia. In senso stretto, esistono diverse scelte di tecnologia che possono riguardare il processo. Per esempio, una specifica produzione in linea può non richiedere un impianto che svolga il processo in maniera altamente automatizzata, anche se un elevato livello di automazione è spesso richiesto nella produzione in linea. Si può scegliere un metodo produttivo in linea ad alta intensità di manodopera, ottenendo così una migliore efficienza, in confronto al processo intermittente. D'altra parte, un processo intermittente può essere dotato di mezzi produttivi sia a basso, sia ad alto grado di automazione. In definitiva, il livello della tecnologia (od il livello di automazione) è una decisione in genere diversa dalla scelta del processo da adottare. Tuttavia, le decisioni

su tecnologia e processo sono strettamente interconnesse. Una decisione non deve necessariamente precedere l'altra, anzi le due sono prese contemporaneamente.

La questione della scelta tecnologica ha un grande peso sull'attività produttiva. In particolare, la programmazione del lavoro manuale è fortemente influenzata dalla tecnologia utilizzata. Nel passato, si pensava fosse meglio eseguire la programmazione della produzione dopo aver fatto la scelta della tecnologia, cioè il lavoro manuale era condizionato dalla tecnologia, secondo la convinzione della bontà del determinismo tecnologico. Oggi, una tale convinzione è messa in discussione e le decisioni simultanee sul lavoro manuale e sulla tecnologia fanno parte di un nuovo atteggiamento: il **progetto sociotecnico**. Secondo questo concetto, i sistemi tecnici e quelli sociali sono (o dovrebbero essere) ottimizzati congiuntamente. Il risultato non è solamente il sistema più efficiente dal punto di vista dei costi, ma quello che insieme considera i valori umani e sociali.

Oltre al lavoro manuale, la scelta della tecnologia influenza tutti gli aspetti dell'attività produttiva, comprese la produttività e la qualità del prodotto. Evidentemente, la produttività è influenzata dalla sostituzione di lavoro manuale con investimenti di capitali e la qualità ne è influenzata poiché sistemi ad alto grado tecnologico spesso forniscono prodotti più uniformi. Inoltre, le scelte della tecnologia influenzano la strategia dell'organizzazione che deve considerare l'effetto sui processi, gli impianti, le macchine, le attrezzature e le procedure. Cioè, la scelta della tecnologia non è una decisione isolata: essa influenza tutti gli aspetti della produzione e dei profitti.

La scelta della tecnologia non è mai neutra con riferimento alla società ed alla manodopera. Infatti, la tecnologia comporta assunzioni implicite circa l'effetto dei valori umani sul prodotto, sulla qualità della vita, ecc. Inoltre, negli ultimi tempi la gente è sempre più interessata agli effetti della tecnologia sulla società e molti valori di riferimento sono messi in discussione.

Così, vediamo nascere nuovi concetti della sociologia e dell'economia, concetti che fanno riferimento alla *tecnologia appropriata*, alla *semplicità volontaria* od al pensiero che *piccolo è bello*. Essi tendono a dimostrare che la moderna tecnologia ha avuto un avanzamento troppo rapido in termini di efficienza e di meccanizzazione, al punto che sono stati sacrificati i valori umani ed ambientali. Questi effetti si riflettono in una minore richiesta di manodopera, una minore soddisfazione dell'operatore, la perdita del senso di utilità del lavoro manuale, assenteismo, inquinamento ambientale, ecc. La proposta è di utilizzare la *tecnologia appropriata*, quella del minore livello possibile, i minori costi sociali ed effetti ambientali. Essa non si propone di tornare indietro alla bottega, piuttosto ricerca un livello intermedio di tecnologia, anche se molte industrie con produzione di massa possono essere giustificate e conservate, ma con decisioni e scelte tecnologiche orientate alla conservazione dei valori umani ed ambientali.

Forse il più noto degli esponenti di questa scuola di pensiero è Schumacher¹⁵, il quale sostiene che uno degli errori peggiori del nostro tempo è stato di credere che il *problema della produzione* sia stato risolto. Egli dice che non solo questa convinzione è radicata nella gente lontana dai problemi della produzione e professionalmente ignorante dei fatti, ma in pratica è universalmente condivisa dagli esperti, i capitani di industria, i responsabili economici di tutti i governi del mondo, gli economisti, per non parlare dei giornalisti economici. Tutti sostengono che l'umanità è diventata maggiorenne: per i Paesi ricchi l'obiettivo è ora l'*educazione al tempo libero*, per i Paesi poveri è il *trasfe-*

¹⁵ E.F. Schumacher, *Small is Beautiful*, Harper&Row, 1973

rimento di tecnologia. L'illusione di un potere illimitato, alimentato dalle stupefacenti scoperte scientifiche e tecnologiche, ha prodotto l'illusione di aver risolto il problema della produzione. Ogni economista od uomo d'affari ha familiarità con la distinzione tra reddito e capitale e la applica coscientemente e con gran cura a tutti i problemi economici, eccetto quando tale distinzione è quella decisiva: il capitale non rimpiazzabile che l'uomo non ha prodotto, ma semplicemente trovato, e senza che facesse nulla per averlo.

Povero Gandhi, ormai completamente dimenticato! Si vestiva come un contadino, viveva di nulla e sognava un Paese libero e indipendente, né capitalista né comunista, un Paese che fosse l'espressione dei milioni di villaggi che per lui rappresentavano la vera, eterna anima dell'India. Era per il piccolo, non per il grande. Era per l'uomo, non per la macchina, per ciò che è naturale e non artificiale.¹⁶

“Quando il trattore potrà essere munto, quando il suo sterco potrà essere usato come concime e come combustibile, lo preferirò alla vacca”, diceva. Aveva viaggiato in lungo ed in largo; conosceva il suo Paese e la sua gente. Solo in India un buco in un muro può essere una “fabbrica di sigarette; un cubicolo di legno su quattro gambe può essere di giorno la bottega di uno stiratore e la sera la sua camera da letto. Solo in India il gamcha, lo straccio colorato con cui un barcaiolo e un tiratore di riscio si asciugano il sudore, è anche una coperta quando fa freddo e un turbante quando il sole scotta.

Gandhi era convinto che “Piccolo è bello” e l'economista Fritz Schumacher, suo grande ammiratore, sviluppò quell'idea in una teoria economica che sembrava adattissima all'India. Schumacher sosteneva la necessità di proteggere le piccole imprese locali contro le grandi aziende e le multinazionali che altrimenti se le sarebbero mangiate come i pescecani mangiano i pesciolini. Schumacher diceva, come Gandhi, che l'economia si deve fondare “su ciò che conta per l'uomo”, e non sul principio amorale del profitto. Gandhi e Schumacher: tutti e due finiti nel dimenticatoio.

La de-gandhizzazione dell'India cominciò con Nehru che lo stesso Gandhi, commettendo forse uno dei più grandi errori della sua vita, aveva scelto come successore. Nehru era il contrario di Gandhi. Era raffinato. Era elegante. Era contro il “piccolo” e per il “grande”: grandi industrie, grandi dighe, grandi fabbriche. Persino un grande amore: per Edwina, la moglie inglese dell'inglesissimo viceré dell'India, Lord Mountbatten, non per una semplice indiana.

L'uomo d'affari non può garantire che l'impresa ha risolto i propri problemi di produzione ed ha superato i problemi di fattibilità se la vede consumare rapidamente il capitale investito. Ma, allo stesso modo, egli (e tutti noi) dobbiamo valutare questo aspetto cruciale anche relativamente all'economia della grande azienda costituita dal pianeta ed all'economia dei suoi passeggeri ricchi! Una ragione del trascurare questo punto di vista è che è facile estraniarsi dalla realtà complessa e trattare come senza valore ogni cosa non abbiamo costruito noi stessi, oppure non ci riguarda troppo da vicino.

Schumacher mette in rilievo che il nostro sistema economico non arriva a considerare propriamente il costo delle risorse che non sono rinnovabili. Gli input sono considerati gratis, eccetto i costi della loro estrazione dall'ambiente od, in generale, della loro utilizzazione. Per di più, i costi dell'inquinamento e dell'insoddisfazione per il lavoro praticamente non sono tenuti in conto dal sistema economico. Ne deriva che l'impiego tecnologico può diventare via via più ampio e diffuso, e che la dissipazione delle risorse naturali può risultare catastrofica. La soluzione di questi problemi può

¹⁶ T. Terzani, *Un Altro Giro di Giostra, Viaggio nel Bene e nel Male del Nostro Tempo*, Longanesi, 2005

naturali può risultare catastrofica. La soluzione di questi problemi può essere l'adozione della tecnologia appropriata, cioè quella che adotta un mix di livello tecnologico in armonia con le necessità umane ed ambientali della società.

Così, è chiaro che i cambiamenti di tecnologia non possono essere né facili, né rapidi, né senza effetti sociali o politici. Comunque, quanto è veramente importante della tecnologia appropriata è che i responsabili hanno una scelta, che possono gestire la tecnologia, che possono valutare seriamente se un elevato livello tecnologico è la cosa migliore da adottare e se la tradizionale conduzione economica riflette esattamente il sistema di valori che si vuole raggiungere.

2.3.4. La Tecnologia e la Dirigenza.

Alcune importanti questioni sono alla base delle preoccupazioni della dirigenza in riferimento alla tecnologia e riguardano:

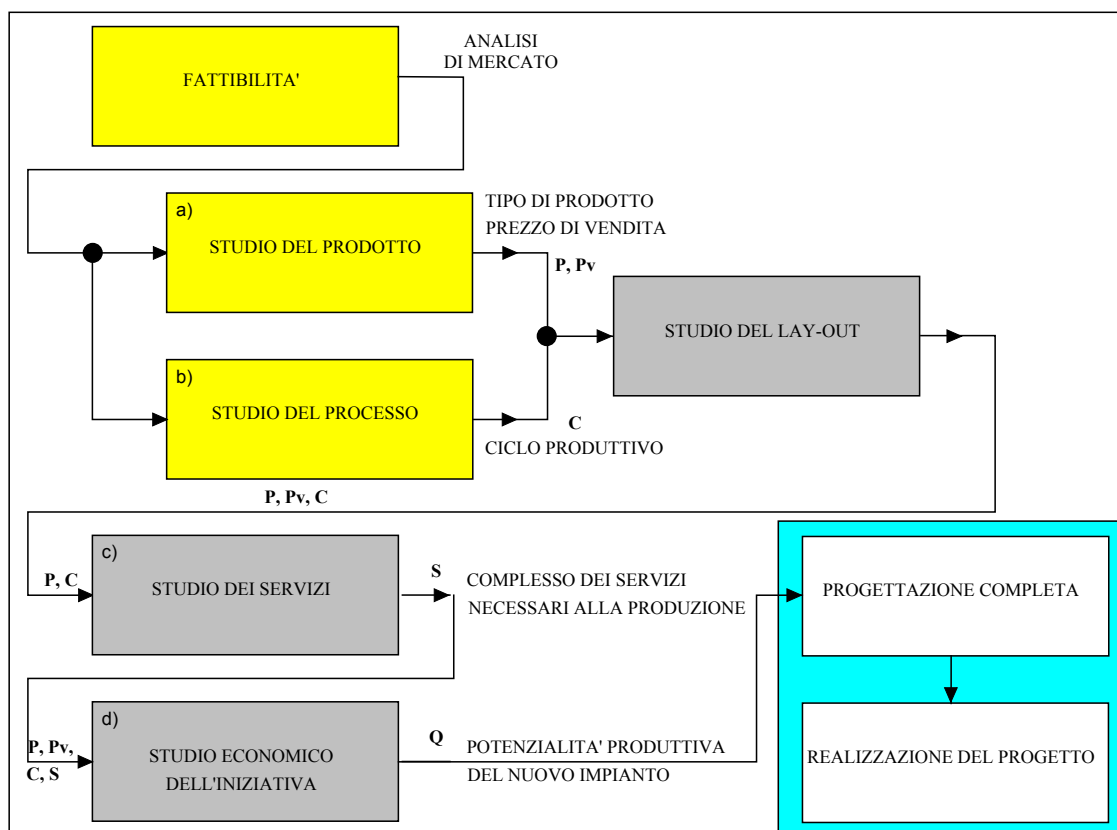
- quanto il dirigente debba conoscere in materia di tecnologia,
- quanta libertà egli debba lasciare agli ingegneri nella scelta della tecnologia,
- come possa il dirigente gestire le complicazioni create dalla tecnologia quando i tecnologi hanno speso tutte le loro capacità per studiare la soluzione dei problemi.

Ognuno di noi fa una scelta tecnologica nella vita di tutti i giorni: acquistiamo un televisore a colori, un forno a microonde, una vettura, ecc. ed ognuno di questi prodotti porta in sé tecnologie molto complesse. Tuttavia, nel prendere una decisione al riguardo, ci concentriamo sulle prestazioni caratteristiche del prodotto, piuttosto che sul modo in cui esso è stato costruito o sui suoi dettagli tecnici. Cioè, quando acquistiamo un televisore, ci preoccupiamo della definizione dell'immagine fornita, del suo consumo e del costo e non siamo particolarmente interessati al numero degli stadi di radiofrequenza, delle tensioni impiegate, ecc. Quando acquistiamo una vettura, siamo interessati alle qualità delle sue prestazioni, il comfort, il consumo e le possibili spese di manutenzione, piuttosto che al numero di giri del motore o del rapporto di trasmissione della coppia ipoidale, ecc. Allo stesso modo, il dirigente sarà interessato alle prestazioni che la tecnologia è in grado di offrire, piuttosto che ai dettagli tecnici.

Tuttavia, le decisioni di scelta tecnologica sono di estrema importanza e, perciò, richiedono grande cura. Alla fine, esse non sono per loro natura realmente tecniche, poiché esse sono solamente una componente dell'attività decisionale che coinvolge l'economia, la strategia, i prodotti e tutti gli aspetti della responsabilità gestionale. Cioè, i manager devono avere della tecnologia una preparazione sufficiente ad integrare la conoscenza tecnica con i fattori gestionali interessati.

Comprendere la tecnologia dell'impianto e del processo per deciderne consapevolmente l'acquisto richiede che il responsabile sviluppi un accurato concetto mentale (un'immagine) del processo svolto dall'impianto, con tutti i limiti e le caratteristiche necessari per l'ottenimento di una produzione adeguata, tenendo conto della variabilità delle condizioni fisiche nelle quali si svolgono le operazioni, del tempo necessario al loro compimento, della professionalità degli operatori impegnati, dei costi, degli investimenti, ecc.

2.4. L'ANALISI DEL FLUSSO DEL PROCESSO.



Negli ultimi capitoli abbiamo trattato le decisioni di alto livello nel progetto del processo. Esse determinano il tipo di processo ed il tipo di tecnologia da impiegare.

Una volta prese le decisioni di alto livello, si può procedere alle decisioni di minor livello, le quali determinano il flusso del processo e la conformazione del lay-out. Le decisioni di più basso livello influenzano ulteriori aspetti della produzione, comprese le decisioni sullo scheduling, i livelli di materiali impiegati, la grandezza dei lotti ed i metodi da usare per il controllo della qualità. Lo studio del flusso del processo tratta direttamente il processo di trasformazione, il quale può essere visto come una serie di flussi che vanno dagli input agli output e può essere analizzato vedendo come un prodotto è costruito e come viene reso disponibile al mercato.

Quando la sequenza dei passi da usare nella conversione dagli input agli output è stata analizzata, spesso si scoprono anche i metodi migliori per realizzarla. L'analisi del flusso del processo si può basare, ad esempio, sulla stesura di flow-chart, che sono un mezzo potente per la ricerca del modo più razionale per realizzare un processo produttivo.

2.4.1. Il Processo di Trasformazione come Sistema.

Prerequisito all'analisi del flusso del processo è la definizione del processo di trasformazione come sistema. Questo richiede l'identificazione di quale sistema sia più importante analizzare, definendone i confini, gli appropriati input ed output ed i flussi. Usualmente, il sistema è definito come insieme di elementi interconnessi, in cui il tutto è più della somma dei singoli elementi, esattamente come un corpo umano deve essere

considerato più della somma degli arti, del cervello, ecc, cioè più della somma degli elementi che lo costituiscono e che non possono svolgere la propria funzione senza il contributo di tutto il resto. Anche l'Impresa è un sistema ed i suoi elementi costitutivi sono le funzioni di marketing, di produzione, ecc. ma essa è di più della somma delle proprie funzioni, le quali, individualmente non potrebbero raggiungere proficuamente alcun obiettivo.

D'altra parte, anche la sola produzione può essere vista come un sistema, identificando il processo di conversione e trasformazione, come fatto in §1.2, cioè isolandola dall'ambiente e definendola in termini di input, output e di metodo di trasformazione usato. Tuttavia, la parte più difficile dell'analisi del processo fatta usando l'approccio sistemico è propriamente la definizione del contorno del sistema, quello che separa il sistema produttivo dall'ambiente. Il contorno definisce quanto il sistema è grande, ma la selezione del contorno è arbitraria ed il sistema può essere grande o piccolo a piacimento, dipendentemente dal particolare problema da studiare. Infatti, il contorno deve comprendere tutte le interazioni importanti all'interno del sistema, ma è sempre difficile definire esattamente cosa deve essere considerato e cosa può essere escluso.

Normalmente (nell'analisi del flusso del processo produttivo), si considera come massimo sistema l'intera funzione produttiva e, se si dovesse prendere in considerazione un sistema ancora più grande, significherebbe che le decisioni riguardano responsabilità di livello più elevato, quindi già al di fuori di questa analisi.

Come mostrato anche nell'esempio seguente, gli effetti della decisione per la banca coinvolgono la professionalità del personale ed i servizi offerti alla clientela, ma anche la qualifica dei tecnici della manutenzione dello sportello automatico, ed essi, insieme agli altri, devono essere tenuti in conto nell'analisi del processo. Da questo si può capire come l'approccio sistemico all'analisi di processo aiuta a definire i contorni del sistema ed identifica quelle operazioni che sono influenzate dalla decisione presa. In modo assolutamente simile si possono individuare gli input, gli output e le trasformazioni nel processo produttivo.

Esempio

Per illustrare questi concetti, consideriamo una piccola banca locale, in una località di 100.000 abitanti, dove esistono altre 5 banche. La banca impiega 20 persone: 7 di esse sono cassieri, 6 registrano le transazioni da conti correnti, assegni e prestiti, 2 seguono le nuove richieste di conto e 5 seguono i mutui dei nuovi clienti. La banca utilizza il servizio di un computer di una banca corrispondente, la quale processa le operazioni e tiene i libri contabili.

La banca considera la possibilità di installare uno sportello automatico, cercando di individuare i contorni del sistema che risulta influenzato da questa decisione. Applicando i principi appena discussi, tutte le componenti dell'organizzazione locale potrebbero essere incluse nella definizione del sistema. Tuttavia, mentre il nuovo sportello sostituirà molte operazioni di cassa, poiché la cassa distribuisce direttamente il denaro ai clienti ed incassa i depositi, si può facilmente presumere che il reparto che tratta i mutui dei nuovi clienti è fuori dal sistema, ma non lo sarà il reparto che tratta i nuovi conti correnti, poiché sui nuovi conti sarà offerto il servizio di sportello automatico. Così, il lavoro dei 6 impiegati che registrano le transazioni non sarà influenzato dal nuovo sportello, poiché il loro lavoro non subirà variazioni, non potendosi distinguere tra le operazioni svolte normalmente e quelle fatte attraverso lo sportello automatico.

2.4.2. L'Analisi della Gamma di Prodotti e delle Quantità

La condizione preliminare per la stesura del lay-out dell'impianto è la compilazione del **Foglio dei Dati sul Prodotto e le Quantità** (foglio P-Q) di fig. 2.12. Quando esso è completato per tutti i prodotti dell'Organizzazione, è possibile individuare la categoria cui l'impianto appartiene e decidere più consciamente la tecnologia da scegliere, mediante un'analisi che percorre i seguenti passi:

1. suddivisione e raggruppamento dei vari prodotti, materiali e modelli in esame in gruppi o famiglie,
2. determinazione delle quantità da produrre per ciascuna suddivisione ed, inoltre, per ciascun prodotto o modello all'interno di ciascuna di esse.

Alcune raccomandazioni sono utili per garantire una buona analisi P-Q:

1. classificare tutti i prodotti e riunirli in gruppi che presentino somiglianze,
2. analizzare l'andamento delle caratteristiche più significative dei gruppi e farne le previsioni per il futuro, riclassificare e raggruppare nuovamente i prodotti,
3. assegnare la produzione a ciascun prodotto, tenendo conto della stagionalità della domanda ed disponendo in ordine decrescente i prodotti all'interno di ogni gruppo,
4. costruire un istogramma in una scala appropriata, del tipo di fig. 2.13, riportando le quantità di ogni singolo prodotto,
5. studiare i dati dell'istogramma, al fine di verificare la suddivisione logica del **mix** produttivo, tenendone presenti gli effetti sul lay-out.

FOGLIO DEI DATI DI PRODOTTO E QUANTITÀ					impianto dati raccolti da: progetto programma DATA FOGLIO di		
INFORMAZIONI PRODOTTO					REQUISITI PRODUZIONE		
Nome Prodotto e Descrizione							
nome prodotto e descrizione					quantità prodotta anno corrente		rilevato
condizioni finali (fluido, delicato, pericoloso, ecc.)					quantità prevista prossimo anno		approvato
dimensioni e forma					quantità prevista fra 5 anni		stimato
unità di misura standard				peso unitario	vita residua attuale modello		
condizioni del materiale					variazioni stagionali		
dimensioni e forma largh. lungh. alt.					piani di espansione		
contenitore normale, stato di ricevimento					cond. spedizione		
Montaggio Prodotto					tendenza del prodotto		
nome prodotto e descrizione					dimensioni		diversificazioni
condizioni finali (fluido, delicato, pericoloso, ecc.)					peso		semplificazioni
dimensioni e forma largh. lungh. alt. peso					materiali		
					lotti accettazione		frequenza
					lotti spedizione		frequenza
componenti principali		condizioni materiale	dimensioni forma	peso unitario	finitura		
a							
b							
c					manodopera		
d					orario lavoro	turno	giorno
e					costo (per unità)	ora	giorno
vedere distinta base							
Diversi Prodotti					Quantità		
nome prodotto	condizioni	dimensioni forma	peso unitario	anno corrente	anno scorso	fra 5 anni	
A							
B							
C							
D							
E							
tendenza dei prodotti							
variazioni stagionali							
piani di espansione							
NOTE							

fig. 2.12. Raccolta dei Dati mediante il **Foglio dei Dati di Prodotto** e relative Quantità.

Per rendere la situazione del mix produttivo dell'azienda più comprensibile, le quantità annuali di ciascun modello sono poste in istogramma in ordine decrescente, come si vede in fig. 2.13. In generale, l'istogramma P-Q approssima un'iperbole, e le quantità sono riportate in un'unità comune (volume, massa, unità, ecc.), nell'unità di tempo.

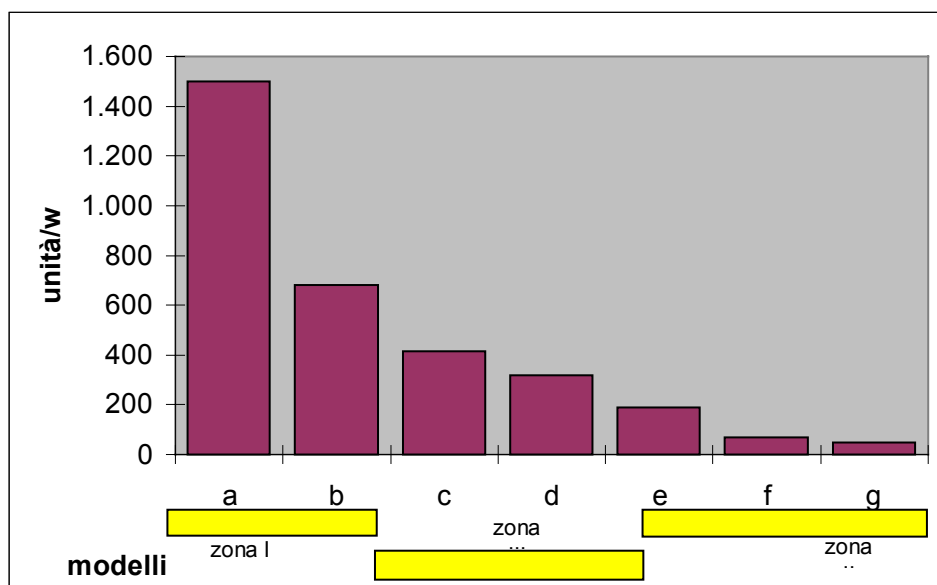


fig. 2.13. Analisi del **mix** produttivo di un'azienda.

I prodotti che ricadono nella zona **I** di fig. 2.13, sono eseguiti in relativamente grande quantità, e possono favorire (se sufficientemente numerosi) i metodi di produzione di serie, con linee di produzione dedicate. Quindi, si possono avere:

- disposizioni di **lay-out di prodotto**, cioè la disposizione delle macchine rispecchia la successione delle operazioni del ciclo tecnologico. Qui si riscontra un'elevata produzione di poche varietà, prodotti che si muovono *velocemente* o ad alta rotazione in linee di produzione dedicate, per le quali sono giustificati un elevato grado di meccanizzazione od automazione, con attrezzature speciali ed elevati investimenti nei sistemi di trasporto (alta intensità di capitale).
- i prodotti che ricadono nella zona **II** sono eseguiti in piccole quantità, quindi sono favoriti i metodi di produzione per reparti di lavorazione omogenee, od **a punto fisso**. In questo caso, si possono avere le seguenti disposizioni di lay-out:
 - a. per processo** o per reparti, in cui le operazioni di trasformazione e di trattamento vengono eseguite in reparti caratterizzati da lavorazioni omogenee (fresatura, tornitura, verniciatura, ecc.),
 - b. a posizione fissa**, tipiche delle operazioni di montaggio, in cui il prodotto rimane fermo e sono gli operatori che conferiscono i componenti e le attrezzature necessarie.

Qui si osserva una piccola produzione di molti modelli, prodotti che si muovono *lentamente* od a bassa rotazione da un reparto ad un altro con elevato impiego di manodopera e necessità di macchine universali. Nella zona **II** non si hanno grandi investimenti in attrezzature, le quali sono, perciò, molto flessibili.

- evidentemente, la zona **III** è intermedia e deve essere esaminata caso per caso. Tuttavia, generalmente essa è caratterizzata da un lay-out misto, che comprende sia il caso tradizionale di lavorazioni in linea, sia un lay-out per famiglie di pro-

dotti (ad esempio secondo il metodo della Group Technology), con FMS (Flexible Manufacturing System) od FAS (Flexible Assembling System).

L'area sottesa dall'istogramma di fig. 2.13 rappresenta la produzione totale nell'unità di tempo. Nel caso in cui la curva sia piatta, perché la maggior produzione cade al centro dell'istogramma, anche se i prodotti alle estremità non vengono realizzati con la massima convenienza, si può raggiungere una buona efficienza globale con un lay-out dedicato ai prodotti centrali, mediante l'adozione di un sistema flessibile di produzione (FMS), adatto alla fabbricazione di una famiglia di prodotti simili.

Inoltre, se è possibile organizzare il mix in maniera di godere dei vantaggi della standardizzazione, anche in presenza di una estesa serie di modelli (caso della produzione automobilistica e degli elettrodomestici), si può spostare una parte della produzione dalla zona II verso la zona I, dove è utile una più spinta automazione ed un lay-out più legato al prodotto, quindi un minor costo di manodopera per unità di prodotto.

tab. 2.II. Confronto tra vantaggi e svantaggi delle singole disposizioni di lay-out.

	per prodotto	per processo	
		a. processo	b. punto fisso
1	Minor costo totale del trasporto	Minore duplicazione di macchine e minori investimenti in attrezzature fisse. Minimo investimento di capitale.	
2	Minor tempo complessivo di produzione	Maggiore flessibilità di produzione	
3	Minori scorte di produzione	Controllo più specializzato ed efficace	
4	Maggiori incentivi per i vari reparti ad aumentare la produttività – incentivazione di Gruppo	Maggiori incentivi per i singoli operatori ad aumentare la produttività – incentivazione individuale. Possibilità di perfezionare capacità professionali (arricchimento di mansione). Partecipazione degli operatori alla responsabilità.	
5	Minore superficie di impianto per unità di prodotto	Migliore reazione ai guasti di impianto	
6	Semplificazione del controllo di produzione e costo amministrativo minore	Migliore controllo di precisione dei processi particolarmente complessi	
1	Produzione limitata ad uno o pochi modelli standard	Produzione di numerosi prodotti diversi o su commessa	Grande flessibilità, con variazioni delle caratteristiche, della varietà e del volume di prodotto
2	Grande volume di produzione di ciascun prodotto	Produzione limitata per ciascun prodotto, ma produzione totale elevata	
3	Possibilità di impiego di analisi tempi e metodi per il controllo della produttività	Impossibilità di impiego dell’analisi di tempi e metodi	
4	Buon bilanciamento della produzione tra le diverse stazioni	Possibilità di ottenere una buona saturazione dell’impianto	
5	Pochi controlli di produzione	Molti controlli di produzione	
6	Minime macchine ed attrezzature	Massimo impiego di macchine	
7	Movimentazione continua di materiali e prodotti	Materiali e prodotti impossibili da prevedere per dimensioni e massa	
8	Destinazione univoca di macchine e stazioni	Le macchine non sono dedicate e possono essere interessate dalla lavorazione di un solo prodotto anche per più volte	

2.4.3. Stesura dei Flow-Chart.

I flow-chart sono usati per descrivere e migliorare il processo di trasformazione del processo produttivo. L'analisi del processo può avere un forte effetto su tutto il comparto produttivo. Infatti, per aumentare l'efficacia e l'efficienza dei processi produttivi, si può intervenire, modificandoli, sui seguenti elementi:

- i materiali grezzi,
- il disegno del prodotto,
- la programmazione dei lotti,
- i passi del processo impiegato,
- le informazioni del controllo di gestione, gli utensili, le attrezzature, le macchine o l'impianto.

Come detto, l'analisi del flusso di processo è pesantemente dipendente dall'approccio sistemico e, per analizzarlo, il flusso da scegliere come indicativo deve essere selezionato tra quelli di maggiore rilevanza, e per esso devono essere descritti gli input, gli output, i contorni e le trasformazioni. Con questa impostazione, si devono seguire i seguenti passi:

1. decidere gli **obiettivi** da raggiungere: miglioramento dell'efficienza, riduzione dei tempi di attraversamento, miglioramento dell'efficacia, aumento della potenzialità produttiva, miglioramento del benessere della manodopera, ecc.
2. selezionare per lo studio il **sistema** (il processo produttivo rilevante), cioè l'intero sistema produttivo od una parte di esso,
3. descrivere il **processo** di trasformazione corrente per mezzo di flow-chart e definire gli indici di efficienza,
4. sviluppare un progetto di **miglioramento** del processo, rivedendo i flussi, gli input, gli output. Normalmente, il processo modificato viene rappresentato mediante un nuovo flow-chart,
5. ottenere l'**approvazione** dei responsabili del progetto del nuovo processo,
6. fare l'**implementazione** del nuovo progetto.

Si noti che questo metodo si basa su un impianto esistente da migliorare, tuttavia è chiaro che, se questo non fosse vero, i passi **3** e **4** sarebbero fatti con riferimento al processo desiderato, ed il resto rimarrebbe non modificato.

Questa fase dello studio di fattibilità è affidata generalmente ad esperti di tecnologie industriali, i quali sono chiamati a redigere la **progettazione del processo**. Tale progettazione si articola in due stadi successivi:

1. la scelta del **ciclo produttivo C** più adatto alla produzione del prodotto **P**. In genere (nei Paesi Industrializzati e non), il ciclo produttivo più adatto è tecnologicamente avanzato, tale quindi da consentire la produzione di **P** ai minori costi e nelle migliori condizioni di sicurezza di funzionamento e da garantire all'impianto di produzione una vita economica sufficientemente lunga, senza pericoli di precoce invecchiamento od obsolescenza economica per il comparire di tecnologie produttive più moderne,
2. la definizione qualitativa del **diagramma di lavorazione**, per mettere in evidenza le varie fasi del processo produttivo prescelto. Con tale diagramma è possibile rendersi conto delle successione delle fasi od operazioni (di lavorazione, di montaggio, ecc.) e delle connesse esigenze (materie prime, materie di consumo, richieste di energia, servizi, ecc.).

Normalmente, sul diagramma non sono sempre indicate le quantità in gioco, al più esse sono indicate con riferimento alle unità di prodotto, o ad una unità di prodotto. In

fig. 2.14a è riportato, come esempio di fabbricazione per processo, il diagramma di lavorazione di un cementificio. In riferimento ad esso, si riportano gli schemi di massima dei relativi impianti di produzione del clinker (fig. 2.14b), di lavorazione della pozzolana (fig. 2.14c), di preparazione del cemento (fig. 2.14d), di carico ed insaccamento (fig. 2.14e).

fig. 2.14. Esempi di rappresentazione dei flussi dei materiali in produzione.

2.4.4. Raccolta dei Dati per l'Analisi del Flusso dei Materiali.

L'analisi del flusso dei materiali in montaggio è stata una delle prime applicazioni dei principi dell'analisi del flusso di processo. Essa risale ai primi del '900, come applicazione dei principi di gestione scientifica del Taylor, dividendo l'intero processo in elementi, i quali sono studiati con cura, con riferimento alle interconnessioni con gli altri, in modo da aumentare l'efficienza globale del processo.

È ovvio che per stendere una buona soluzione del flusso dei materiali è necessario disporre di un corretto ciclo di lavorazione **C**, come si è visto in fig. 2.14. D'altra parte, il ciclo di lavorazione corretto è il risultato di un'analisi che lo ottimizzi per quanto possibile, comunque in accordo con l'analisi del valore, cioè con un'attenta valutazione delle operazioni in vista della loro eventuale eliminazione, combinazione, cambio di sequenza e miglioramento dei dettagli.

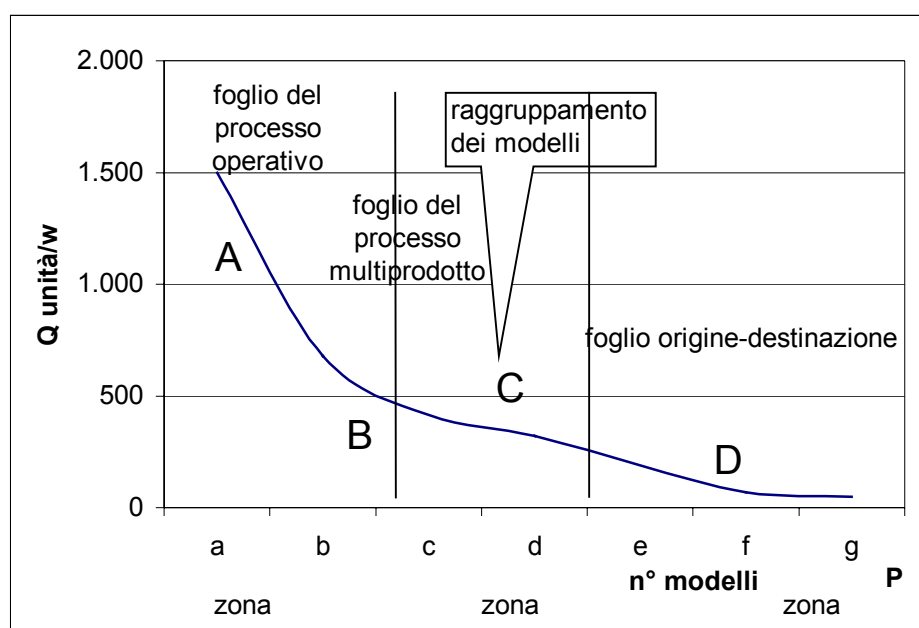


fig. 2.15. Analisi del mix produttivo di un'azienda e supporti decisionali.

Riprendendo la fig. 2.13, si può affermare che alle zone ivi descritte si associano le quattro situazioni diverse di fig. 2.15:

- A) quando si deve gestire la produzione di un unico modello, è conveniente impiegare il **foglio del processo operativo** di *lavorazione* o di *montaggio*,

- B) per pochi modelli, è conveniente usare il **foglio di processo operativo multi-prodotto**,
- C) per molti prodotti è opportuno procedere, a seconda dei casi, a:
- raggruppamenti di modelli in base alle caratteristiche fisiche,
 - raggruppamenti di modelli che hanno processi produttivi simili,
 - una selezione di modelli rappresentativi,
 - una selezione dei modelli che presentano le peggiori condizioni (ai fini del lay-out), spingendo l'analisi fino a rendere possibile l'utilizzo del foglio di processo operativo multiprodotto,
- D. per moltissimi prodotti diversificati, è bene usare il **foglio origine-destinazione**.

2.4.4.1. Foglio del Processo Operativo Monoprodotto

La raccolta dei dati mediante il Foglio del Processo Operativo Monoprodotto dà una visione grafica visiva del flusso dei materiali nel processo di lavorazione per l'ottenimento di un prodotto.

	rosso (operazione)	lavorazione
	verde (lavorazione)	
	arancione	movimentazione del materiale
	blu	controllo di quantità o qualità
	grigio	ritardo nella sequenza di operazioni
	arancione	stoccaggio, attesa di nuova operazione

fig. 2.16. Simboli unificati per la compilazione della scheda del flusso dei materiali.

Quando si sviluppa il processo, ogni materiale può essere soggetto alle 5 situazioni di fig. 2.16, che riporta i simboli ASME (American Society of Mechanical Engineers):

1. lavorazione, formatura, montaggio o smontaggio, con altri componenti,
2. trasporto,
3. conteggio, controllo, ispezione test, ecc.
4. attesa di un'operazione successiva, sosta per l'interruzione del lotto,
5. immagazzinamento.

Per uno studio accurato, il flusso dei materiali deve essere descritto in grande dettaglio e ciò può essere ottenuto partendo dai documenti di produzione seguenti:

- i disegni di assemblaggio,
- le schede del processo di trasporto,
- il foglio del processo operativo.

Il disegno di assemblaggio è steso per specificare come i pezzi lavorati devono essere montati. Esso è sviluppato dall'Ufficio di Ingegnerizzazione e comunicato alla produzione. Un esempio è quello di fig. 2.17. Come vi si vede, per mostrare chiaramente le fasi di montaggio, si possono usare gli *esplosi*, che rappresentano i componenti interessati dal processo di assemblaggio e che compongono l'intero o parte del prodotto finito.

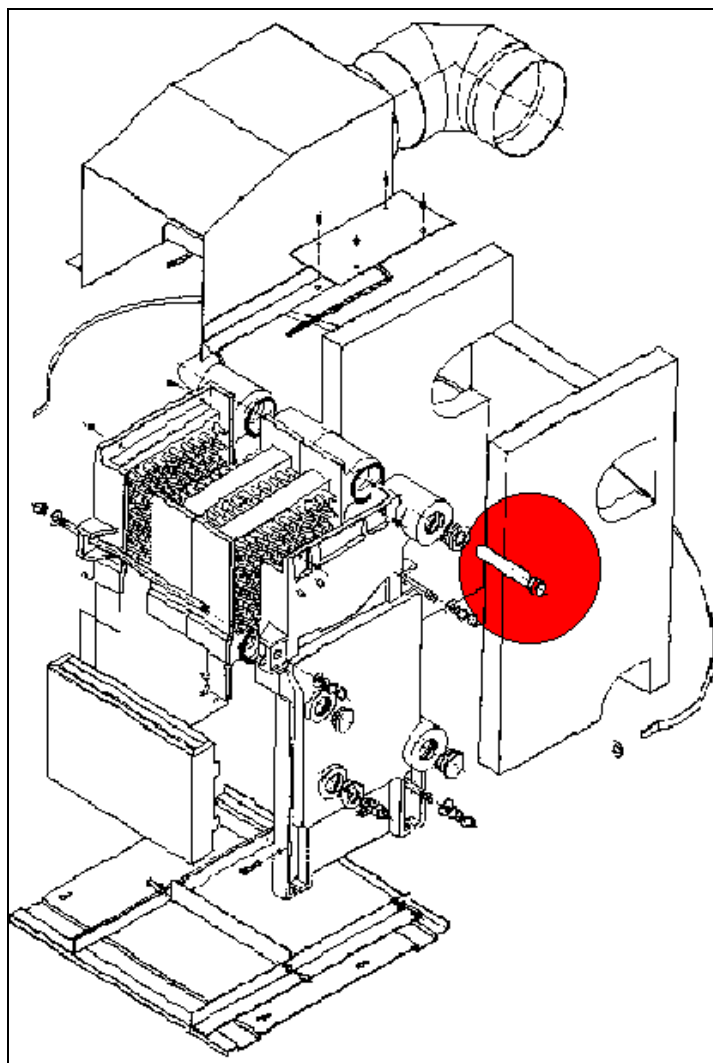


fig. 2.17. Disegno di assemblaggio (vista esplosa) di un corpo caldaia domestica a gas degli anni '80. È messo in evidenza il particolare programmato.

Presi insieme – le distinte base, le schede di lavorazione, i disegni di assemblaggio, i flow-chart di montaggio, ecc. – devono specificare completamente come il prodotto deve essere completato. Tutti questi documenti derivano dai disegni e dalle liste dei materiali (distinte base), e specificano il disegno originale del prodotto. Ci si potrebbe aspettare che essi siano parte della consueta documentazione di produzione. In realtà, i disegni del tipo di fig. 2.17, anche se aiutano a descrivere il flusso del processo di produzione, non danno granché di informazioni utili all'analisi ed al miglioramento del processo. Inoltre, sono costosi da stendere.

Invece, per l'analisi si preferiscono i **Fogli del Processo Operativo** di fig. 2.18, oppure i **Diagrammi del Processo Operativo** (sotto forma di flow-chart, come in fig. 2.19 o di tabella, come in fig. 2.20), i quali tendono a dividere il processo in elementi, a loro volta individuati con l'impiego di simboli e numeri. Il diagramma del processo operativo di fig. 2.19a è volutamente parziale e si riferisce al montaggio sul basamento già termicamente isolato del corpo caldaia di fig. 2.17 (per altro non ancora corredato di una serie di accessori, quali il bruciatore completo, il termostato di sicurezza, il rubinetto di carico e scarico dell'acqua, i tappi di chiusura, ecc.). In realtà, il foglio del processo operativo di montaggio dovrebbe indicare, inoltre:

2. Lo Studio di Fattibilità

1. l'intensità del flusso dei materiali sui tratti che collegano le varie stazioni operative,
2. l'eventuale allontanamento degli sfridi, dei ritagli o simili,

FOGLIO DEL PROCESSO OPERATIVO				SOMMARIO	presente	proposta
oggetto	TERM. REGOLAZIONE		posso eliminare?	operazioni	4	
operazione	COSTRUZIONE		posso combinare?	trasporti	4	
compilata da	AP		posso cambiare la sequenza?	controlli	3	
scheda n°	04	foglio	1 di 9	soste, ritardi	2	
				stoccaggi	2	
				tempo	1.04	
				distanza	68	
data 13.06.85 Piano di sviluppo C41						
distanza m	tempo h		presente ☒	descrizione	note	
			proposta ☐			
1	0.15	○ → ■ ▽ D		controllo integrità cappuccio ottone		
2	0.15	○ → ■ ▽ D		controllo integrità cappuccio ottone		
3	18	○ → □ ▽ D		trasporto vassoio componenti da magazzino 01		
4	0.12	● → □ ▽ D		saldatura cappuccio al tronchetto di rame		
5	0.18	● → □ ▽ D		saldatura terminale filettato al tronchetto di rame		
6	32	○ → □ ▽ D		trasporto insieme saldato al decapaggio		
7	0.03	○ → □ ▽ D		stoccaggio insieme saldato in deposito 09		
8	0 - 67	○ → □ ▽ D		attesa per saturazione vasca decapaggio		
9	0.24	○ → ■ ▽ D		collaudo finale insieme saldato		
10	14	○ → □ ▽ D		trasporto alla linea di montaggio		
11	0.03	○ → □ ▽ D		stoccaggio insieme saldato in deposito 13		
12	0.04	● → □ ▽ D		applicazione sigillante		
13	0.10	● → □ ▽ D		applicazione insieme a elemento di testa sx		
14	120-360	○ → □ ▽ D		attesa per reazione sigillante	cfr. stagione	
15	4	○ → □ ▽ D		trasporto componenti a magazzino 02 (testa linea)		
16		○ → □ ▽ D				
17		○ → □ ▽ D				
18		○ → □ ▽ D				
19		○ → □ ▽ D				
20		○ → □ ▽ D				

fig. 2.18. Foglio del Processo Operativo di assemblaggio del particolare di fig. 2.17.

tuttavia, trattandosi di un processo di assemblaggio, peraltro caratterizzato da componenti che sono di per sé sottoinsiemi per lo più unitari, tali indicazioni non risultano qui necessarie. Quindi e quando necessario, è più utile la rappresentazione di fig. 2.19b, dove sono riportati più completamente i dati, e che rappresenta un elemento dell'intero Diagramma del Processo Operativo del prodotto, cioè del Ciclo di Lavorazione. Il Ciclo di Lavorazione può riportare anche descrizioni più dettagliate, costituendo in questo modo una forma delle **istruzioni** del Sistema di Assicurazione della Qualità, come si vede nella tabella di fig. 2.20.

Come si vede in fig. 2.18, il foglio del processo operativo è più semplice e dettagliato dei disegni di assemblaggio di fig. 2.17, poiché esso riporta le attività richieste per il completamento di un singolo sottoinsieme. Sono elencate le singole macchine utilizzate, il lavoro manuale richiesto e le eventuali soste, con l'eventuale indicazione degli utensili e le attrezzature necessarie. Sono specificati anche i tempi previsti per ogni operazione.

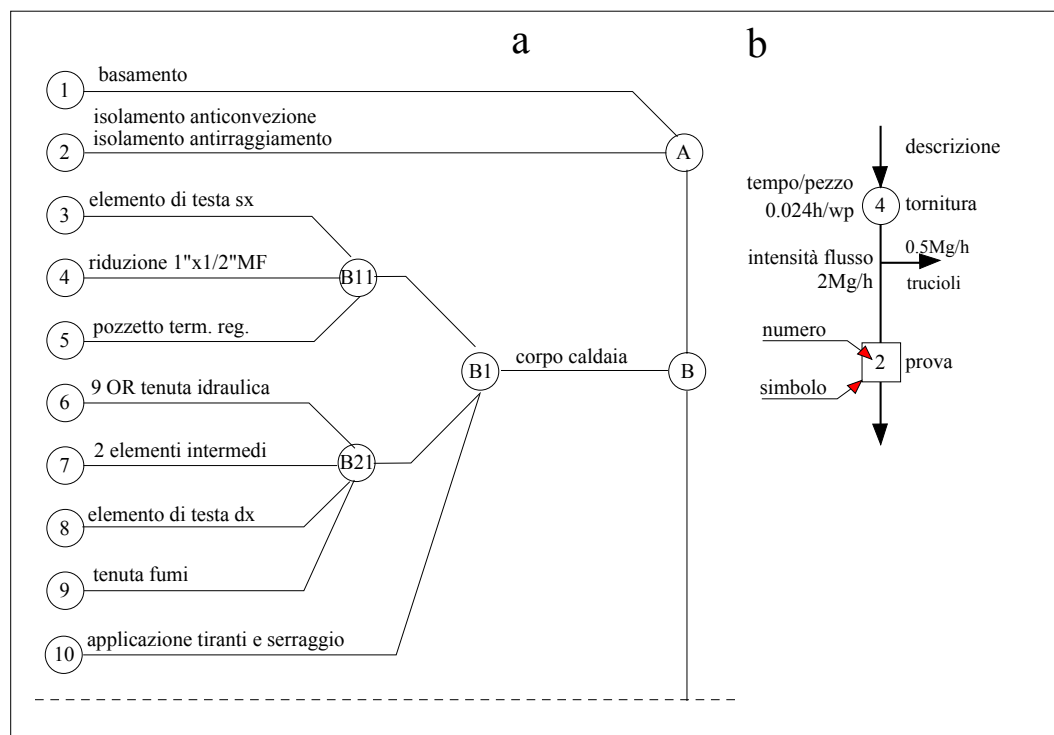


fig. 2.19. a) rappresentazione di parte del Diagramma del Processo Operativo di assemblaggio dell'intero insieme di fig. 2.17, b) elemento completo di Diagramma del Processo Operativo di Lavorazione.

Il Foglio del processo operativo è lo strumento chiave per migliorare il flusso dei materiali. Dal suo esame, il responsabile estrae la convenienza di raggruppare e combinare certe operazioni, di eliminarne, di semplificarne altre, al fine di migliorare l'efficienza globale. Questo può comportare modifiche di lay-out, di attrezzature e di metodi produttivi, ma addirittura cambiamenti di disegno del prodotto.

Tuttavia, la stesura del Foglio del processo operativo non è di per sé sufficiente, ed è necessario analizzarlo alla luce della rispondenza alle questioni seguenti, suggerite dalla tecnica dell'Analisi del Valore e prescritte dal Manuale della Qualità:

COSA. Ci si chiede quali operazioni sono effettivamente necessarie, se possono essere eliminate o se alcune di esse possono essere combinate insieme, se il prodotto può essere ridisegnato per facilitare la produzione,

CHI. Si esamina il personale impiegato in produzione e si valuta chi esegue le varie operazioni, se le lavorazioni possono essere ridisegnate per usare manodopera con minore qualifica professionale o per impiegare minor tempo, e se le attività possono essere combinate per aumentare i lotti ed aumentare la produttività o migliorare le condizioni di lavoro,

DOVE. Si analizza il luogo di lavoro e si valuta se il lay-out può essere migliorato per ridurre le distanze di trasporto dei materiali o per rendere le attività più accessibili,

QUANDO. Si guarda la sequenza delle operazioni e si cerca di ridurre i tempi di attesa e di stoccaggio dei materiali. In questa occasione si può vedere se certe attività costituiscono un collo di bottiglia,

COME. Si analizzano i metodi produttivi impiegati, cercando di vedere se possono essere sostituiti da altri migliori, se le attrezzature e le macchine possono essere migliorate e se le operazioni possono essere riviste per essere più facili o più rapide.

Oggi, l'analisi del flusso dei materiali privilegia le attività a favore della riduzione dei tempi di attraversamento, cioè del tempo che intercorre tra l'ordine, le lavorazioni, il montaggio e la spedizione del prodotto (lead-time di consegna). Essenzialmente, il tempo di attraversamento si riduce comprimendo gli sprechi nel processo, rappresentati da ogni operazione che non aggiunge valore durante il processo, e che sono costituiti dai tempi in cui i materiali sono fermi nei magazzini, anche intermedi, i tempi in cui essi sono trasportati da una stazione di lavoro ad un'altra, i tempi di controllo, ecc: in definitiva, solo i tempi reali di lavorazione aggiungono valore.

Nome del sottoinsieme			data	
			<u>9.6.85</u>	
componente n°			disegnato	
			AZ	
<u>corpo caldaia 4 el. C41.04.04</u>				
<u>pozzetto termostato regolazione</u>				
<u>C41.04.01.03</u>				
operazione	Tempo h	descrizione	reparto	attrezzatura
1	0.023	controllo integrità cappuccio ottone	00	visivo
2	0.023	controllo integrità raccordo filettato ottone	00	visivo, tampone
3	0.032	saldatura cappuccio al tronchetto di rame	01	U9 - saldatore
4	0.035	saldatura raccordo fil. al tronchetto di rame	01	U9 - saldatore
5	0.011	decapaggio	04	D3 - verniciatore
6	0.050	collaudo	03	PT1 – acqua, 5bar
7	0.012	applicazione sigillante Loctite S14-01	06	M3 - montatore
8	0.041	montaggio sull'elemento di testa sinistro	06	M3 - montatore
9		sosta minima 2h ESTATE incollaggio 3h AUTUNNO 6h INVERNO 5h PRIMAVERA	07	deposito intermedio 04

fig. 2.20. Ciclo di lavorazione del pozzetto del termostato di regolazione di fig. 2.17.

La rappresentazione del processo del flusso può essere arricchita di ulteriori informazioni che tengano conto anche degli spostamenti dei materiali attraverso i vari reparti, per dar luogo al **Ciclo di Lavorazione** di fig. 2.20. Anche quest'ultimo si riferisce ad una parte minuscola dell'intero processo, ancora la costruzione del pozzetto di fig. 2.17.

2.4.4.2. Unità MAG di Misura della Trasportabilità dei Materiali

Se i materiali sono sufficientemente simili, o più o meno omogenei, una misura di massa, di volume, di unità di trasporto (cioè di contenitori o piani di accatastamento) può essere sufficientemente comoda per indicare l'intensità del loro flusso. Invece, qualora non esistano contenitori od unità di trasporto comuni per materiali diversi per natura e caratteristiche, la misura dell'intensità di flusso risulta difficile. Quindi, negli im-

pianti industriali in cui sono trattati diversi tipi di materiali e né la massa né il volume possono costituire un valido metodo di misura, si passa alla definizione ed al conteggio del flusso mediante un'unità di trasporto convenzionale, il **MAG**, che dà la misura della **trasportabilità** dei materiali.

Il MAG (che deriva dal latino *magnitudo*) è un'unità di misura introdotta¹⁷ per misurare l'attitudine dei materiali ad essere trasportati; noto il numero MAG di un oggetto, il prodotto di esso per il flusso di oggetti, dà l'intensità di flusso di quell'oggetto. I fattori che influiscono sulla trasportabilità di un oggetto sono:

- le sue dimensioni,
- la sua densità,
- la sua forma,
- il rischio di danneggiamento al materiale, ai mezzi di trasporto, al personale,
- le sue condizioni e stato fisico,
- il suo valore.

tab. 2.III. Valori di MAG di alcuni oggetti.

Spille da balia da 6cm	1/200	Secchio per uso domestico	9
Rondelle Ø6	1/150	Archiviato per lettere	11
Dado ch11x4.5	1/50	Latta di combustibile da 22.5 litri	12
Bullone ch12x6	1/50	Cassetto pieno	18
Cubetto di zucchero	1/16	Armadietto a 2 cassetti	24
Pallina di vetro	1/16	Pallet euro-standard 1.2x1.2m ²	28
Scatola fiammiferi	1/16	Armadio a 4 cassetti	30
Fusibile ordinario	1/4	Vasca da bagno domestica	36
Pacchetto di sigarette	1/2	Pallet poco carico	38
Blocco di legno cubo lato 5cm	1	Pallet medio carico	44
Scatola di vernice da 1 litro	3	Pallet molto carico	48
Secchio da 4.5 litri con manico	5	Cabina telefonica	50

L'unità di MAG corrisponde ad un oggetto che:

- può essere tenuto con facilità in una mano,
- è ragionevolmente solido,
- ha forma compatta e si può accatastare in qualche modo,
- è poco suscettibile al danneggiamento,
- è ragionevolmente pulito, saldo e stabile.

Queste caratteristiche sono ben rappresentate da un blocco di legno secco e tagliato in modo da avere le dimensioni di circa 150cm³, cioè un cubo di lato un po' maggiore di 5cm. Se **n** oggetti uguali possono essere tenuti in una mano senza difficoltà, il valore MAG di ognuno di essi è 1/n, mentre se un oggetto richiede entrambe le mani unite a coppa, il suo MAG sarà 2. La tab. 2.III riporta i valori di MAG di alcuni oggetti.

Il riferimento alla mano non ha alcun rapporto col mezzo di trasporto reale. Il legame tra il valore MAG ed il volume dell'oggetto (inteso vuoto per pieno, quindi con riferimento alle dimensioni esterne) non è lineare, anzi tende a calare mano a mano che aumenta il volume, mettendo in evidenza che la trasportabilità tende ad aumentare.

¹⁷ A. Pareschi, Impianti Industriali, Criteri di scelta, programmazione e realizzazione, Ed. Progetto Leonardo, 1995

tab. 2.IV. Valori correttivi di MAG

grado	B densità	C forma	D rischio dannegg.	E condizioni
-3		Piatto, sovrappo- nibile, molto facile da riunire in gruppi		
-2	Molto leggero e vuoto	Facilmente sovrappo- nibile o raggrup- pabile	Non suscettibile di danno	
-1	Leggero e volumino- so	Discretamente sovrappo- nibile o poco raggruppabile	Suscettibile di danno trascurabile	
0	Ragionevolmente so- lido	Essenzialmente cu- bico con qualche fa- cilità di accumulo	Leggermente suscet- tibile di danno	Pulito, indeforma- bile, solido
1	Discretamente pesan- te e denso	Lungo, circolare, in qualche modo irrego- lare	Suscettibile di danno per schiacciamento, rottura o graffi	Deformabile, flo- scio, untuoso, diffi- cile da maneggiare
2	Pesante e denso	Molto lungo, sferi- co, irregolare	Molto suscettibile di danno grave	Unto, caldo, molto floscio, scivoloso, molto difficile da maneggiare
3	Molto pesante e denso	Estremamente lun- go, ripiegabile, par- ticolamente irrego- lare	Estremamente su- scettibile di danno, irreparabile	Pericoloso, coloso
4		Estremamente lun- go, ripiegabile, ol- tremodo irregolare	Estremamente su- scettibile di grave danno	Estremamente cal- do, molto pericolo- so

Il valore MAG viene corretto dai coefficienti di tab. 2.IV, relativi a:

- B. densità, $-2 \leq B \leq 3$
- C. forma, $-3 \leq C \leq 4$
- D. rischio di danneggiamento, $-2 \leq D \leq 4$
- E. condizioni. $0 \leq E \leq 4$

e l'espressione definitiva di MAG è:

$$A' = A \cdot [1 + 0.25 \cdot (B + C + D + E + F)]$$

In tab. 2.IV, il coefficiente **F** (relativo al valore dell'oggetto) non appare in quanto non comporta peggioramento della trasportabilità all'interno dell'Impresa, inoltre in quanto può essere considerato all'interno di **D**.

2.4.4.3. Foglio del Processo Operativo Multiprodotto

Quando la produzione consiste di un numero di modelli tra 5 a 10, invece di adottare il foglio operativo monoprodotto, è più utile riferirsi al Foglio del Processo Operativo Multiprodotto del tipo di fig. 2.21.

Se si adotta un lay-out con attrezzature disposte progressivamente secondo l'ordine delle operazioni da 1 a 6 di fig. 2.21, i prodotti **A** e **B** fluiscono solo in avanti, mentre **C**, **E** ed **F** presentano ritorni. Il primo obiettivo della stesura del lay-out è quello di avere un flusso prevalentemente in una direzione, con minimo di ritorni. Banalmente,

dall'analisi della fig. 2.21 è suggerita l'inversione della posizione delle stazioni di punzonatura 4 e tracciatura 3, in modo da togliere i cambi di direzione.

Poi, all'indicazione dei prodotti, si può associare la rispettiva intensità di flusso, allo scopo di disporre vicine le stazioni legate tra loro dalla maggiore intensità di flusso

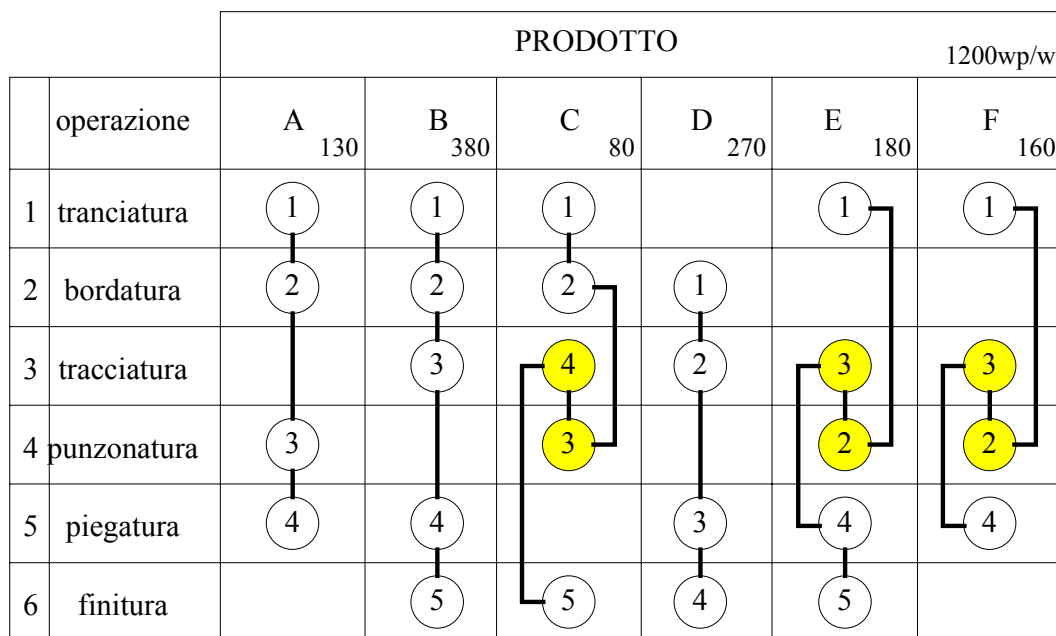


fig. 2.21. Foglio del Processo Operativo Multiprodotto per 6 modelli.

Come anticipato sopra, se il numero di prodotti aumenta molto, anche il Foglio del Processo Operativo Multiprodotto diventa illeggibile ed è consigliato di procedere al raggruppamento di modelli simili in base:

- alle caratteristiche fisiche di forma, dimensioni, semilavorati di partenza, ecc.
- al processo tecnologico,

per poi applicare ai gruppi il Foglio di Processo Operativo Multiprodotto, ed ottenere una disposizione secondo i concetti della *Group Technology*:

- selezionando i modelli rappresentativi di interi gruppi,
- individuando i modelli che si trovano nelle peggiori condizioni di trasformazione dal punto di vista del lay-out.

Se poi anche questo tentativo non potesse dare buoni risultati (come accade in molti casi di Job-Shop), si potrà applicare il Foglio Origine-Destinazione che verrà illustrato immediatamente.

2.4.4.4. Foglio Origine-Destinazione

Il Foglio Origine-Destinazione (in inglese *From-To Chart*) è rappresentato in fig. 2.22. Alle caselle è assegnata l'informazione riguardante il nome dei prodotti che interessano la lavorazione indicata in prima riga, ma si può indicare in essa anche l'intensità del relativo flusso, come indicato in fig. 2.22b e dove l'intensità totale di flusso è:

$$x = \sum_{A,B,C} n_j \cdot M_j \quad \text{ed in cui:}$$

n_j è il numero di prodotti nella finestra temporale scelta,

M_j è il valore in MAG di quel prodotto.

2. Lo Studio di Fattibilità

da \ a	tranciatura	bordatura	punzonatura	tracciatura	piegatura	finitura
tranciatura		ABC	EF			
bordatura			AC	BD		
punzonatura				CEF	A	
tracciatura					BDEF	C
piegatura						BDE
finitura						

ABC	x
-----	---

b

a

fig. 2.22. Foglio Origine-Destinazione.

da \ a	mat. prime ₁	taglio ₂	tornitura ₃	foratura ₄	fresatura ₅	controllo ₆	imballaggio ₇	prod. finiti ₈	TOTALI
mat. prime ₁		208		216					424
taglio ₂			120		576				696
tornitura ₃				160	528				688
foratura ₄			96		80	288			464
fresatura ₅				128		832			960
controllo ₆			160				384		544
imballaggio ₇								256	256
prod. finiti ₈									0
TOTALI	0	208	376	504	1.184	1.120	384	256	4.032

fig. 2.23. Foglio Origine-Destinazione di un Job-Shop (per reparti), con indicazione dei flussi, in unità MAG nell'unità di tempo.

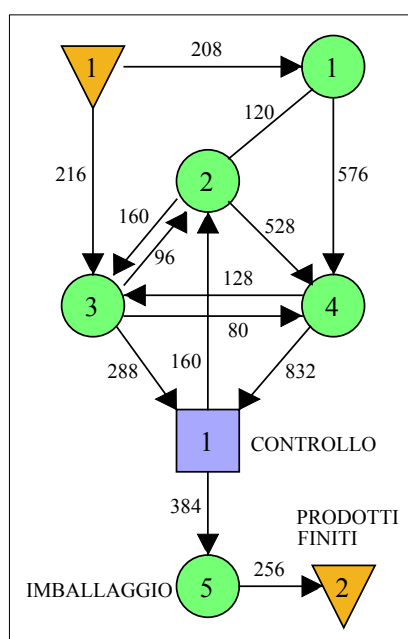


fig. 2.24. Diagramma del flusso dei materiali, o lay-out di primo tentativo, in un job-shop, caso di fig. 2.23.

Nel foglio Origine-Destinazione di fig. 2.22 possono essere riportati anche i valori di distanza tra i Centri di Lavorazione, ed in questo caso lo schema prende il nome di **Foglio degli Itinerari o dei Percorsi**. Perciò, se tra due reparti di lavorazione esiste un'elevata intensità di traffico, nel lay-out essi devono essere collocati vicini.

In fig. 2.23 è riportato il Foglio Origine-Destinazione di una installazione multiprodotto di tipo Job Shop, nel quale vengono riportati i flussi in unità MAG/tempo e, sulla base di esso, in fig. 2.24 viene generato un lay-out di primo tentativo, collocando vicine le coppie di reparti con forte flusso reciproco.

Nel disporre le operazioni sulle intestazioni di righe e colonne, è opportuno fare in modo che le cifre sopra la diagonale rappresentino gli spostamenti dei prodotti verso il completamento, mentre quelle sotto la diagonale si riferiscono ai flussi di ritorno.

2.4.4.5. Un Modo Giapponese per Migliorare il Flusso dei Materiali e delle Informazioni.

L'apprendimento di metodologie giapponesi può essere di aiuto al miglioramento del flusso dei materiali e delle informazioni. Tuttavia, l'impiego di tali metodologie rischia di rimanere infruttuoso e di non incidere in profondità nel tessuto aziendale, provocando fenomeni di rigetto causati dall'assenza dei risultati sperati e dal mancato coinvolgimento da parte del personale, se, alla base della loro applicazione, non viene parallelamente sviluppato un ulteriore concetto chiave di origine giapponese: il **Kaizen**¹⁸

Letteralmente, Kaizen significa miglioramento, ed è un concetto radicato non solo nella pratica industriale, ma anche nella vita sociale giapponese. Infatti, la filosofia Kaizen presuppone che tutto il modo di vivere debba essere costantemente migliorato sia nel campo produttivo, sia negli aspetti sociali, familiari o personali. Allora, Kaizen è sinonimo di piccoli miglioramenti, frutto di un'applicazione costante e di sforzi continui, finalizzati a mutare, in meglio e mediante piccoli incrementi, la condizione presente.

Pertanto, il Kaizen non è un'ulteriore tecnica manageriale utilizzabile per la risoluzione di problematiche specifiche, ma determina un diverso approccio alle difficoltà, stimolando l'applicazione delle diverse metodiche di gestione ed organizzazione produttiva, mediante la quale è possibile raggiungere risultati di eccellenza. Il Kaizen è un processo evolutivo progressivo e continuo, ove l'attenzione è posta ai piccoli mutamenti, che diventano il legante dei grandi cambiamenti determinati dall'innovazione.

Infatti, l'innovazione tende a procedere a salti, con incrementi discreti e discontinui, ma non è di per sé in grado di garantire il mantenimento degli standard produttivi raggiunti. In tab. 2.V sono riportate le principali differenze tra Kaizen ed innovazione.

Applicando la strategia Kaizen, alcune tecniche, come il TQC (Total Quality Control), ampliano il loro campo di azione, partendo dal controllo dei prodotti, all'analisi globale dei processi produttivi, sino alla considerazione del sistema aziendale nel suo complesso. Inoltre, lo stesso TQC è soggetto ad un mutamento evolutivo, con un innalzamento progressivo degli standard misurabili.

Le tecniche di TQC si prefiggono, come detto, la completa soddisfazione del cliente. Nell'ambito aziendale, il **cliente** è rappresentato dalla fase produttiva situata a valle, sia in termini di prodotto costruito, sia di processo sviluppato. Nel caso in cui l'analisi mi-

¹⁸ C. Rafele, *Applicazione della metodologia Kaizen all'ergonomia: aspetti innovativi e possibili sviluppi*, Impiantistica Italiana, 2, 1994

2. Lo Studio di Fattibilità

gliorativa consideri la prestazione umana quale oggetto di applicazione, il cliente da soddisfare diviene la persona impegnata nelle operazioni produttive a valle di quella presa in esame. Il personale addetto alla produzione diventa il cliente del progettista del posto di lavoro, ovvero, dell'analisi ergonomica necessaria alla sua definizione.

tab. 2.V. Analisi comparativa tra le caratteristiche del Kaizen e dell'innovazione.

	Kaizen	Innovazione
1. Effetto	Di lungo termine e durevole, ma tranquillo	Di breve termine, ma emozionante
2. Velocità	A piccoli passi	A grandi passi
3. Periodo di tempo	Continuo ed in aumento	Intermittente e non in aumento
4. Cambiamento	Graduale e costante	Improvviso ed incostante
5. Coinvolgimento	Tutti	Pochi <i>campioni</i> scelti
6. Approccio	Collettivismo, sforzi di gruppo, approccio sistemico	Individualismo spinto, idee e sforzi individuali
7. Modalità	Manutenzione e miglioramento	Smantellamento e ricostruzione
8. Catalizzatore	Know-how convenzionali e stato dell'arte	Progressi tecnologici, nuove invenzioni, nuove teorie
9. Esigenze pratiche	Pochi investimenti, grandi sforzi per il progredire del miglioramento	Grandi investimenti, ma pochi sforzi per preservarli
10. Orientamento dello sforzo	Alle persone	Alla tecnologia
11. Criteri di valutazione	Processo e sforzi per migliori risultati	Risultati e profitti
12. Vantaggi	Buon funzionamento in un'economia a lenta crescita	Si addice meglio ad un'economia in crescita veloce

2.4.4.6. Applicazione della Metodologia Kaizen all'Ergonomia.

Come è noto, l'ergonomia definisce i rapporti tra l'uomo, la macchina e l'ambiente di lavoro, visti secondo un'ottica interdisciplinare che coinvolge l'anatomia, l'antropometria, la fisiologia, la psicologia, l'igiene del lavoro oltre, ovviamente, all'ingegneria ed all'organizzazione del lavoro. Essa considera l'uomo come soggetto centrale a cui i restanti elementi del processo produttivo devono adattarsi.

Il risultato di tale studio è il raggiungimento di alcuni obiettivi fondamentali quali: la massima sicurezza, il massimo benessere ed il massimo rendimento dell'operatore. Tali obiettivi dovranno essere perseguiti, preliminarmente, in fase di progettazione del sistema ed, in ottica Kaizen, costantemente migliorati durante l'utilizzo. Peraltro, l'aggettivo **massimo** non esprime un obiettivo stabilmente definibile, ma diventa un'aspirazione progressiva all'ottimo.

Solamente l'attenzione al processo, suddiviso nelle sue azioni elementari, consente un'analisi migliorativa sia sul modello nella fase progettuale, sia sull'oggetto nella fase di utilizzo. Infatti, l'approccio di tipo Kaizen considera con attenzione i **piccoli fatti** del lavoro, le loro cause ed i conseguenti effetti, con un processo di inesauribile implementazione.

Sulla base delle esperienze eseguite nel campo della progettazione ergonomica, si riporta l'esempio di una serie di quesiti utili ad una corretta definizione dei posti di lavoro. Secondo la logica Kaizen, tali quesiti rappresentano unicamente la base di partenza

per un processo di ottimizzazione, che inizia nel medesimo istante in cui un elemento del sistema produttivo viene definito o realizzato. Infatti, agli interrogativi della lista possono fornire risposte sia i progettisti, sia gli operatori in produzione. L'operatore, assegnato ad un determinato posto di lavoro, è in grado di valutarne i difetti e le inefficienze in modo dettagliato. Pertanto, occorre stimolare l'approccio Kaizen, al fine di utilizzare la conoscenza specifica degli addetti ai singoli posti di lavoro, magari nell'ambito del cosiddetto **sistema dei suggerimenti**. Tale sistema permette la valorizzazione dell'esperienza specifica degli operatori diretti, raccogliendone i suggerimenti ed applicandoli ogni qualvolta risultino corretti. Inoltre, l'attenzione dimostrata dal management ai suggerimenti delle maestranze ne stimola ulteriormente il coinvolgimento nel miglioramento produttivo, realizzando una spirale virtuosa continua. Pertanto, l'eventuale carenza progettuale o costruttiva di un'attrezzatura di lavoro diventa lo stimolo per risolvere un problema che ostacola il flusso produttivo. Inoltre, la risoluzione delle problematiche emerse in una specifica fase permette di rianalizzare l'intero ciclo produttivo collegato, consentendone un miglioramento complessivo.

Esempio

La check-list riportata nel seguito, è suddivisa secondo alcune azioni tipiche dei posti di lavoro manuale o parzialmente meccanizzati ed esamina talune condizioni operative adattabili a differenti realtà produttive.

A) Prendere,

- il movimento può essere soppresso?
- l'immagazzinamento permette di eliminare la ricerca?
- i pezzi ed i materiali sono correttamente segnalati e reperibili entro specifici contenitori?
- si possono standardizzare utensili e pezzi?
- contenitori diversi possono facilitare la ricerca (contenitori trasparenti, divisioni interne, ecc.)?
- i pezzi sono intercambiabili?
- l'approvvigionamento è soddisfacente?
- i pezzi possono essere posizionati nell'attività precedente?
- gli attrezzi colorati facilitano la ricerca?
- è possibile afferrare più di un oggetto durante la stessa operazione?
- uno scivolo permette di raggiungere più rapidamente piccoli pezzi?
- utensili e pezzi possono essere posizionati in maniera più semplice?
- si possono utilizzare utensili speciali?
- si possono utilizzare dispositivi magnetici?
- i pezzi vengono trasferiti da una mano all'altra?
- il montaggio permette una facile presa per l'allontanamento del pezzo dalla zona di lavoro?

B) Lasciare,

- il movimento può essere soppresso?
- l'abbandono del pezzo può essere fatto durante il trasporto?
- l'espulsione è necessariamente manuale, o può essere fatta automaticamente?
- può essere montato un espulsore?
- i contenitori di ricezione sono posizionati correttamente?
- terminato l'abbandono del pezzo, la mano è posta correttamente lungo la traiettoria per il movimento successivo?
- esiste un punto di presa fissa dell'utensile?
- gli utensili sono immagazzinati sul posto di lavoro?
- è possibile utilizzare un caricatore di pezzi?
- è possibile utilizzare un serraggio rapido?

2. Lo Studio di Fattibilità

C) Controllo visivo,

- può essere eliminato?
- può essere eseguito in altre stazioni?
- può essere eseguito contemporaneamente ad altre operazioni?
- richiede molte riprese del pezzo?
- un apparecchio di controllo elimina il controllo visivo?
- durante il controllo vi sono sollecitazioni (rumore, vibrazioni, ecc.)?
- è possibile modificare il tipo di accertamento per ridurre il tempo di esecuzione?

D) Movimenti del corpo umano,

- vi sono movimenti del corpo o di parti di esso inutili o scorretti?
- la distanza percorsa può essere ridotta?
- le membra del corpo sono utilizzate correttamente?
- il movimento è omogeneo con le dimensioni delle membra del corpo interessate?
- si può sostituire un movimento con l'ausilio di un trasportatore od uno scivolo?
- il movimento può interessare contemporaneamente più pezzi?
- un movimento delle mani può essere migliorato con un comando a pedale?
- il movimento è rallentato dalla delicatezza dell'operazione?
- le attività precedenti e successive sono corrette?
- le braccia fanno movimenti simultanei, simmetrici e normali?
- i pezzi possono essere spinti?
- si può meccanizzare l'operazione?
- si possono utilizzare utensili migliori?
- si possono fare altre attività mentre la macchina lavora?
- si possono utilizzare utensili elettrici o pneumatici?
- si possono utilizzare serraggi pneumatici od a camme?

E) Bloccare,

- il bloccaggio dell'attrezzo può essere comandato tramite pedale?
- quando è la mano ad eseguire il bloccaggio, è possibile prevedere un appoggio per la stessa?

F) Riafferrare,

- è necessario?
- le tolleranze di accoppiamento possono essere aumentate?
- si possono utilizzare attrezzature che possano eliminare tale operazione?
- si può riafferrare durante il trasporto?
- il lavoro di carico e scarico del pezzo può essere ridotto?

G) Utensili e montaggio,

- gli utensili sono i migliori per quel tipo di lavoro?
- gli utensili sono in buono stato?
- gli utensili ed il loro montaggio sono modificabili al fine di un minore impegno dell'operatore?

H) Condizioni generali del posto di lavoro,

- illuminamento, temperatura, ventilazione corrispondono alle migliori condizioni di lavoro?
- la sicurezza del posto di lavoro è stata controllata?
- l'operatore può lavorare alternativamente seduto ed in piedi?
- la funzionalità delle attrezzature del posto di lavoro è stata verificata?

I) Operatore.

- l'operatore è qualificato professionalmente e psicologicamente per quel lavoro?
- l'attenzione posta nel lavoro è sufficiente?
- l'operatore può migliorare la produzione se gli viene proposta una condizione di lavoro diversa?

- l'operatore è stimolato a fornire suggerimenti per migliorare le operazioni od il posto di lavoro?

2.4.5. Studio delle Attività di Servizio

Lo studio del flusso dei materiali non può essere l'unico aspetto preso in considerazione per la stesura del lay-out. Esso deve essere combinato con l'analisi delle attività di servizio. Infatti, i servizi ausiliari devono integrarsi col flusso dei materiali secondo uno schema organizzato:

- il servizio di manutenzione, i servizi igienici, gli spogliatoi, le centrali di produzione e distribuzione dell'energia, di distribuzione e di raccolta dei materiali, ecc. hanno collegamenti preferenziali con le aree operative interessate,
- può accadere che il flusso di materiali sia poco importante per alcune attività (industrie elettroniche, di gioielli, di distribuzione e trasporto di fluidi mediante piping, ecc.). In questi casi i rapporti tra le varie aree sono meglio trattati riferendoci al movimento di documenti e persone,
- anche se il flusso dei materiali è importante, la sequenza del processo produttivo non può essere rispettato con una congruente distribuzione dei reparti, ad esempio per ragioni di sicurezza, di opportunità per evitare inquinamenti e contaminazioni, per il mantenimento della qualità, ecc.

L'esigenza di avere un metodo sistematico per collegare le attività dei servizi tra loro e per integrarli col flusso dei materiali ha portato a creare la **Tabella dei Rapporti** nella forma di fig. 2.25. Con la tabella dei rapporti viene raccolta una grande quantità di informazioni in un solo foglio. Come si vede in fig. 2.25, ogni casella, incrocio tra due attività, porta due indicazioni:

- il grado di rapporto (collegamento) espresso nella scala qualitativa ASME unificata, indicata nella tabella in basso a sinistra,
- la ragione della scelta del grado di rapporto, che è presa dalla tabella in basso a destra. Le ragioni che sostengono il giudizio di rapporto variano da caso a caso, ma alcune sono tipiche e frequentemente usate, per cui possono essere elencate direttamente in tabella.

L'assegnazione di una lettera per esprimere un giudizio ad una casella (cioè ad una coppia di attività) avviene con diversi metodi:

- a. conoscenza ed esperienza acquisita dall'estensore del lay-out,
- b. studio dettagliato con calcoli del progettista del lay-out,
- c. opinione delle persone interessate, sentite con colloqui e questionari,
- d. stima comparativa e ponderata del progettista del lay-out, sulla base dei metodi precedenti.

In ogni tabella si possono trovare caselle riempite col metodo **a** ed altre coi metodi **c** e **d**, che sono tipicamente qualitativi e richiedono poco tempo. Assegnando il valore **0** al giudizio **U** e quello **1** al giudizio **A**, si può costruire una scala numerica con passo 0.25. Per ottenere maggiore precisione, si può usare la lettera col segno -, intendendo di aver assegnato un giudizio intermedio tra la lettera usata e quella precedente (avente un giudizio inferiore), ottenendo così incrementi di giudizio pari a 0,125.

2. Lo Studio di Fattibilità

descrizione attività		impianto _____	progetto _____
1		riferimento _____	data _____
2		compilatore _____	verificatore _____
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			

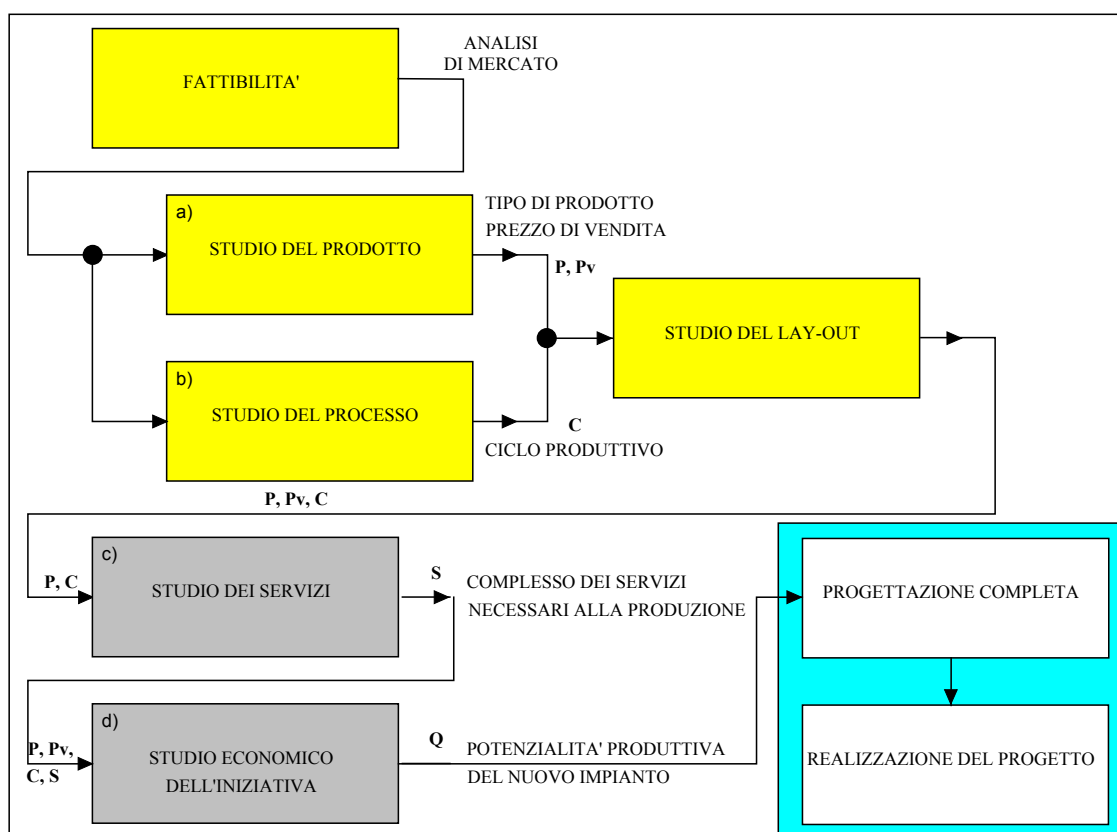
reparto	firma approvatore

valore	collegamenti
A	assolutamente necessario
E	eccezionalmente importante
I	importante
O	ordinaria importanza
U	non importante
X	non desiderato
XX	assolutamente indesiderato

codice	ragioni
1	necessità di contatti personali
2	uso degli stessi mezzi
3	esigenze di direzione
4	supervisione e controllo
5	pericolo, inquinamento, contaminazione
6	esecuzione di lavori simili
7	...

fig. 2.25. Tabella dei Rapporti.

2.5. PROGETTO DEL LAY-OUT GENERALE



2.5.1. La Modellazione dei Flussi del Processo.

Una grande quantità di modelli sono usati per descrivere i flussi del processo e si basano sulla programmazione lineare, la simulazione, la teoria delle code, ecc. Senza voler entrare nelle singole metodologie, qui si vuole proporre l'approccio generale alla modellazione dei flussi del processo, e quanto esso sia utile a supporto delle decisioni nel progetto del processo.

Come abbiamo visto in fig. 2.14, il primo passo è la stesura del flow-chart del processo, anche sotto la forma di diagramma a blocchi. Il diagramma a blocchi ne comprende i tre tipi di fig. 2.26:

- il blocco di *processo*,
- il blocco della *decisione*,
- il blocco di *feedback*.

Il *blocco di processo* comprende gli input, l'output e le trasformazioni, cioè è il sistema usato per convertire gli input in output. Nel *blocco della decisione*, l'output è il risultato di una decisione presa durante il processo, e può essere collegato a rami diversi di output, a seconda della decisione presa. Nel *blocco di feedback*, l'informazione a livello di output è riportata indietro per controllare o cambiare i valori di input; questo tipo di blocco è più frequente per scopi di controllo di gestione.

Quindi, il processo produttivo può essere descritto da una rete di blocchi e con i flow-chart a blocchi possono essere rappresentati anche sistemi molto complessi. Comunque, solitamente si procede a separare dal flow-chart sistemi e sottosistemi di inte-

resse per lo specifico scopo, in modo da poter applicare ad essi modelli matematici comprendenti sistemi di interrelazioni i più semplici possibile.

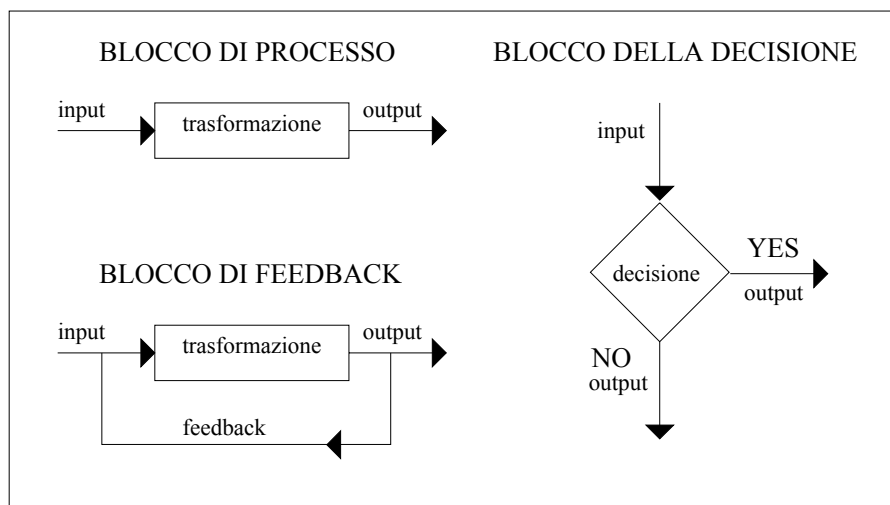


fig. 2.26. Tipi di blocchi usati nel flow-chart.

2.5.1.1. Lay-out dei Processi Intermittenti, a Punto Fisso

La simulazione di un sistema produttivo di tipo Job-Shop è stata una delle prime applicazioni della modellazione dei flussi di processo. In effetti, la sequenza degli eventi da controllare può essere ridotta concettualmente ad uno schema semplice: come visto in §1.2.2.2, dopo che un nuovo ordine è arrivato, si fa un test per vedere se esso può essere evaso direttamente da magazzino; se questo non è possibile, si valuta se l'ordine può essere aggiunto ai lotti in produzione, prima di programmarne l'evasione come lotto separato. A seconda della convenienza, l'ordine viene evaso o come aggiunta ad un lotto già in produzione, oppure viene assegnato ad una stazione libera.

Da quanto detto, risulta che il processo di decisione descritto non si riferisce particolarmente al flusso dei materiali ma, piuttosto, al flusso delle informazioni: è su questa base che viene principalmente svolta la gestione del processo del tipo Job-Shop. Dopo aver steso il diagrammi a blocchi relativo, il sistema di controllo delle informazioni è validato con una simulazione. Gli ordinativi in arrivo sono accettati dal modello di simulazione e viene determinato l'effetto risultante sui materiali e le sequenze delle operazioni. Ne risulta che possono essere provati diverse regole di scheduling e diversi passi delle lavorazioni, prima di mandare in produzione l'ordine. Cioè, l'uso dei flow-chart può essere esteso, con l'impiego dei modelli di simulazione, all'analisi dei flussi del processo. Questo permette di studiare e migliorare il sistema produttivo per mezzo di un'analisi formale matematica.

Bisogna ricordare che qui il flusso dei materiali in un processo intermittente è a salti, poiché prodotti diversi fluiscono secondo percorsi diversi all'interno dello stabilimento. Dal punto di vista del lay-out, le lavorazioni di un processo intermittente possono ancora essere ricomprese in un *processo*, perché attrezzature e macchine simili ed operatori con qualifica professionale simile sono raggruppati insieme in centri di lavoro o reparti. Ma ogni prodotto in lavorazione fluisce attraverso alcuni work-center e reparti saltandone o ripetendone altri, in dipendenza dalle operazioni richieste.

Il problema del lay-out del flusso intermittente può essere ricondotto alla considerazione che il flusso tra alcuni work-center e reparti può essere molto forte, mentre può

essere molto meno intenso tra altri. Così, in un ospedale il flusso dei pazienti tra il reparto raggi-X e la clinica ortopedica può essere molto intenso, poiché molte fratture richiedono l'impiego di lastre prima del trattamento. Invece, altri reparti, come la pediatria o la ginecologia, possono avere bassi interscambi col reparto raggi X. A causa di tali differenze di volume di flusso, si cerca di arrivare ad un economico compromesso sistemando i reparti che hanno forte interscambio vicini tra loro.

In altre parole, la scelta di un lay-out a flusso intermittente determina la disposizione relativa dei work-center e dei reparti in modo da rispettare un criterio di scelta predefinito, entro vincoli fisici definiti. I criteri decisionali da rispettare possono essere diversi, minimizzare i costi di trasporto dei materiali, minimizzare le distanze percorse dai materiali o dagli addetti, minimizzare i tempi per il raggiungimento del posto di lavoro, massimizzare la vicinanza di work-center o reparti fortemente correlati, ecc. I vincoli fisici più comuni sono limitazioni di spazio, la richiesta di mantenere nella loro posizione alcuni reparti (ad esempio i magazzini di carico e scarico), la limitata capacità di carico di certe aree, le regole di sicurezza del personale, la prevenzione degli incendi e degli incidenti rilevanti, le altezze dei locali, ecc. Il problema è di trovare il migliore lay-out, od un lay-out accettabile, che possa rispettare i vincoli imposti.

Perciò, i problemi di lay-out della produzione intermittente cadono entro due categorie:

- quelli che comportano criteri decisionali quantitativi,
- quelli che comportano solamente criteri decisionali qualitativi;

ed i primi richiedono l'esame di parametri che possono essere espressi in termini misurabili quali i costi di trasporto dei materiali, il tempo di trasferimento degli addetti o dei clienti, le distanze, ecc. Invece, i secondi comportano scelte difficilmente esprimibili in termini misurabili, come la forte convenienza di piazzare le lavorazioni pericolose o nocive (saldatura, verniciatura, stampaggio) lontano dai reparti più frequentati. Queste relazioni qualitative non possono essere trattate allo stesso modo con cui si risolvono i problemi di origine quantitativa.

2.5.1.2. Lay-out dei Processi in Linea.

Il lay-out dei processi in linea differisce grandemente da quello dei processi intermittenti. Infatti, nei processi in linea la sequenza delle operazioni è fissata dal disegno del prodotto ed il prodotto è ottenuto con lavorazioni sequenziali passando da una stazione alla successiva, seguendo un flusso determinato. Cioè, mentre il lay-out in linea non influenza la direzione del flusso del prodotto, esso determina l'efficienza della linea ed i turni assegnati ai singoli operatori.

Il caso classico di operazioni in linea è la catena di montaggio, la quale, come è stato detto sopra, presenta una elevata efficienza di produzione. Tuttavia, allo stesso tempo, la catena di montaggio può presentare seri effetti collaterali in termini di stress degli operatori ed inconvenienti in termini di assenteismo e di abbandoni. Per questo, il progetto della linea e la valutazione delle possibili alternative al suo impiego devono costituire una fonte di impegno, primariamente da parte della dirigenza, la quale può, ad esempio, essere chiamata a decidere tra produzione in linea oppure ad isole.

2.5.1.3. Generalità

Come ampiamente visto in §2.4, nello studio del lay-out si possono incontrare 3 casi:

2. Lo Studio di Fattibilità

1. è sufficiente usare il **Foglio del Flusso dei Materiali**, quando non ci sono o sono pochi i servizi collaterali e praticamente tutte le aree sono di produzione,
2. è sufficiente usare la **Tabella dei Rapporti tra le Attività**, quando il flusso dei materiali è poco importante o quasi inesistente, mentre sono importanti le attività di servizio,
3. è conveniente ed utile **combinare** il foglio del flusso dei materiali con la tabella dei rapporti tra le attività, quando le attività produttive e quelle collaterali non sono reciprocamente trascurabili.

Per la scelta tra i metodi, si può far riferimento alla fig. 2.27, che ne mostra le fasce di applicazione per i casi seguenti:

- A. acciaierie, industrie di processo, industria manifatturiera con produzione di massa, ecc.
- B. fabbriche di utensili, industrie manifatturiere di generi speciali, non aventi linee principali ben definite, ecc.
- C. reparti e servizi di ispezione e manutenzione, laboratori di prova, uffici con alto volume di operazioni, ecc.
- D. uffici con mansioni esecutive, sala disegni, aree di uffici, ecc.

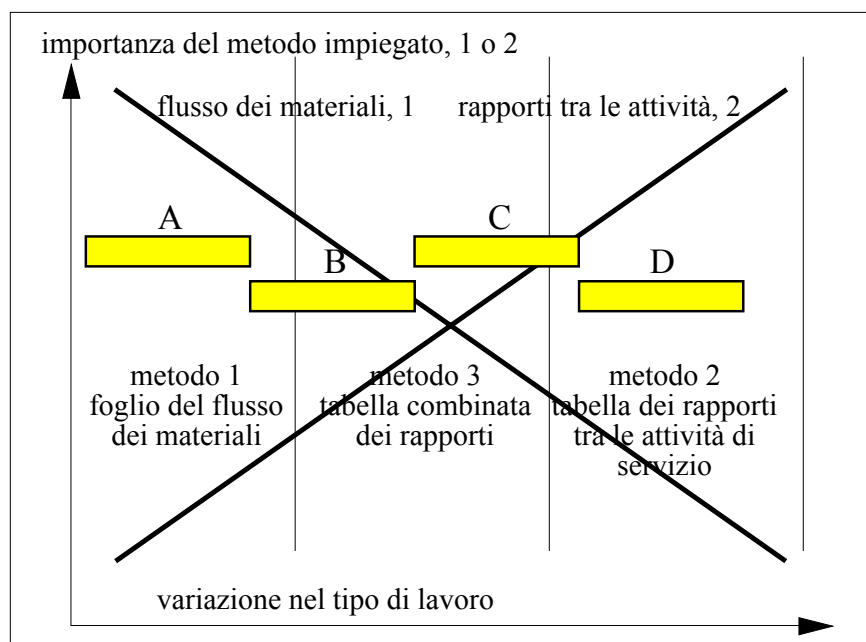


fig. 2.27. Quadro della scelta del metodo.

In generale ci si trova nella situazione 3 ed è conveniente combinare le attività produttive ed i servizi in un'unica tabella dei rapporti, ottenendo un'integrazione mediante i seguenti passi:

- analisi dei flussi dei materiali per le attività produttive, stendendo il foglio del flusso dei materiali,
- analisi dei rapporti tra le attività di servizio, stendendo la tabella dei rapporti,
- integrazione dei due fogli per ottenere la **Tabella dei Rapporti Combinata**.

2.5.2. I Criteri Qualitativi di Stesura dei Flussi e dei Rapporti.

Per incorporare nella tabella dei rapporti anche le attività operative di produzione, bisogna convertire i dati sull'intensità del flusso dei materiali fra due assegnati reparti nel noto codice di giudizio letterale ASME **A**, **E**, **I**, **O**, **N** ed **X**. In pratica, è necessario:

- individuare tutte le attività di servizio e produttive ed inserirle insieme nella stessa tabella, come in fig. 2.25 o fig. 2.28,
- assegnare un giudizio letterale di relazione tra le attività di servizio,
- convertire i dati di intensità di flusso in giudizio letterale tra le attività (reparti),
- assegnare un giudizio letterale anche alla relazione di vicinanza tra ciascuna attività di servizio e ciascuna attività produttiva, cioè praticamente collegare ogni reparto con i servizi necessari.

Il problema della locazione qualitativa è stato studiato da Muther e Wheeler¹⁹, che hanno proposto il metodo di progettazione SLP (Systematic Lay-out Planning), poi adottato dall'ASME, come visto in §2.4.5. Così, nel loro approccio il grado di desiderabilità della sistemazione di una locazione vicina ad un'altra è espressa in termini verbosi da espressioni del tipo noto: *assolutamente necessaria, ecc.*

Questi gradi obbediscono a considerazioni di sicurezza, di gradimento del cliente, ecc. e possono essere specificati in linguaggio ASME, come indicato in fig. 2.28 per il caso di un supermercato (anche qui le notazioni sono sistemate in una matrice, analogamente a quanto fatto in fig. 2.25, ma disposte secondo le direzioni cartesiane). L'obiettivo del lay-out è quello di rendere facile l'acquisto. Perciò, può essere desiderabile sistemare le merci pesanti vicino alla porta di uscita (per ridurre la distanza di trasporto), proporre gli alimenti per bambini vicino alla zona del latte (per ridurre l'area soggetta a condizioni di sicurezza igienica), porre le merci più costose vicino alla cassa (per facilitarne il controllo contro i furti), ecc.

Poiché è fondamentale identificare e collegare correttamente *tutte* le attività, si possono incontrare limiti pratici nella stesura della tabella combinata dei rapporti, dovuti alle numerose attività, che possono superare anche il numero di 40. In tali casi, conviene raggruppare e tenere vicine nella tabella le attività simili o quelle in cui è responsabile un'unica persona, per rendere più facile la compilazione, la lettura ed il controllo della tabella. Qui la parola *attività* va intesa in senso lato, in quanto *tutti* gli elementi interessati dal progetto del lay-out devono essere considerati. Ad esempio, in fig. 2.29 tra le attività è stata inserita anche la voce *10. finestre*.

In definitiva, i metodi esposti e che sono alla base della stesura del lay-out sono qualitativi e si giustificano quando le relazioni tra le locazioni sono espresse in termini non misurabili direttamente (come visto sopra, il desiderio di sistemare una locazione vicina, o lontana, da un'altra). Spesso, tali criteri qualitativi sono quelli più facilmente ritrovabili e sono più appropriati di quelli quantitativi.

In accordo con la fig. 2.27, tutte le informazioni raccolte nel *foglio di flusso dei materiali*, nella *tabella delle relazioni tra le attività* e nella conseguente *tabella combinata delle relazioni* permettono di tracciare i seguenti grafici, che ne rappresentano la visualizzazione:

- A. il *diagramma di flusso dei materiali*, utile quando si è vicini alle condizioni di fig. 2.24,

¹⁹ R.Muther, J.D.Wheeler, *Practical Plant Lay-out*, McGraw-Hill, 1955

2. Lo Studio di Fattibilità

- B.** il *diagramma dei rapporti tra le attività di servizio*, quando queste attività sono preponderanti, come in fig. 2.25,
C. il *diagramma combinato dei rapporti tra tutte le attività produttive e di servizio*.

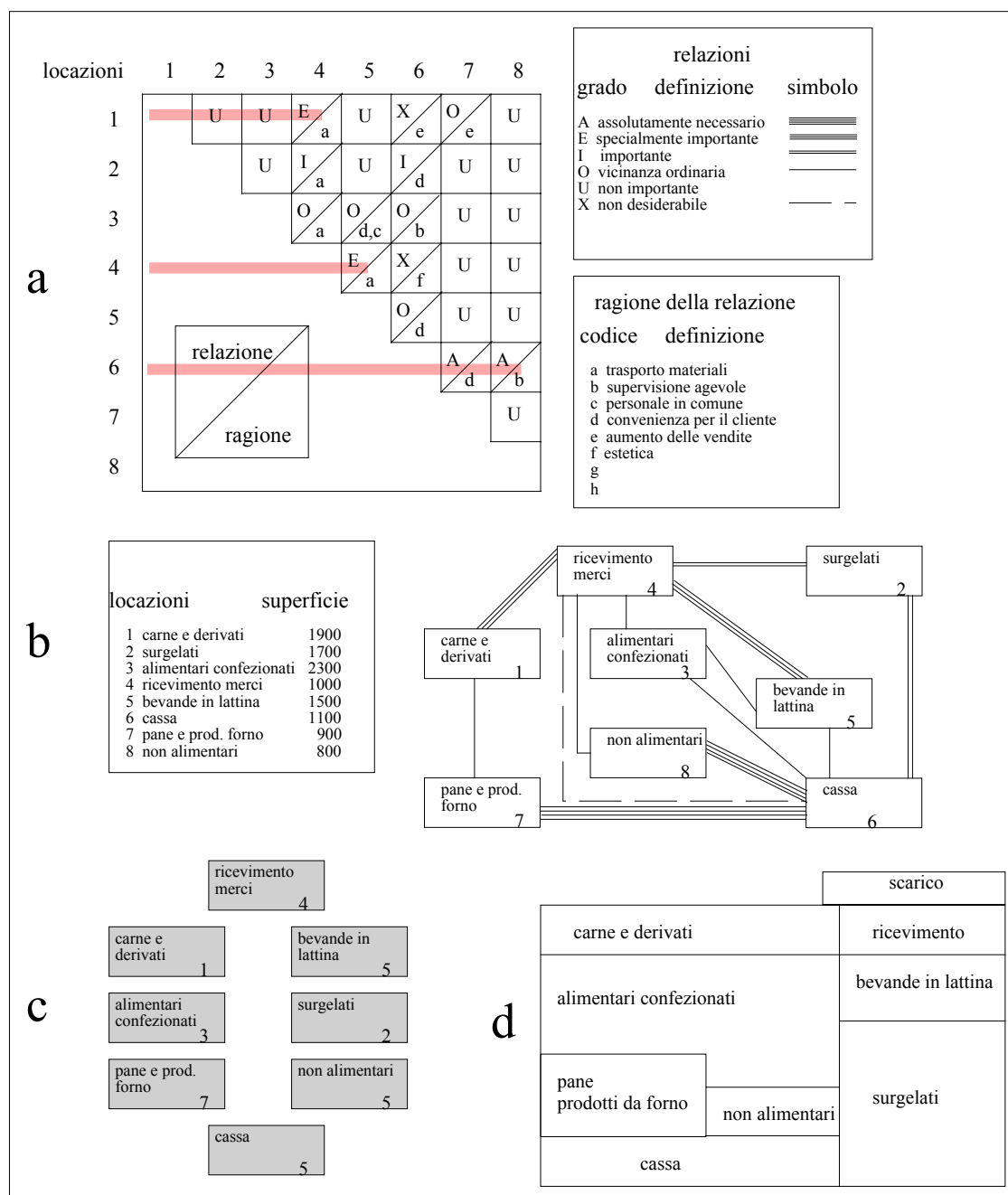


fig. 2.28. Esempio di lay-out di supermercato.

- a) diagramma qualitativo,
 b) piano delle relazioni,
 c) schema a blocchi,
 d) lay-out finale.

Nel caso A si può:

- iniziare il diagramma da un'attività produttiva qualunque e continuare con le altre, seguendo il flusso dei materiali,

- iniziare con due attività o reparti, interessati dalla maggiore intensità di flusso e continuare considerando le attività con intensità di flusso via via decrescente, considerando l'intensità in entrambi i sensi, cioè in modo *bidirezionale*;

Nel caso **B** si comincia il diagramma dalle attività di servizio o collaterali che hanno i rapporti più importanti secondo il codice letterale, poi si inseriscono nel diagramma le attività con grado di relazione inferiore;

Nel caso **C** si procede come nel caso **B**, tenendo presente che tutte le attività elencate nella tabella combinata dei rapporti comprendono sia quelle di servizio, sia quelle operative e che le intensità di flusso sono già state tradotte in giudizi letterali.

Detti diagrammi possono richiedere l'utilizzo dei simboli grafici di fig. 2.16, che individuano le categorie di attività, ed una serie di convenzioni che indichino il grado di relazione tra le attività, le ragioni, con l'eventuale simbolo dell'intensità del flusso dei materiali (ed eventualmente la sua direzione, come rappresentato in fig. 2.28b). I reparti interessati da maggiori intensità di flusso sono collegati da polilinee tanto più complesse, quanto maggiore è l'intensità del flusso, ed, a seconda delle necessità, possono essere posti in posizione centrale, mentre gli altri, in posizione periferica adiacente alle attività con maggior grado di relazione.

impianto _____	progetto _____			
riferimento _____	data _____			
compilatore _____	verificatore _____			

reparto	firma approvatore

valore	collegamenti
A	assolutamente necessario
E	eccezionalmente importante
I	importante
O	ordinaria importanza
U	non importante
X	non desiderato

codice	ragioni
1	necessità di contatti personali
2	comodità
3	rumore, disturbo
4	luce
5	uso comune dei mobili
6	ricevimento visitatori
7	movimento attrezzature e materiali

descrizione attività	
1	presidente
2	responsabile
3	area ingegneri
4	direttore - segreteria
5	ingresso - uscita
6	archivio centrale
7	deposito attrezzature
8	fotocopiatrice
9	magazzino
10	finestre
11	telefono

fig. 2.29. Tabella dei Rapporti degli uffici di una piccola Società di Ingegneria.

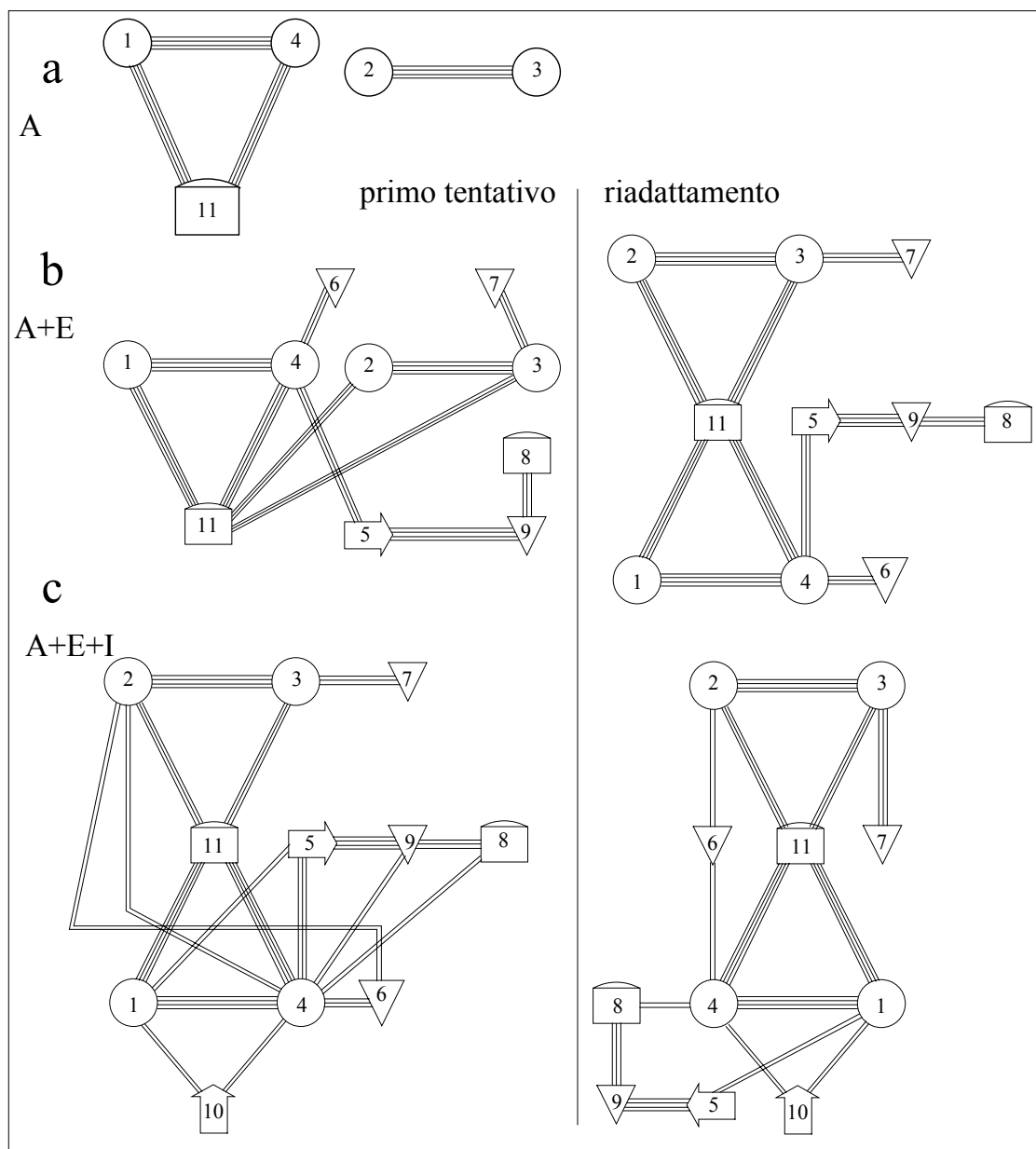


fig. 2.30. Progressiva stesura del **Diagramma Combinato dei Rapporti**, mediante l'inserimento progressivo di attività con grado di relazione minore.

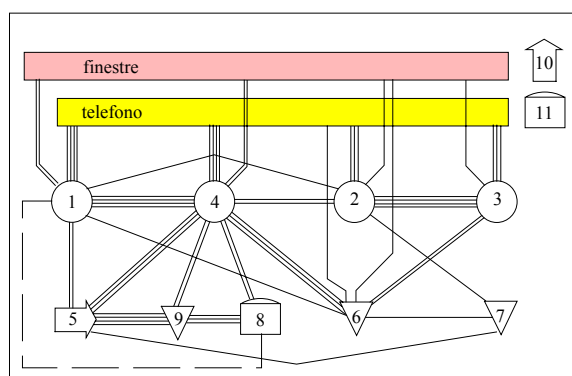


fig. 2.31. Razionalizzazione della rappresentazione, con dilatazione grafica dei simboli.

Dopo la specifica delle relazioni qualitative, è necessario trovare il modo per risolvere il lay-out. Per problemi semplici, può essere sufficiente un'impostazione visiva, del tipo di fig. 2.30, tentando di sistemare le locazioni che hanno rapporto reciproco di vicinanza **A**, *assolutamente necessaria* il più vicino possibile; poi si aggiungono quelle che ne hanno uno **E**, *specialmente importante*, e così via, fino a che si sistema la locazione che ne ha uno **U**, *non desiderabile* il più lontano possibile dalle altre. La soluzione di fig. 2.31 non è necessariamente quella **ottimale**, ma semplicemente una buona soluzione. Quando queste relazioni sono state individuate ed applicate, il problema non è ancora risolto, poiché il lay-out deve essere compatibile con la geometria dell'ambiente a disposizione, come mostrato in fig. 2.28d.

Per problemi di maggiore portata, la soluzione non può essere convenientemente trovata dalla semplice osservazione dei disegni e degli schemi, ma è necessario un metodo numerico che tenti di arrivare ad una soluzione accettabile, con l'esame di tutte le relazioni imposte. I pacchetti software convertono i criteri qualitativi in quantitativi, mediante formulazioni matematiche che vanno dalla semplice pesata delle condizioni imposte, fino a modelli di ricerca operativa estremamente complessi (logica fuzzy, ecc.). È proprio la presenza di una conversione dai criteri qualitativi a quelli quantitativi che determina una in qualche misura inevitabile incongruenza tra quanto espresso dalle relazioni e quanto si può osservare nei risultati della soluzione. Sarà allora necessario ritornare sulle relazioni iniziali ed aggiustare i risultati con ulteriori *run* del programma.

Esempio

Nel caso di fig. 2.29, relativo alla sede uffici di una piccola società di ingegneria specializzata in prove sul terreno, la stesura del diagramma combinato dei rapporti inizia con i rapporti di valore **A**, come si vede in fig. 2.30a, che viene poi integrato con quelli di valore **E** di fig. 2.30b (di primo tentativo e con riaggiustamento), ecc.

Un simbolo di attività avente relazioni con molte altre attività può essere opportunamente espanso dal punto di vista grafico per aiutare la comprensione. Questo aspetto può assumere anche il significato logico di un'attività che può essere favorevolmente suddivisa o decentralizzata, come nel caso del telefono, servizi igienici, archivi, magazzini, ecc, come mostrato in fig. 2.31, sempre relativa al presente esempio. Passando attraverso successivi diagrammi provvisori e risistemazioni delle attività, deve risultare un diagramma con polilinee di collegamento via via più semplici e più lunghe passando dal grado di relazione più alto a quelli inferiori. È buona norma inserire, assieme alle attività **E**, anche le attività **XX**, ed, assieme alle attività **O**, le attività **X**, come mostrato in fig. 2.31.

2.5.3. I Criteri Quantitativi di Stesura dei Flussi e dei Rapporti (Calcoli Diretti).

Principalmente, essi comprendono la minimizzazione dei costi di trasporto dei materiali nei reparti e nei magazzini, la minimizzazione dei tempi di transito nella produzione e nei servizi e l'ottimizzazione dei costi e della potenzialità degli impianti di servizio. Naturalmente, la scelta dei criteri richiede sempre una decisione sugli obiettivi delle attività, ad esempio se è più importante minimizzare il tempo dedicato dal medico, o quello di attesa del paziente in un ospedale, oppure si debba minimizzare la somma dei due.

Poi, la determinazione dello spazio richiesto per l'intero impianto industriale parte da un primo tentativo ed è necessaria, ma deve essere ben presto essere perfezionata con la determinazione dettagliata dello spazio da assegnare ad ogni attività dopo averne fissata

la disposizione topografica col diagramma dei rapporti. Esistono 5 metodi per determinare lo spazio richiesto con diversi gradi di accuratezza, quindi da scegliere in funzione dell'importanza dell'investimento richiesto, quindi dell'importanza del progetto:

- calcoli diretti,
- conversioni,
- spazi standard,
- lay-out schematizzato,
- tendenza ed estrapolazione dei rapporti;

e l'accuratezza diminuisce passando dal metodo **a** al metodo **e**.

2.5.3.1. Potenzialità e Numero delle Macchine

Inizialmente si calcola il numero di macchine ed attrezzature necessarie per assicurare la produzione richiesta, l'area occupata fisicamente da ciascuna macchina, il numero di operatori addetti a ciascuna macchina e l'area richiesta per gli interventi di manutenzione, per il deposito interoperazionale dei materiali in lavorazione e per i trasporti di materiali e persone. Si perviene ad un'area totale per macchina ed attrezzatura. Sommando quest'area per tutte le macchine di un reparto, si ottiene il relativo spazio richiesto dall'attività individuata da quelle macchine, a partire dal quale si arriva a determinare le aree richieste da tutte le attività operative.

Invece, non è stato sviluppato alcun metodo unificato per il calcolo delle aree di immagazzinamento e di servizio poiché esiste un'eccessivamente ampia varietà di attività possibili.

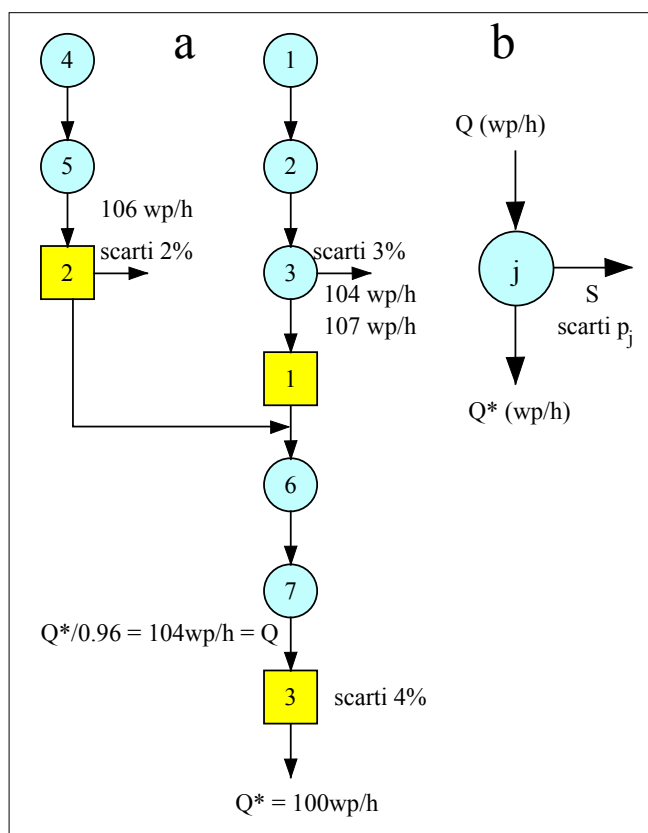


fig. 2.32. Foglio del Processo Operativo di lavorazione.

Esempio

Inizialmente, si parte dalla determinazione della potenzialità richiesta ad ogni stadio del processo produttivo, tenendo conto di scarti, tempi morti, tempi di messa a punto, manutenzione, ecc. Si parta dal Foglio del Processo Operativo dell'esempio di fig. 2.32, che comprende 7 operazioni e 3 controlli.

Si supponga che gli scarti nelle sezioni di controllo **1**, **2** e **3** siano rispettivamente il 3, 2 ed il 4% e che la quantità di prodotto richiesta sia $Q^* = 180.000 \text{ wp/y}$, in uscita dalla sezione di controllo **3**, considerando 2.000 le ore operative annuali.

Le previsioni del livello di produzione suggeriscono una produzione di 200.000 wp/y , per evitare errori per difetto. Conseguentemente, la produzione oraria alla fine della linea deve essere pari a 100 wp/h .

In riferimento alla generica stazione **j** di fig. 2.32b, se con p_j indichiamo la frazione degli scarti **S** e con k_j il coefficiente di scarto relativo alla stazione **j**, si può scrivere:

$$S = p_j \cdot Q \quad Q^* = Q - S = Q \cdot (1 - p_j) \quad Q = \frac{Q^*}{1 - p_j} \quad k_j = \frac{Q^*}{Q} = 1 - p_j \quad (2.2)$$

k_j dipende dalla qualità delle materie prime e semilavorati, dall'addestramento del personale, dallo stato di manutenzione delle macchine, dalla qualità delle istruzioni di lavorazione, montaggio e trasporto, ecc.

Risalendo a ritroso dalla fine della linea ed applicando ripetutamente la (2.2), si ottiene che, all'ingresso della linea, devono essere avviati alla produzione rispettivamente 106 e 107 wp/h , per avere in uscita $Q^* = 100 \text{ wp/h}$.

Il problema della determinazione di **Q** ad ogni stadio del processo produttivo si complica quando si tratta di produrre molti prodotti **P_k** in piccole quantità, come nel caso di produzioni per *lotti* o su commessa, invece di un unico prodotto in grande quantità.

In questo caso, non c'è possibilità economica di rimediare ad eventuali errori di produzione. Infatti, supponiamo che un cliente ordini una commessa di 50 wp soltanto. Alcune macchine **j**, normalmente destinate ad altre produzioni, saranno impiegate per questa commessa, ma con una così piccola quantità di prodotto sarà imprudente assegnare la percentuale di scarti p_j di consueto raggiunta con produzioni più numerose. Così, il **rischio** di ottenere una quantità di scarti *maggiore* di quella prevista per la commessa in corso si traduce nella necessità di riprogrammare la commessa, con un numero ancora più basso del precedente, esattamente il numero di pezzi mancanti. Poi, se il numero di scarti risulta *inferiore* a quello previsto, è impossibile vendere i pezzi ottenuti in più. Questo problema, della **tolleranza degli scarti**, impone un calcolo previsionale di confronto tra il caso di produzione scarsa ed il caso di produzione esuberante.

In generale, con riferimento ad una macchina o stazione operativa **j**, impegnata in una fase del ciclo tecnologico, si ha che il rendimento di produzione nell'esecuzione di quella fase è:

$$\frac{Q^*}{Q} = \eta < 1 \quad \text{con:} \quad \eta = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

essendo:

Q la potenzialità della macchina,

Q^* la potenzialità effettiva della stessa,

k_1 il coefficiente di scarto, che tiene conto degli scarti *imputabili alla macchina*,

2. Lo Studio di Fattibilità

- k_2 il coefficiente che tiene conto dell'inaffidabilità della macchina ed è pari alla sua *disponibilità* $UT/(UT + DT)$ di §2.2.4,
- k_3 il *rendimento dell'operatore*, che tiene conto dei tempi nei quali non è operativo per mancanza di motivazioni, condizioni di lavoro sfavorevoli, scarso addestramento, ecc,
- k_4 PT/UT , rapporto tra il tempo di produzione PT ed il tempo di disponibilità UT , che tiene conto dell'effettivo utilizzo della macchina, cioè del fatto che l'organizzazione del lavoro e del processo produttivo (specie se intermittente) non è mai perfetta, con conseguente presenza di tempi morti nei cambi di produzione, ritardi nel flusso dei materiali e delle informazioni, errori di scheduling, ecc.

Pertanto, in generale la potenzialità produttiva della linea, della stazione o della macchina da dimensionare è:

$$Q = \frac{Q^*}{\eta} \quad \text{oppure :} \quad Q = \frac{Q^*}{n \cdot t \cdot \eta} \text{ wp/h} \quad (2.3)$$

se $Q^* \text{wp/y}$ è prevista con la stazione operante su t turni di nh/y . Così, se $t = 2$, la potenzialità della macchina o della stazione può essere dimezzata, con corrispondente riduzione dell'investimento ed aumento della manodopera. Questo significa che, al variare del numero di turni, si ottiene una diversa distribuzione del costo dei fattori produttivi (capitale e lavoro) sul costo totale dell'unità di prodotto. Cioè, per tecnologie a maggiore composizione organica del lavoro, cioè con maggiore incidenza degli investimenti sul costo del prodotto, è probabile la convenienza ad aumentare il numero di turni. Viceversa, quando il capitale fisso non è rilevante, conviene all'impresa investire in mezzi di produzione e risparmiare sui salari.

2.5.3.1.1. Produzione Job-Shop.

In base a quanto esposto sopra, sia nota Q ad ogni stadio del processo. Si consideri ora la produzione del bene i -esimo sulla macchina j -esima, con un mix produttivo di m modelli o prodotti diversi. Siano:

Q_{ij}	la produzione richiesta del prodotto i sulla macchina j , in wp/y,
T_{ij}^*	il tempo teorico di produzione del prodotto i sulla macchina j , in h/wp,
T_{ij}	il tempo medio effettivo di produzione del prodotto i sulla macchina j , in h/wp,
$\eta = T_{ij}^*/T_{ij}$	l'efficienza di produzione della macchina j ,
$1/T_{ij}^*$	il numero teorico di pezzi i sulla macchina j , in wp/h,
$1/T_{ij} = \eta/T_{ij}^*$	il numero effettivo di pezzi i prodotti dalla macchina j , in wp/h,
M_{ij}	numero di macchine j per far fronte alla produzione Q_{ij} ,
N_{ij}	numero di ore disponibili per la produzione dei prodotti i sulle macchine j , nel periodo di produzione considerato di $1y$,

Quindi, il numero totale di macchine j per far fronte alla produzione Q_j è:

$$M_{ij} = \frac{Q_{ij}}{\frac{\eta}{T_{ij}^*} \cdot N_{ij}} \quad \text{misurato in} \quad \frac{\text{wp/y}}{\frac{\text{wp}}{h} \cdot \frac{h}{y}} \quad \text{con :}$$

$$Q_j = \sum_1^m Q_{ij} \quad \text{è} \quad M'_j = \sum_1^m M_{ij} = \sum_1^m \frac{Q_{ij} \cdot T_{ij}^*}{\eta \cdot N_{ij}} \quad \text{ed} \quad M_j \geq M'_j \quad (2.4)$$

Esempio

Si abbiano 6 prodotti diversi che subiscono lo stesso processo di fresatura, con lo stesso tipo di macchina, secondo la tabella seguente. Si determini il numero di macchine necessarie.

Prodotto i	Produzione richiesta Q_{ij} [wp/mo]	Produzione effettiva del- la macchina [wp/h]	Ore mensili programmate N_{ij}	Numero mac- chine prodot- to i , M_{ij}
1	6.000	120	150	0.333
2	9.000	150		0.400
3	15.000	100		1.000
4	2.000	100		0.133
5	8.000	120		0.444
6	4.000	80		0.333
	Q _i = 44.000			M' _i = 2.643

Arrotondando all'intero superiore, sono necessarie 3 macchine di tipo **j**, con un **tasso di utilizzazione teorico**, cioè dopo aver tenuto conto con **η** (precisamente con **k₄**) degli ulteriori limiti imposti dalla programmazione e gestione della produzione:

$$u = \frac{2.643}{3} = 0.88$$

Se è previsto un aumento della richiesta o si vuole adottare un margine di sicurezza maggiore contro avarie delle macchine od altre perdite di produzione, il numero di macchine può essere ulteriormente aumentato. In questo modo, si risolve il **problema della riserva**.

2.5.3.1.2. Produzione in Linea.

Considerando la casella di fig. 2.32b, nella quale si effettua l'operazione **j**, siano:

T_j il tempo effettivo impiegato [min/wp],

T_j^{*} il tempo teorico, [min/wp],

η_j = T_j^{*} / T_j il rendimento di produzione della macchina nella linea,

n_j il numero calcolato di macchine necessarie,

allora il numero minimo di macchine necessarie (intero) risulta:

$$n_j \geq n'_j = \frac{\frac{Q}{60}}{\frac{1}{T_j}} = \frac{Q \cdot T_j}{60} \quad (2.5)$$

ed il tasso di utilizzazione teorico delle macchine presenti nella stazione operativa **j**:

$$u_j = \frac{n'_j}{n_j} = \frac{Q \cdot T_j^*}{60 \cdot \eta \cdot n_j} \quad (2.6)$$

2.5.3.1.3. **Evoluzione dalla Produzione Intermittente a quella in Linea.**

Le condizioni che suggeriscono, per uno specifico prodotto, il passaggio da una produzione intermittente per reparti (Job-Shop) ad una in linea dipendono dalle seguenti considerazioni preliminari:

- una condizione necessaria per l'adozione di una linea di produzione di un prodotto è che la domanda attuale e quella futura prevedibile siano adeguatamente elevate,
- il cambio radicale da una produzione job-shop ad una totalmente in linea non è in genere consigliabile, né al limite possibile, ad esempio perché certe lavorazioni non sono possibili in linea (si pensi ad esempio una fonderia, che ha macchinari generalmente di grandi dimensioni, produce grandi quantità di polvere, ecc.).

Con queste premesse, la decisione del cambio può essere presa con l'utilizzo di uno dei seguenti strumenti:

- a. calcolo del *tasso di utilizzazione delle macchine*, $k_4 = u = PT/UT$, che come detto, dipende dal tempo di effettiva produzione della macchina **PT** (esclusi i tempi di attrezzaggio), e dal tempo di disponibilità effettiva della macchina **UT** (esclusi i tempi di manutenzione),
- b. determinazione della *curva caratteristica del prodotto*.

L'impiego del **tasso di utilizzazione delle macchine** è particolarmente significativo. Per determinare la convenienza a passare da una produzione intermittente ad una continua in linea, si determina innanzitutto il numero minimo di macchine necessarie ad ogni operazione per produrre con una linea la quantità prevista **q** di prodotto nell'unità di tempo. Col calcolo non si arriverà ad un numero intero e risulterà un certo numero di macchine che saranno utilizzate solo parzialmente e sarà impossibile ottenere un bilanciamento perfetto della linea. Complessivamente, si potrà ottenere un'utilizzazione delle macchine mediamente bassa, anche molto bassa. Il tasso medio di utilizzazione delle macchine nella esistente produzione intermittente può essere determinato ricorrendo ai dati esistenti per i cicli ed i tempi di produzione in atto e, noto il ritmo di produzione corrente, si calcolano i tempi macchina ed il coefficiente di utilizzazione **u**. Se l'utilizzazione attuale risulta minore di quella raggiungibile con la produzione in linea, risulta conveniente effettuare il cambio di gestione. Invece, se si osserva una sostanziale equivalenza delle situazioni, può essere utile approfondire l'analisi mediante la **curva caratteristica del prodotto**. La si costruisce per ogni prodotto dell'azienda.

Si immagini di avere una linea nella quale ogni operazione viene effettuata con una sola macchina. Se la domanda è bassa, il tasso di utilizzazione dell'intera linea è molto basso, ma, se la domanda cresce, il tasso di utilizzazione anch'esso aumenta proporzionalmente, fino a raggiungere il 100% per la macchina con potenzialità minore. Se non è possibile aumentare la sua potenzialità, né farla lavorare per più turni, è necessario affiancarla ad un'altra macchina per la stessa produzione, tuttavia determinando così un brusco abbattimento del grado di utilizzazione. Naturalmente, alla successiva crescita della domanda, il grado di utilizzazione cresce di nuovo e si arriva alla situazione nella quale un'altra macchina, quella di minore produzione diventa collo di bottiglia, ecc. Riportando in diagramma con l'ascissa che indica il livello di domanda (produzione) e l'ordinata che mostra il grado di utilizzazione, si stende la curva caratteristica di quel prodotto, fabbricato con quella linea, come mostrato nell'esempio seguente.

Se il ciclo di produzione comprende **N** fasi tecnologiche successive, che vengono compiute in **N** stazioni operative, ognuna delle quali completa l'**i**-esima trasformazione:

- n_i** macchine uguali presenti nella stazione,
- t_i** tempo di ciclo unitario della macchina in min/wp,

q_i volume di produzione richiesto per il prodotto i ,
il tasso di utilizzazione della stazione i -esima è:

$$u_i = \frac{n_i'}{n_i} = \frac{q_i \cdot t_i}{60 \cdot n_i} \quad (2.7)$$

Essendo $u \leq 1$, deve essere:

$$q_i \leq \frac{60 \cdot n_i}{t_i} \quad (2.8)$$

e, quando vale il segno di uguaglianza, $q_i = q_{is}$ e la stazione è satura. Ne deriva che il tasso di utilizzazione medio della linea vale:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{q_i \cdot t_i}{60 \cdot n_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i}} = \frac{q \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{60 \cdot \sum_{i=1}^N n_i} \quad (2.9)$$

stazione operativa	tipo di apparecchiatura	Valore economico €	tempo del ciclo t_i [min]	potenzialità alla saturazione [wp/h]
1	Tornio automatico	35.000	1.02	59
2	Rettificatrice esterni	32.000	0.45	133
3	Trapano	3.000	0.4	150
4	Rettificatrice senza centri (sgrossatura)	21.000	0.923	65
5	Pulitrice	1.350	0.923	65
6	Rettificatrice senza centri (finitura)	32.000	1.5	40
7	Pulitrice	1.350	0.75	0

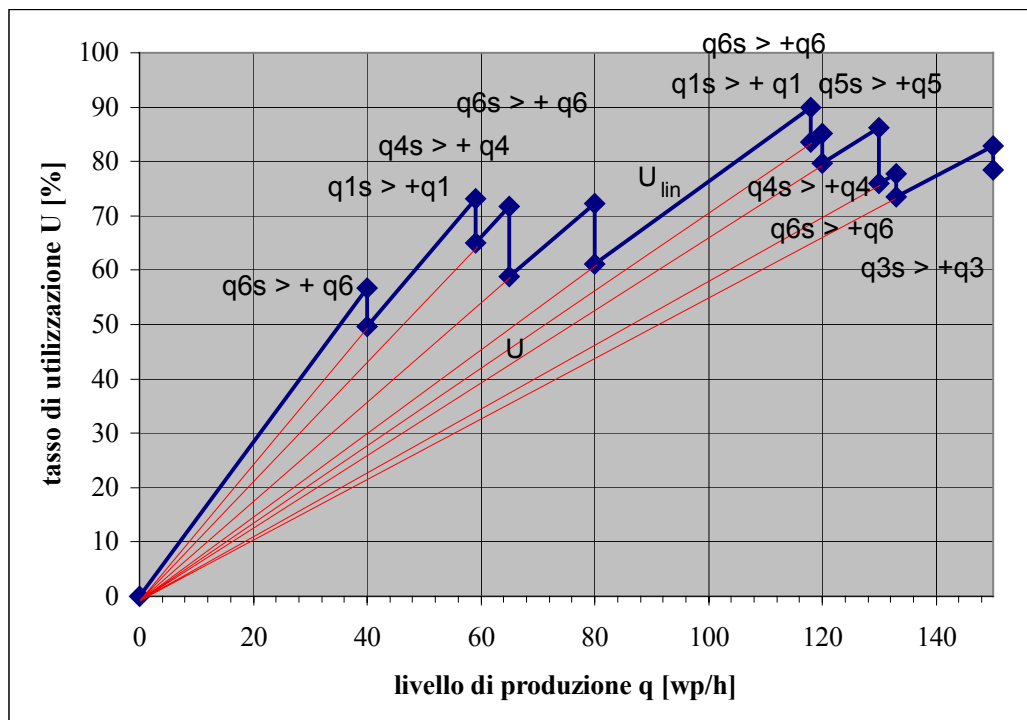


fig. 2.33. Costruzione della Curva Caratteristica del Prodotto.

Esempio

Si consideri il caso della tabella di fig. 2.33. Si usa la (2.8) con $n_i = 1$ e si determina il valore di q_{is} in 5^a colonna, che satura la stazione, nella quale è presente inizialmente una sola macchina. Partendo dall'origine del diagramma, si traccia la retta del grado di utilizzazione della linea, fino ad arrivare alla potenzialità di 40wp/h, che satura la stazione **6**. Si aggiunge una seconda rettificatrice per esterni di finitura che provoca la caduta di U dal 56% al 50%. Dal nuovo punto si parte con un nuovo segmento di retta (dall'origine del diagramma), fino ad arrivare alla potenzialità di 59wp/h, per la quale è satura la stazione **1** ed è richiesto un nuovo tornio. Ecc.

2.5.3.2. Numero degli Operatori per l'Assemblaggio Manuale

Si considera l'operazione di assemblaggio j , da eseguire in un reparto sul generico prodotto i , variabile fino ad m , indice massimo del mix produttivo. Siano:

Q_{ij} la produzione richiesta per l'operazione di assemblaggio j da eseguire sul prodotto i e misurata in numero di pezzi per periodo (ad esempio il giorno). Se il prodotto non richiede assemblaggio $Q_{ij} = 0$,

t_{ij}^* il tempo nominale per eseguire l'operazione j sul prodotto i da parte dell'operatore, in min/wp,

t_{ij} il tempo effettivo impiegato per l'operazione j sul prodotto i , in min/wp,

$\eta_0 = \frac{t_{ij}^*}{t_{ij}}$ efficienza dell'operatore, che tiene conto dei tempi morti, le pause, ecc,

$\frac{1}{t_{ij}^*}$ capacità teorica dell'operatore, in wp/min,

$\frac{1}{t_{ij}} = \frac{\eta_0}{t_{ij}^*}$ capacità effettiva dell'operatore, in wp/min,

n_{ij} durata dell'operazione j sul prodotto i , in minuti disponibili nel periodo di produzione considerato, in min/d,

A_{ij} numero di persone richiesto per eseguire l'operazione j sui prodotti i ,

$A'_j = \sum_{i=1}^m \frac{Q_{ij}}{\frac{\eta_0}{t_{ij}^*} \cdot n_{ij}}$ misurato in $\frac{\text{wp/d}}{\frac{\text{wp}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{\text{d}}}$, numero totale (normalmente non intero)

di persone per eseguire l'operazione di assemblaggio j su tutti i prodotti che richiedono tale operazione, cioè per far fronte alla richiesta

$$Q_j = \sum_{i=1}^m Q_{ij}.$$

Così, il numero totale effettivo di operatori che eseguono l'assemblaggio j risulta:

$$A_j \geq A'_j = \sum_{i=1}^m A_{ij} = \sum_{i=1}^m \frac{Q_{ij} \cdot t_{ij}^*}{\eta_0 \cdot n_{ij}} \quad (2.10)$$

2.5.3.3. Bilanciamento dell'Assemblaggio in Linea e Numero degli Operatori

Nel caso di assemblaggio in linea, esiste un solo prodotto in produzione, per cui vale ancora la (2.10), con l'esclusione del pedice j . Quando in ogni stazione è sufficiente un solo operatore, si deve stabilire quante operazioni egli deve eseguire nella stazione per bilanciare la linea.

Per la soluzione del problema del **bilanciamento delle linee manuali**, la capacità produttiva della linea è limitata superiormente dalla stazione più lenta, cioè quella con maggiore contenuto di lavoro. Quindi nasce la necessità di bilanciare il più possibile il contenuto di lavoro delle stazioni, in modo da ridurre i tempi di inattività delle stazioni meno caricate. L'obiettivo del bilanciamento è assegnare le singole operazioni da svolgere nelle stazioni in modo da garantire, coi vincoli tecnologici di precedenza fra le operazioni, la produzione prefissata al minimo costo. Sono stati proposti vari metodi di calcolo del bilanciamento, che però non sempre sono accettabili, poiché presuppongono che i tempi di esecuzione delle singole operazioni siano deterministici, cioè **invariabili**. In realtà questo non avviene, e si possono incontrare costi aggiuntivi di completamento fuori linea, quando l'operatore non riesce a completare l'operazione nel tempo previsto.

Per il bilanciamento della linea si devono assegnare le operazioni da effettuare ai singoli operatori. Se si assegna al primo operatore un certo numero di operazioni, il tempo necessario al loro compimento deve essere un pò minore di quello stabilito dal ciclo, poiché può verificarsi il caso che non sia possibile trovare la combinazione di operazioni che esattamente coprano quell'intervallo nella prima stazione. Allo stesso modo, anche al secondo operatore sarà praticamente impossibile destinare un numero di operazioni la cui somma dei tempi sia esattamente quella stabilita, e così via. Cioè, è possibilissimo, a causa della struttura del prodotto e del numero discreto di operazioni da eseguire su di esso (considerando i tempi necessari al loro compimento), che molti operatori assegnato meno del tempo di lavoro del ciclo.

D'altra parte, a parità di tempo del ciclo, maggiore è il lavoro assegnato al singolo operatore e minore è il numero totale di operatori, quindi minore il costo per unità assemblata. Tuttavia e come si vede in fig. 2.34, all'aumentare del contenuto di lavoro che l'operatore deve svolgere su ciascuna unità in transito sempre nel tempo prefissato del ciclo (stabilito dalla cadenza imposta dalla potenzialità), aumenta anche la probabilità che egli non porti a compimento il suo compito, ciò che aumenta i costi per mancato completamento. Infatti, se una linea ha la produzione prefissata Q_i , in wp/h, ogni stazione dovrà trattare $Q_i/60$ wp/min ed il tempo concesso all'operatore per il compimento della propria operazione sarà $60/Q_i$, che è il tempo del ciclo.

Si può allora dire che il problema del bilanciamento della linea può essere espresso anche nei termini di stabilire il numero minimo necessario di stazioni o di operatori e che ogni operatore abbia il minimo di tempi morti compatibile con la struttura del prodotto. Come si capisce, non esistono allora casi in cui la linea è perfettamente bilanciata, gli operatori non hanno tempi morti e si raggiunge l'efficienza del 100%. D'altra parte, la cosa è persino ovvia se si considera che nell'arco del turno, è impossibile che gli operatori siano tutti contemporaneamente presenti.

Un altro modo per definire il problema del bilanciamento della linea è di minimizzare il tempo del ciclo per un dato numero di stazioni, ma i due modi sono speculari e la soluzione non dipende da dove si parte, se dal tempo del ciclo, oppure dal numero delle stazioni. Nel calcolo successivo saranno utilizzati i seguenti simboli:

- N numero di stazioni della linea. Normalmente, la stazione è il luogo occupato da un singolo operatore, tuttavia si possono avere più operatori su una sola stazione, oppure più stazioni controllate da un solo operatore. Qui, per semplicità si assume di avere un solo operatore per stazione,
- T tempo del ciclo, cioè il massimo tempo consentito allo svolgimento delle operazioni nella stazione. Il tempo del ciclo può essere inteso anche come quello che intercorre tra la produzione successiva di due unità di prodotto nella linea,

2. Lo Studio di Fattibilità

- t_i tempo di svolgimento della i -esima operazione sul prodotto. Ogni operazione è assegnata ad una sola stazione,
 $\sum t_i$ è il contenuto totale di lavoro dell'unità di prodotto e ne costituisce il lavoro totale richiesto.

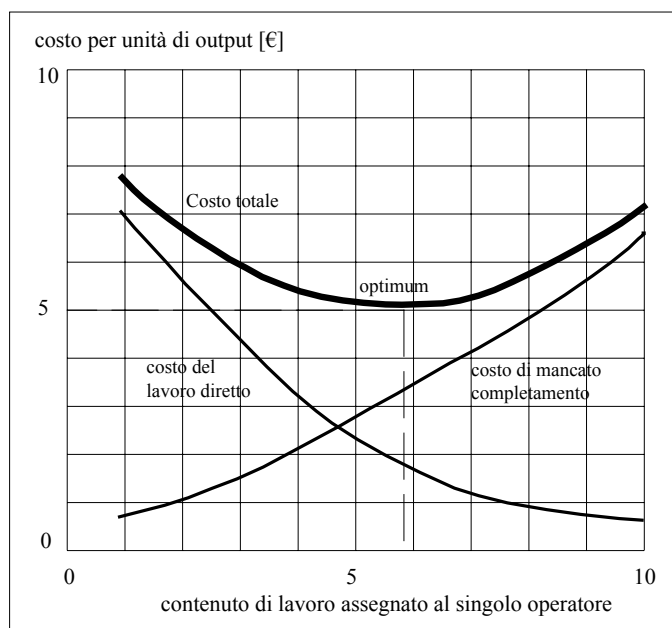


fig. 2.34. Curve di ottimizzazione del lavoro assegnato al singolo operatore.

Esistono importanti relazioni tra queste variabili. È normale conoscere il numero di unità di prodotto P_d che è possibile ottenere nell'unità di tempo (ad esempio al giorno). Da esso si ricava il **tempo del ciclo** T , che, se espresso in minuti e se il turno giornaliero è di 420 minuti utili, è dato da:

$$T = \frac{420}{P_d} \quad (2.11)$$

Una volta noto T , si può ricavare il numero minimo di stazioni della linea perfetta, cioè col 100% di bilanciamento:

$$N_{\min} = \frac{\sum t_i}{T} \quad (2.12)$$

che, ovviamente deve essere arrotondato all'intero superiore. Questa formula è basata sull'idea che il contenuto di lavoro totale deve essere fornito dagli operatori che lavorano T minuti su ogni unità di prodotto con bilanciamento perfetto. Naturalmente il fatto che il bilanciamento possa essere ottenuto sul numero minimo di stazioni dipende dai particolari vincoli di precedenza e dai tempi previsti per il problema in esame. Dopo aver bilanciato la linea, la sua efficienza è calcolata dalla:

$$\eta = \frac{\sum t_i}{N \cdot T} \quad (2.13)$$

la quale indica che $N \cdot T$, il tempo effettivamente speso su ogni unità di prodotto (compreso il tempo morto), è certamente superiore a $\sum t_i$, cioè al tempo produttivo previsto.

Esempio

Supponiamo di dover bilanciare la linea di montaggio del triciclo di fig. 2.35. Per partire, è utile disporre del disegno esploso e dello schema di flusso di fig. 2.36. Poiché le operazioni devono essere raggruppate nelle stazioni, dobbiamo avere un livello di dettaglio molto più alto, come ad esempio indicato in tab. 2.VI. Questa tabella descrive ogni operazione ed il tempo necessario al suo compimento t_i . Come si vede, il tempo massimo delle operazioni è di 18s e, poiché le operazioni elencate non possono essere ulteriormente divise, 18s rappresenta il minimo tempo del ciclo, a meno che alla stessa stazione siano destinati due operatori. D'altra parte, il tempo del ciclo non può eccedere il contenuto totale di tempo del prodotto, cioè 253s. Cioè:

$$\text{Max}[t_j] \leq \text{tempociclo} \leq \sum t_j$$

Supponiamo inizialmente di bilanciare la catena di montaggio del triciclo sul tempo di **20s**, immaginando una linea molto veloce di operazioni assolutamente ripetitive, che, a questo ritmo, può costruire $(420/0.333) = 1.260$ tricicli/d. Il numero minimo di stazioni risulta:

$$N_{\min} = \frac{253}{20} = 12.65 \rightarrow 13$$

Tuttavia, bisogna considerare i vincoli che condizionano il montaggio del triciclo, che il parafrangente deve essere montato prima dell'inserimento della ruota, che stringere la vite del sellino deve essere fatto dopo che esso è stato montato sul telaio, ecc. Così, i vincoli tecnologici sono rappresentati in fig. 2.36, ma essi possono considerarsi un pò più restrittivi di quanto in realtà sia necessario: il sellino può essere montato sul telaio insieme alle ruote posteriori e si può pensare ad una stazione in cui si piazza la rosetta su un asse posteriore, si monta il sellino e si inserisce una manopola sul manubrio. Per evitare questa confusione di operazioni, la fig. 2.36 impone che entrambe le ruote posteriori siano montate prima del sellino e della forcella anteriore.

Nel diagramma di fig. 2.36, tutte le operazioni indicate devono essere eseguite solamente quando la precedente è stata completata. Tuttavia, possono essere scambiate quelle della ruota sinistra e la destra, poiché sono parallele. Come si vede nel diagramma, è stato anche stabilito che i montaggi del sellino e della forcella anteriore possono essere scambiati tra loro, ma non con il montaggio di una delle ruote posteriori.

I migliori metodi di soluzione del problema sono euristici, i quali non necessariamente forniscono il numero minimo di stazioni, ma, come detto, forniscono soluzioni sufficientemente vicine all'ottimo. I metodi euristici disponibili in letteratura sono numerosissimi, ma, per semplicità ne illustreremo solamente due.

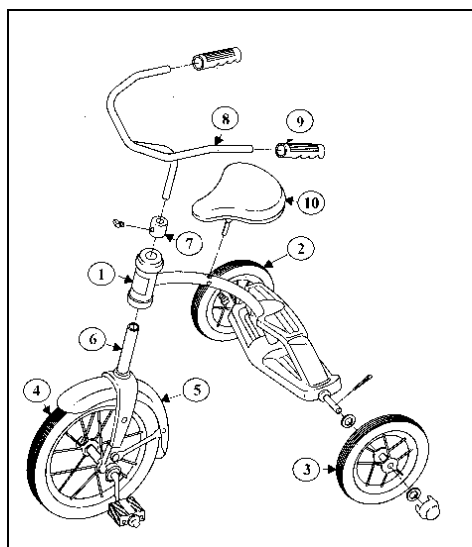


fig. 2.35. Esploso del triciclo giocattolo da montare in catena.

2. Lo Studio di Fattibilità

La parola *euristico* deriva dal greco e significa *da scoprire*. Quelle euristiche sono regole decisionali che vengono scoperte, usualmente per tentativi, per risolvere problemi. Talvolta queste regole conducono ad una soluzione molto prossima a quella matematica esatta, ma altre volte questo non accade. Noi tutti utilizziamo regole euristiche nella vita di tutti i giorni. Per esempio, decidiamo di cercare una stazione di servizio quando la luce della riserva comincia a lampeggiare, oppure decidiamo di acquistare le nostre azioni preferite quando il loro prezzo cade e poi sale per due giorni di seguito.

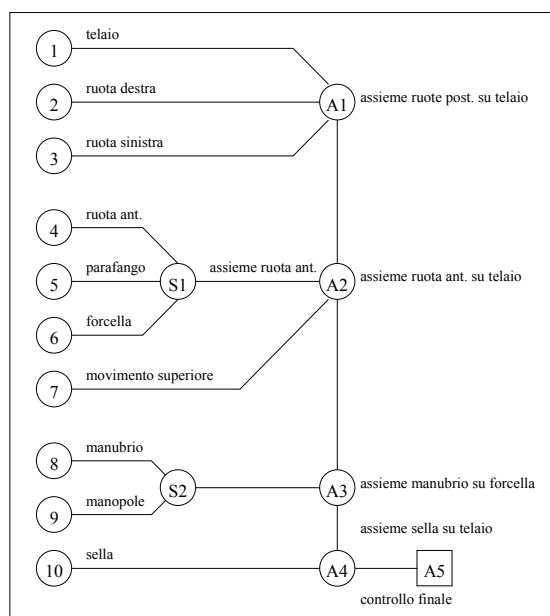


fig. 2.36. Diagramma di flusso del montaggio del triciclo di fig. 2.35.

Un modo per risolvere il problema è di cominciare l'assegnazione delle operazioni con quella che presenta il minor numero di predecessori e di muoversi da quella verso le operazioni che presentano un numero di predecessori maggiore, secondo il criterio di Kilbridge e Wester.²⁰ In tab. 2.VII si sono ordinate le operazioni di montaggio del triciclo in funzione del numero dei loro predecessori, partendo da quelle che ne hanno il numero minore. Le operazioni così ordinate sono assegnate alle stazioni al massimo fino al raggiungimento del tempo del ciclo di 20s.

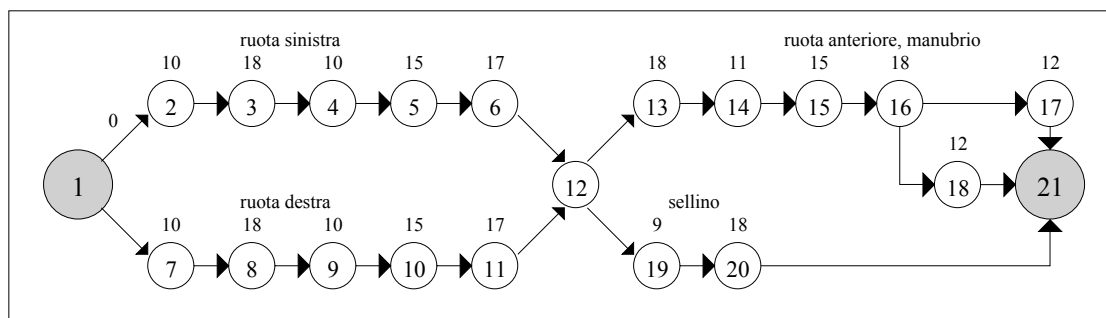


fig. 2.37. Diagramma delle precedenze nel montaggio del triciclo di fig. 2.38.

Se il livello di precedenza è lo stesso, si preferisce aggiungere l'operazione più lunga, in modo da compattare le operazioni lunghe all'inizio e conservare le operazioni più brevi alla fine. Se un'operazione con precedenza immediatamente più alta non trova tempo sufficiente nella sta-

²⁰ M.Kilbridge, L.Wester, *A Heuristic Method of Assembly Line Balancing*, J. of Industrial Engineering, 1961.

zione, allora si sposterà in avanti la lista delle precedenze per trovare un'operazione che può essere piazzata nel tempo disponibile. Se questo non è possibile, la stazione viene lasciata parzialmente libera. Il risultato di questa procedura è il numero delle stazioni, che risulta essere 15 (come si vede in tab. 2.VIII, e l'efficienza di questo bilanciamento è, dalla (2.13):

$$\eta = \frac{\sum t_i}{N \cdot T} = \frac{253}{15 \cdot 20} = 0.84$$

tab. 2.VI. Operazioni di assemblaggio del triciclo di fig. 2.35.

numero operazione	descrizione	tempo [s]
1	inizio ciclo	0
RUOTA POSTERIORE SINISTRA		
2	piazza la rosetta sull'asse sinistro	10
3	monta la ruota sinistra sull'asse	18
4	piazza la rosetta sull'asse sinistro	10
5	inserisci e serra la coppiglia	15
6	inserisci e fissa il cappuccio	17
RUOTA POSTERIORE DESTRA		
7	piazza la rosetta sull'asse destro	10
8	monta la ruota destra sull'asse	18
9	piazza la rosetta sull'asse destro	10
10	inserisci e serra la coppiglia	15
11	inserisci e fissa il cappuccio	17
12	operazione fittizia	0
ASSIEME RUOTA ANTERIORE		
13	inserisci la forcella della ruota anteriore nel telaio	18
14	monta il collare sulla forcella	11
15	monta il manubrio sulla forcella	15
16	stringi il collare della ruota anteriore	18
17	monta la manopola destra	12
18	monta la manopola sinistra	12
ASSIEME SELLINO		
19	inserisci il sellino nel telaio	9
20	serra la vite di bloccaggio del sellino	18
21	punto finale	0
TOTALE		253

tab. 2.VII. Ordinamento delle operazioni sul triciclo per numero di predecessori.

operazione	1	2	7	3	8	4	9	5	10	6	11	12	13	19	14	20	15	16	17	18	21
numero di predecessori	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	11	12	12	13	13	14	15	16	16	20
T_i	0	10	10	18	18	10	10	15	15	17	17	0	18	9	11	18	15	18	12	12	0

tab. 2.VIII. Bilanciamento della linea con la regola Kilbridge e Wester.

stazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
operazione	1,2,7	3	8	4,9	5	10	6	11	12,13	19,14	20	15	16	17	18,21
Tempo morto	0	2	2	0	5	5	3	3	2	0	2	5	2	8	8

Per risolvere i problemi di bilanciamento delle linee più complesse, è necessario ricorrere all'uso del computer. Ad esempio, il metodo di Hoffmann richiede tre tipi di input, che sono comuni a tutti i casi: le relazioni di precedenza, il tempo delle singole operazioni ed il tempo del ciclo. L'output fornisce l'assegnazione delle operazioni alle stazioni, il numero teorico minimo di stazioni e l'efficienza del bilanciamento.

Il metodo di Hoffmann tenta di assegnare alla prima stazione le operazioni che forniscono il minor tempo morto, scegliendole tra quelle fattibili nel grafico delle precedenze ed enumerando le soluzioni possibili. Quando il programma trova una soluzione con tempo morto nullo, la soluzione si arresta ed il programma passa alle stazioni successive. La procedura viene ripetuta per le successive stazioni, fino all'esaurimento di tutte le operazioni programmate. A questo punto, il bilanciamento viene ripetuto partendo dall'ultima stazione e risalendo verso la prima lungo il diagramma delle precedenze ed il risultato migliore tra i due viene preso come definitivo.

Nella discussione ora fatta il problema del bilanciamento è stato volutamente ultrasemplificato. Infatti, nella pratica molte considerazioni complicano il problema e prendere in considerazione alcune di esse comporta la necessità di strumenti di calcolo molto sofisticati per avere soluzioni soddisfacenti. Di seguito se ne enumerano alcune:

Variabilità dei tempi operativi. Il tempo richiesto dall'operatore per compiere un'operazione spesso varia con problemi legati ai materiali impiegati, alla fatica e ad un'erata postura di lavoro. Ne risulta la necessità di prevedere tra le stazioni magazzini intermedi, di rallentare i ritmi della linea per far fronte a tali variazioni e, talvolta, la necessità di completare certe operazioni fuori linea.

Molteplicità di prodotti. È molto comune che una stessa linea di montaggio sia dedicata ad un mix di modelli dello stesso prodotto, oppure ad un mix di prodotti. Naturalmente è altrettanto spesso difficile ottenere un buon bilanciamento per tutte le situazioni.

Vincoli architettonici o funzionali. In alcuni casi certe operazioni devono essere tenute insieme poiché sono richieste le stesse attrezzature oppure sono necessari operatori con uguale qualifica. Altre volte, invece, è essenziale tenere distinte le operazioni, anche dal punto di vista logistico, come nel caso della sabbiatura e della verniciatura (per evitare la presenza di polveri in questo reparto).

Fattori sociali. L'effetto di scegliere tempi del ciclo brevi è di rendere sempre più ripetitive le azioni degli operatori, ma in questo modo di aumentare l'utilizzo delle loro attitudini specifiche e di spingere l'efficienza del lavoro. Il limite è evitare lo stress degli operatori ed evitare un clima di lavoro non accettabile.

A dispetto di tutto il lavoro descritto per ottenere il voluto bilanciamento delle linee di montaggio, in realtà i metodi esposti non sono usati così largamente. In uno studio condotto negli Stati Uniti nel 1975 su 90 imprese da Chase, 80 di esse usavano solamente metodi manuali, 7 software commerciale e 3 metodi combinati al computer e manuali. Il motivo raccolto da Chase era che il 57% delle 80 aveva responsabili del layout poco familiari con i metodi numerici. Invece, gli altri erano convinti che il tempo necessario per raggiungere una buona soluzione col computer erano eccessivi e che, nel software mancava la necessaria flessibilità. Se ne può trarre la conclusione che, in campo industriale, esistono ancora grandi possibilità di miglioramento delle metodologie di progetto del lay-out.

Una delle più dibattute discussioni è che, una volta fissato il lay-out, non può essere variata facilmente la potenzialità della linea, spostando in avanti ed indietro la sede delle

single operazioni. Cioè, se i responsabili decidono di cambiare la potenzialità od il mix di modelli, la linea deve essere più o meno completamente ribilanciata ed è richiesto un tempo non piccolo perché gli operatori apprendano le nuove sequenze e le nuove operazioni e perché l'efficienza della linea ritorni a valori accettabili. Ne risulta che si tende a mantenere la potenzialità ed il mix di modelli quanto più stabili possibile, facendo assorbire le variazioni della domanda ai magazzini dei prodotti finiti. Al proposito, Chase ha osservato che in media le linee venivano ri-bilanciate 3 volte l'anno e che il ribilanciamento richiedeva in media più di 5 giorni per poter ritornare alla piena potenzialità.

2.5.3.4. Determinazione Empirica delle Aree di Processo

Il metodo dei Calcoli Diretti visto sopra è detto anche **metodo del Centro di Produzione**, in quanto permette di determinare, per ogni macchina:

- lo spazio necessario per la sua collocazione e quella delle attrezzature ausiliarie,
- lo spazio di lavoro circostante, necessario per gli **operatori** addetti,
- lo spazio necessario per la **manutenzione** della macchina e per il deposito interoperazionale dei pezzi in lavorazione.

In questo modo si può pervenire ad un'area associata al tipo di macchina **j** od al tipo di montaggio (se del caso), la quale, sommata all'area corrispondente alle altre macchine con gli operatori addetti alla stessa operazione, fornisce l'ingombro complessivo richiesto, tenendo conto degli spazi accessori necessari e dei vincoli topografici, per la potenzialità produttiva richiesta. I calcoli devono essere eseguiti per le condizioni di punta della macchina e del suo utilizzo, quindi tenendo conto del numero massimo di turni, degli straordinari, dell'acquisizione di attività da altre macchine o da altre stazioni, ecc. Sulla base dei calcoli fatti e dei dati relativi alle macchine ed alle stazioni, è possibile compilare una tabella che riporti, per ogni stazione, i suoi ingombri in pianta ed in elevazione ed, a questo punto, è possibile procedere al posizionamento di tutte le aree di processo.

Naturalmente, nel caso in cui si voglia inserire nel lay-out una nuova macchina, come visto in fig. 2.33, e la sua quantità di lavoro risulti bassa, si deve porre molta attenzione alle possibilità di miglioramento dei metodi correnti di lavorazione, individuando le possibilità di semplificazione e di conseguente riduzione dei tempi collegati alla lavorazione, prima di deciderne l'investimento.

Abbiamo ampiamente visto le possibilità di ottenere il prodotto in tre modi fondamentali: la produzione in linea, a lotti e per pezzi unici su progetto. Poiché la forma del flusso dei materiali è così diversa nei tre casi, anche le decisioni riguardanti la disposizione dell'impianto saranno diverse per ognuno di essi. Nel prosieguo assumeremo che la scelta del tipo di flusso sia stata fatta e che tratteremo di uno specifico tipo di organizzazione produttiva.

I giapponesi sono maestri nella organizzazione del lay-out delle loro aziende e riescono a trovare lay-out assolutamente efficienti e compatti per i loro reparti. Tipicamente, l'azienda giapponese riesce a ridurre lo spazio richiesto per l'impianto ad 1/3 di quello impiegato negli Stati Uniti od in Europa. La ragione fondamentale di questi risultati è l'impiego diffuso delle tecniche di Just-In-Time, le quali, a loro volta, garantiscono un impiego minimo di materiali in produzione (WIP, work-in-process) e, quindi un minimo spazio al suolo per il loro deposito tra le lavorazioni. In questo modo, le macchine e le attrezzature possono essere disposte reciprocamente molto più vicine, ma anche risulta molto più semplice il controllo visivo della produzione, ed il flusso dei materiali avvie-

ne in maniera regolare e dolce (tuttavia, tale tendenza non deve essere portata al punto da creare problemi di manutenzione e di sicurezza del lavoro).

Anche le aziende occidentali cominciano ad adottare in maniera diffusa il JIT ed, effettivamente, si cominciano a vedere lay-out più compatti ed efficienti. Conseguentemente, sono drasticamente ridotte le richieste di spazio e si ottengono incrementi di capacità produttiva dell'ordine di 2 o 3 volte. Naturalmente, in Occidente si comincia anche a considerare che il disegno del lay-out non è il risultato di una scelta operativa indipendente, ma piuttosto fortemente dipendente dalle decisioni prese per riguardo al controllo di qualità, la manutenzione e lo scheduling di produzione, i quali tutti subiscono forti condizionamenti dall'impiego della filosofia del Just-In-Time. Dunque, le decisioni prese su di essi devono essere attentamente valutate, prima di procedere a fissare il disegno del lay-out.

2.5.3.4.1. Metodo delle Conversioni

Questo metodo si usa quando il problema da risolvere è la modifica del lay-out esistente. Esso consiste nel convertire le esigenze di spazio della situazione in atto in esigenze di spazio prevedibili per il lay-out modificato. In genere, tale conversione si basa sulle valutazioni e stime accurate basate sulla situazione presente, tenendo conto sia delle espansioni, sia delle contrazioni possibili.

tab. 2.IX. Applicazione del Metodo delle Conversioni ad un impianto di trattamento superficiale [m²]. Due evoluzioni.

METODO DELLE CONVERSIONI					esec.			data		
RICHIESTA DI SPAZIO					1° ipotesi conversione			2° ipotesi conversione		
		attuale	disp.	totale	Δ area %	richiesta	progetto	Δ area %	calc.	progetto
1	magazzino ingresso	30	70	100	0	100	75	20	120	120
2	officina	400	600	1000	-15	850	850	10	1.100	1.050
3	brasatura	60	60	120	50	170	150	75	210	200
4	placcatura all'uranio	50	50	100	20	120	110	50	150	150
5	placcatura altri metalli	40	110	150	10	165	165	30	195	200
6	saldatura	190	210	400	-5	380	380	10	440	440
7	sabbatura	45	45	90	5	95	90	10	100	100
8	sigillatura	190	210	400	20	480	440	30	520	500
9	prova di tenuta	20	20	40	25	50	50	30	50	50
10	camera a vuoto	25	75	100	10	110	100	50	150	150
11	camera di scarico	165	205	370	20	445	400	25	460	450
12	preparazione gas	15	35	50	30	65	65	40	70	70
13	accettazione	150	0	150	10	165	165	20	180	180
14	spedizione	200	0	200	10	220	220	20	240	240
	Totali	1.880	1.670	3.550		3.705	3.520		4.350	4.200

La limitazione più importante alla sua applicazione risiede nella considerazione che lo spazio totale richiesto non è necessariamente funzione lineare della potenzialità Q dell'impianto, in quanto potrebbe essere che lo spazio attuale non sia usato in modo efficiente e che, pertanto, la situazione corrente non sia un buon punto di partenza per le valutazioni qualitative di conversione.

2.5.3.4.2. Metodo degli Spazi Standard

In molti casi, un modo pratico per determinare lo spazio richiesto è ricorrere a spazi standard, dati dalla pratica industriale. A tali standard possono essere aggiunti altri, suggeriti dai problemi via via affrontati, ed inseriti in un database aziendale.

Come sempre, l'adozione di valori standard deve essere sempre successiva ad un'attenta valutazione sull'effettiva congruenza della situazione nella quale gli spazi standard sono stati definiti. Un problema assolutamente simile si trova quando si ricercano dati nei database dei guasti dei componenti gli impianti. In tab. 2.X si mostra un esempio di raccolta di Spazi Standard.

L'area totale risultante dalla somma delle aree *minime* richieste per tutte le macchine viene moltiplicata per un fattore correttivo (1.3 per lay-out normali ed 1.8 quando è presente un forte problema di trasporto ed immagazzinamento interoperazionale), che tiene conto dello spazio richiesto dalle vie di accesso e le aree di servizio tra i reparti.

tab. 2.X. Spazi Standard di alcune macchine utensili.

codice	descrizione	area minima [m ²]
109	Tornio Dania	7
120	Tornio Dittler	7.4
282	Spianatrice	5
340	Brocciatrice verticale	8.5
341	Brocciatrice Forst	9
652	Fresatrice Cincinnati	10
657	Fresatrice Oerlikon	9.5
760	Rettificatrice Woumard	6.25
768	Rettificatrice Zocca	9

2.5.3.4.3. Metodo del Lay-out Schematico

Può accadere che non si voglia ricorrere a calcoli e conversioni o non siano disponibili spazi standard applicabili, ma solamente una pianta dell'area disponibile. Mediante l'uso di sagome o modelli delle attrezzature e delle macchine previste, può essere utile abbozzare un **lay-out dettagliato schematico** di ciascuna area, per valutare lo spazio richiesto da ogni attività del diagramma dei rapporti.

Il lay-out dettagliato reparto per reparto che verrà definito in una fase successiva, potrà risultare del tutto diverso, ma, ai fini del lay-out complessivo e della valutazione degli spazi, un lay-out schematico del tipo ora in esame e riferito ad ogni attività potrà aiutare a meglio definire lo spazio da assegnare.

2.5.3.4.4. Metodo delle Cifre Indice

Questo metodo è limitato alle generiche richieste di spazio ed è il più approssimativo tra quelli esposti sopra, tuttavia può essere adeguato nel caso in cui siano scarse le attrezzature e gli investimenti fissi, come accade per le aree destinate ad uffici o magazzini di uso generale.

2. Lo Studio di Fattibilità

Il metodo si avvale di cifre indici, riferite di volta in volta a diversi fattori, quali la superficie per addetto, per unità prodotta, per unità di potenza installata, ecc. Naturalmente, perché le cifre indici abbiano una certa validità, è necessario distinguere meglio l'organizzazione alla quale si riferiscono, essendo troppo ampia la varietà delle attività svolte in campo industriale. Inoltre, le cifre indici variano nel tempo e, dal loro andamento nel passato, si possono individuare le loro linee di tendenza, da poter estrapolare al futuro ed individuarne i valori che esse assumeranno nel tempo. Fissando ad un certo istante tali valori, si possono elencare i dati di tab. 2.XI.

tab. 2.XI. Cifre Indice delle aree di alcune attività industriali

settore	utile/addetto	produttiva/utile	uffici/utile	servizi/utile
Alimentare	104	0.83	0.08	0.05
Tessile	56	0.80	0.08	0.07
Abbigliamento	88	0.74	0.11	0.10
Calzature	33	0.78	0.10	0.10
Cuoio e pelli	32	0.72	0.09	0.08
Legno	128	0.86	0.02	0.04
Metallurgico	83	0.81	0.09	0.06
Meccanico	73	0.79	0.10	0.07
Arredamento	55	0.81	0.10	0.06
Costruzione mezzi di trasporto	74	0.81	0.08	0.05
Lavorazioni materiali non metallici	110	0.88	0.07	0.04
Chimico	106	0.72	0.11	0.06
Gomma	61	0.78	0.11	0.08
Carta, stampa e fotografia	73	0.78	0.12	0.06
Prefabbricazione edile	2.160	0.80	0.11	0.06

2.5.3.5. Verifica Analitica del Lay-out

Molti problemi si rifanno a criteri quantitativi, che riguardano la locazione dell'impianto e dei suoi componenti, i quali possono essere espressi in termini di costo:

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ij} \cdot C_{ij} \cdot D_{ij} \quad (2.14)$$

dove:

T_{ij} è il numero di trasferimenti tra le locazioni i e j ,

C_{ij} è il costo per unità di distanza, per trasferimento tra le locazione i e j ,

D_{ij} è la distanza tra le locazioni i e j ,

C è il costo totale,

N è il numero di locazioni.

T_{ij} e C_{ij} possono essere considerati costanti ed indipendenti dalla coppia di locazioni i e j , quindi D_{ij} è l'unica variabile in (2.14), la quale dipende dalla scelta delle locazioni. Allora, si deve cercare il valore della particolare combinazione (o progetto di lay-out) D_{ij} che rende minimo il costo C .

Nella (2.14), il costo può essere espresso sia in termini monetari, sia in termini di tempo, in modo che essa può essere applicata sia alla distanza di trasferimento dei materiali, sia allo spostamento del personale. Così, ogni criterio basato sulle risorse può esse-

re trattato considerandone il *costo*, come qualsiasi risorsa *scarsa*, che deve essere conservata o minimizzata dalle decisioni prese sul lay-out.

Dalla (2.14) appare chiaramente che il criterio del costo è stato preso come funzione lineare della distanza, il che dà luogo a vantaggi di ordine analitico, ma anche a vantaggi pratici. Per esempio, il lay-out di una scuola che è frequentata da 50 studenti che vivono ad 1km di distanza è considerato equivalente a quello che ha uno studente a 50km ed i rimanenti 49 a 0km. Tuttavia, senza arrivare a questi estremi, la (2.14) può essere utile per la soluzione dei problemi di locazione, impiegando i criteri della geometria lineare.

Esempio

Per illustrare il problema di minimizzare T agendo su D_{ij} esaminiamo un'azienda produttrice di tosaerba e spazzaneve domestici, composta dai reparti di tab. 2.XII. Assumiamo che l'obiettivo sia di minimizzare il costo di trasferimento dei materiali da un reparto all'altro, in un sistema produttivo a flusso intermittente. A questo scopo, si farà la lista dei passi necessari alla definizione delle costanti e della variabile in (2.14).

tab. 2.XII. Reparti dell'azienda produttrice di tosaerba e spazzaneve.

Numero del reparto	nome del reparto	area [m ²]
1	verniciatura	500
2	taglio dei metalli	350
3	saldatura	600
4	motori	225
5	lavorazione dei metalli	600
6	controlli	275
7	pneumatici e ruote	500
8	assemblaggio	600

Il primo passo è di determinare il numero di trasferimenti tra ogni coppia di locazioni, il quale può essere ricavato direttamente dalla documentazione di fabbrica, in particolare dal ciclo di lavorazione. L'andamento globale, in entrambe le direzioni, può essere rappresentato in forma di matrice come in fig. 2.38a, la quale si riferisce ai trasferimenti per settimana (ma la scelta dell'unità di tempo è, evidentemente, quella più comoda per i calcoli).

Congiuntamente si riporta in matrice il costo del trasporto per unità di distanza coperta con ogni trasporto. Il costo può variare da casella a casella a causa del particolare metodo di trasporto usato: ad esempio, si può usare un carrello a forche per il trasporto dei motori al reparto di assemblaggio, mentre possono essere usati carrelli a mano quando i materiali sono trasferiti dal controllo (campionario) alla saldatura. La matrice dei costi è riportata in fig. 2.38b.

Il secondo passo dell'analisi è la determinazione delle distanze tra le locazioni, le quali, come è ovvio, dipendono la lay-out di fig. 2.39 scelto. Con la disposizione di fig. 2.39, assunta come punto di partenza, le distanze tra le locazioni sono quelle di fig. 2.40a ed è ora possibile calcolare il costo totale del trasporto. In fig. 2.40b è riportato, per ogni cella, il prodotto di T_{ij} , D_{ij} e C_{ij} . Sommando il risultato di tutte le celle si ottiene un costo di 3.668,50€/w.

2. Lo Studio di Fattibilità

locazioni								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		75	100	30	40	0	30	50
2			100	0	150	0	0	0
3				0	70	0	30	80
4					30	70	0	100
5						20	60	0
6							0	0
7								120
8								

locazioni								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		.05	.08	.04	.06	.10	.05	.04
2			.04	.05	.06	.10	.05	.06
3				.06	.05	.10	.05	.07
4					.06	.10	.05	.06
5						.10	.05	.05
6							.05	.05
7								.05
8								

fig. 2.38. a) Matrice dei trasferimenti per settimana T_{ij} tra le locazioni i e j nei due sensi; b) Matrice dei costi di trasferimenti per unità di carico C_{ij} (in € per metro e per trasferimento) tra le locazioni i e j .

1 verniciatura	4 motori	5 lavorazione dei metalli	7 pneumatici e ruote	magazzino ingresso
2 taglio lamiera	3 saldatura	6 controllo	8 assemblaggio	magazzino prodotti finiti

fig. 2.39. Lay-out iniziale.

locazioni								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		30	50	30	60	80	80	100
2			40	50	80	70	100	90
3				30	50	40	70	60
4					30	50	60	70
5						30	40	50
6							50	40
7								30
8								

locazioni								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		112.5	400	36	120		120	200
2			160		720			
3					175		105	336
4					54	350		420
5						60	120	
6								
7								180
8								

fig. 2.40. a) matrice delle distanze D_{ij} tra le locazioni i e j , sulla base della disposizione di fig. 2.43; b) matrice dei costi C_{ij} .

Naturalmente, il minimo della funzione di costo potrà essere trovato solamente dopo aver considerato tutte le combinazioni di locazione possibili, ma questo sarà possibile economicamente quando il problema è molto semplice, in quanto complessivamente dal punto di vista matematico esse sono:

$$N!/(N-1)$$

e, quindi, se N è grande solo il computer le può valutare economicamente tutte.

In sintesi, il problema quantitativo del lay-out di un processo intermittente può essere spesso espresso come funzione lineare della distanza tra le locazioni. I dati richiesti sono il numero di trasferimenti tra le locazioni nell'unità di tempo, il costo per unità di distanza per ogni trasferimento e la distanza tra le locazioni. Tali dati consentono il calcolo del costo totale di trasporto di ogni lay-out, a partire dal costo di trasporto tra ogni coppia di locazioni. Tuttavia, nella maggior parte dei casi di interesse per il calcolo del minimo del costo (che deve considerare ogni possibile scambio di posizione delle locazioni), il numero delle combinazioni è così elevato che è necessario l'uso del computer per ottenerlo, anzi in alcuni casi ci si deve accontentare di trovare non il minimo, ma una soluzione quasi ottimale, la quale è ottenibile con metodi speciali.

2.5.3.6. **Pianificazione del Lay-Out al Computer.**

La pianificazione computerizzata del lay-out degli impianti a flusso intermittente si evolve a partire dal 1963, quando è stato presentato il primo pacchetto software (CRAFT) per la soluzione dei problemi quantitativi. Dal 1967 sono disponibili anche pacchetti per la soluzione di problemi qualitativi, cioè da quando la IBM ha presentato il suo software ALDEP. I due pacchetti citati sono i più noti e verranno descritti sommariamente.

2.5.3.6.1. **CRAFT (Computerized-Relative-Allocation-of-Facilities).**

Questo software è stato sviluppato da Buffa, Armour e Vollmann per un massimo di 40 locazioni di attività. L'input del programma è la matrice dei costi unitari ed uno schema iniziale di lay-out di primo tentativo. Nella matrice, le caselle portano il prodotto di T_{ij} e C_{ij} specificati sopra, ed il programma fa i calcoli nel modo descritto nell'esempio, determinando preliminarmente (dai dati inseriti) la distanza tra i centroidi delle locazioni. Ad ogni variazione del lay-out derivante dall'assunzione di una nuova combinazione di locazioni, esso calcola il costo totale. Ogni nuova situazione è ottenuta scambiando successivamente, a due od a tre, tutte le locazioni e tenendo in memoria ogni volta il costo totale ottenuto. In corrispondenza di un'iterazione, se si ottiene una riduzione del costo totale, il risultato è stampato ed il lay-out corrente sostituisce quello precedente: da esso si riparte per effettuare un nuovo scambio di locazioni. Il programma procede fino a che ha esaminato tutte le possibili combinazioni e non si verificano riduzioni di costo totale. Il processo di raggiungimento del risultato è euristico. Come detto in §2.5.3.3, le euristiche sono usate per risolvere problemi decisionali quando le tecniche precise non sono disponibili, oppure sono troppo costose o difficili da adoperare. In pratica, spesso esse sono molto buone e danno risultati apprezzabili, anche se non è sempre garantito che si raggiunga il risultato **ottimale**.

Infatti, si è osservato che il risultato fornito da CRAFT è spesso influenzato dal lay-out di primo tentativo steso dall'utente. Per questo motivo, il programma viene fatto girare partendo da situazioni diverse, per ridurre l'incertezza del risultato. Ne deriva che, in realtà, CRAFT non garantisce di raggiungere la soluzione che presenta il minimo assoluto del costo totale, ma fornisce una buona approssimazione a quel punto ottimale. Ma questo non è un problema molto grave, se esso è utilizzato in tutto il mondo ed è stato lo strumento di progettazione del lay-out di 4 fabbriche di aerei, 2 grandi costruttori di auto, 2 costruttori di computer, 1 fabbricante di medicinali, 1 confezionatore di carne, un costruttore di macchine utensili di precisione, uno studio cinematografico, ecc.

2.5.3.6.2. **ALDEP (Automated-Lay-out-Design-Program)**

Come detto, ALDEP tratta solamente il problema del lay-out a criteri qualitativi. Esso è in grado di gestire 63 locazioni e 3 magazzini.

L'input di ALDEP comprende la nota matrice delle relazioni ed i vincoli imposti dalla grandezza degli stabilimenti, le locazioni fisse di certe locazioni, la disponibilità di scale, ecc. Il programma parte scegliendo a caso una locazione e piazzandola nel progetto di lay-out. Il secondo passo consiste nel valutare tutte le altre locazioni e nel posizionare quella che presenta una condizione ad elevato grado di vicinanza (come **A** od **E** di fig. 2.33) in prossimità della prima. Se non esiste una locazione con un così elevato grado di vincolo, il programma sceglie a caso un'altra locazione e la piazza nel progetto di lay-out. Questo processo di selezione continua fino a che tutte le locazioni sono piazzate. A questo punto, il programma compila una pagella, convertendo ogni grado di vincolo raggiunto nel progetto in un valore numerico e sommandolo agli altri. Il criterio di preferenza di un lay-out è il raggiungimento di un maggior valore in confronto a quello proposto precedentemente.

L'intero processo è ripetuto più volte, partendo da una locazione casuale diversa ogni volta ed ogni iterazione comporta la stesura di un nuovo lay-out. Quindi, ALDEP crea un gran numero di buoni lay-out, pronti per un'ulteriore valutazione, ma esso può essere controllato in modo che siano proposti solamente i risultati che portino ad un lay-out con pagella migliore di un livello minimo prefissato. Come visto sopra, anche ALDEP è un programma euristico ed il raggiungimento del punto ottimale è possibile solo per caso.

2.5.3.6.3. **Decisioni di Lay-Out.**

Dopo aver messo in evidenza gli aspetti analitici del problema, brevemente considereremo ora le implicazioni di tipo comportamentale ed ambientale. Infatti, i risultati che i modelli descritti forniscono non tengono adeguatamente in conto gli aspetti umani, quali il contatto umano, il grado di privacy, il senso della proprietà, ecc. anzi hanno un grande impatto sulla percezione del senso del lavoro da parte del personale, influenzandone le prestazioni, la motivazione e la soddisfazione. Così, il posto di lavoro potrebbe essere organizzato in modo da essere altamente efficiente, ma il risultato è normalmente scadente se, nella pratica, si osserva che l'operatore cerca ogni scusa per abbandonarlo.

Dagli studi fatti risulta che i fattori ambientali più importanti del lay-out sono il grado di privacy e la vicinanza con altri operatori che lavorano su attività correlate. Il grado di privacy è importante perché permette alla persona di regolare le proprie relazioni interpersonali. D'altra parte, la prossimità con gli altri che operano alla stessa attività può essere facilitata da un'opportuna locazione spaziale dei posti di lavoro, ottenendo così un risparmio di tempo dei trasferimenti ed un miglioramento delle possibilità di comunicazione, ciò che migliora le prestazioni globali.

2.5.3.7. **Alternative alle Linee di Montaggio Tradizionali**

Gli studi di Chase forniscono informazioni sugli effetti delle catene di montaggio sugli operatori. Essi indicano che il ricambio di personale può raggiungere, in qualche compagnia, la cifra enorme del 46% per anno, che le lamentale espresse ufficialmente hanno riguardato il 52% degli operatori, quindi, che esiste una forte turbolenza di rapporti tra operatori e responsabili di produzione. Perciò, la dirigenza è spinta a considera-

re alternative percorribili a quelle tradizionali, che sono troppo rigide ed alienanti. Le alternative possibili sono, in sintesi:

- moltiplicare le linee di montaggio dello stesso prodotto, ognuna con cicli più lunghi e, quindi, con maggiore varietà delle operazioni all'interno di ogni stazione. L'uso di questa alternativa può essere dispendioso nelle aziende che sono a forte impiego di capitale, in quanto, qui, si richiede spesso una duplicazione delle attrezzature e delle macchine. Invece, esistono molte situazioni a forte impiego di manodopera nelle quali questo approccio può essere adottato facilmente. Per esempio, per il montaggio del triciclo di fig. 2.35, che è ad alto impiego di manodopera, si potrebbero utilizzare diverse piccole linee di montaggio,
- progettare linee di montaggio che permettano l'organizzazione per gruppi di lavoro e creino una più intensa interazione sociale tra gli operatori nell'ambito del loro lavoro. Questo approccio è stato introdotto dalla Volvo negli anni '60 per il montaggio delle vetture ed è oggi abbastanza diffuso. Nella loro organizzazione, ad un gruppo di operatori è assegnato il montaggio di una parte della vettura per un dato periodo di tempo. Ad esempio il gruppo della selleria lavora in team per completare tutta la tappezzeria interna dell'auto e decide autonomamente chi fa che cosa, in modo che i membri del gruppo possono ruotare a svolgere le diverse operazioni, pur nel rispetto del tempo imposto. Tale approccio aumenta l'interazione sociale tra gli operatori, permette la rotazione delle operazioni e la varietà del lavoro. Successivamente, tale impostazione è stata utilizzata anche dalla General-Motors nella sua joint-venture con la Toyota nello stabilimento di Fremont in California, per la costruzione della vettura Saturn,
- progettare linee di montaggio che permettano una scelta personale degli operatori per riguardo alle cadenze, inserendo magazzini intermedi dei grezzi e dei semilavorati tra le stazioni. In questo caso, il prodotto non risulta troppo rigidamente costruito, ma si muove ad una velocità che può essere variabile. Questa organizzazione è stata scelta dalla General-Electric per la modernizzazione del suo impianto di costruzione di lavastoviglie di Louisville. Per metterlo in opera, le lavastoviglie passano automaticamente da una stazione all'altra, caricate su carrelli, che sono usati anche come magazzino intermedio. Con questa soluzione, gli operatori hanno l'autonomia sufficiente ad incrementare la qualità del prodotto, potendo spendere per questa attività un pò di tempo, se richiesto,
- provvedere linee di montaggio destinate ad un mix di modelli o di prodotti ed in cui gli operatori non costruiscono sempre lo stesso prodotto. In questi casi si costruisce il modello **A**, poi il modello **B**, quindi il modello **C**, ma la sequenza non è rigida, è a discrezione degli operatori, pur nel rispetto del piano di produzione prefissato. Questa organizzazione a mix di modelli ha grande popolarità in ambienti nei quali si persegue la politica del Just-In-Time. Essa è stata adottata nell'impianto Kawasaki a Lincoln nel Nebraska, dove i motocicli sono costruiti in una linea di montaggio nella quale i vari modelli possono susseguirsi in modo abbastanza dipendente dal flusso degli ordini. Come è ovvio, l'organizzazione consente di avere una varietà sufficiente delle operazioni svolte dagli operatori, ma raggiunge anche l'obiettivo di avere minori scorte a magazzino, dato che la produzione in linea segue quasi fedelmente le richieste dei clienti finali.

Come si può vedere, esistono molti modi di organizzare il lavoro, una volta che alcune delle assunzioni per il bilanciamento delle linee sia messo in discussione. Le opzioni indicate possono essere chiarite ancor meglio, seguendo l'esempio del triciclo di fig. 2.35.

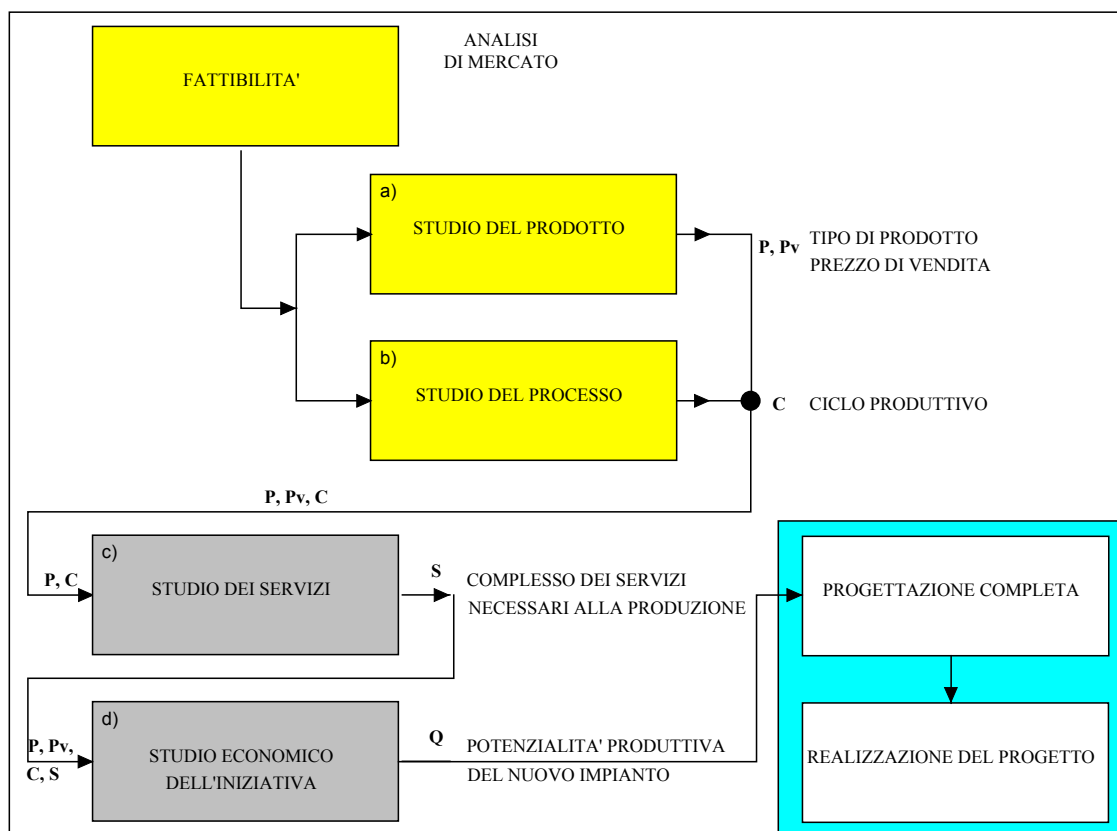
Esempio

Con riferimento ancora al prodotto di fig. 2.35, supponiamo ora di voler costruire 575 tricicli al giorno (1 turno di 8 ore). Questo comporta che il ciclo sia di 50s, se si usa una sola linea di montaggio. Usando il metodo di Hoffmann, risultano necessarie 6 stazioni. Il primo operatore dovrà montare la ruota sinistra e 3 anelli, il secondo completa il montaggio della ruota sinistra e monta la ruota destra, e così via.

Un'altra via per montare i 575 tricicli al giorno è di formare team di 2 operatori. In questo caso, un operatore monta la ruota sinistra, mentre l'altro monta quella destra. Un operatore monta il sellino, mentre l'altro inserisce la forcella anteriore ed entrambi completano la forcella anteriore e montano il manubrio e le manopole. In effetti, entrambi gli operatori di un gruppo possono organizzare il proprio lavoro nel modo desiderato. Il responsabile si aspetterà la stessa produttività, se non addirittura maggiore, e per ottenerla avrà i team composti di due persone, che produrranno ognuno 192 tricicli al giorno con un tempo del ciclo di 150s per triciclo. Per molti operatori questa organizzazione del montaggio è molto più desiderabile di una linea rigida, la quale presenta un minore tempo di ciclo ed una minore possibilità di interazione umana. Dal punto di vista dell'efficienza dell'impianto, non emerge ragione per una differenza con la linea rigida, poiché il numero di pezzi è lo stesso ed altrettanto il numero degli operatori.

Un altro modo per organizzare la produzione dei tricicli è di prevedere 2 piccole linee di montaggio, ognuna con 3 stazioni. Esse possono avere un ciclo di 100s e, quindi, permettere una adeguata variabilità del lavoro per ogni operatore.

2.6. L'INTEGRAZIONE DELLO STUDIO DEL PRODOTTO E DEL PROCESSO.



Nel 1987 D. Leonard-Burton²¹ affermava che la definizione del processo tecnologico è la fonte più frequente di disturbo al normale flusso delle informazioni. Non sono in discussione gli eccellenti risultati che in tale fase sono ottenuti, progettazione avanzata, tecnologia di punta, ecc, ma al fatto che un disallineamento tra progetto del prodotto e della produzione è abbastanza comune nella pratica.

Tali disallineamenti riguardano:

- la **tecnologia**. Essi si verificano quando il prodotto progettato dalla divisione R&D non può materialmente essere costruito con la cadenza prevista a causa dei problemi che insorgono perché la tecnologia è nuova, oppure non acquisita, o non ben capita,
- le **risorse**. La produzione può avere risorse inadeguate al nuovo prodotto in termini di qualifica della manodopera, di sistemi di controllo, di garanzia della qualità, di organizzazione, ecc.
- i **premi**. I sistemi di premio alla produttività possono favorire le tecnologie correnti, piuttosto che quelle richieste dal nuovo prodotto.

Per superare questi problemi di sviluppo del processo tecnologico, l'autrice mostra i vantaggi dell'approccio integrato che si riferisce ai rapporti tra R&D, produzione e marketing, invece che restare nell'approccio tradizionale per passi o stadi successivi (se-

²¹ D. Leonard-Button, *Implementing New Technology: The Transfer from Developers to Operations*, Rep. of Harvard Business School, 1987

riale), nei quali una tecnologia viene decisa solamente alla conclusione dell'analisi precedente.

La fig. 2.11 ha mostrato il processo di sviluppo simultaneo ed in essa si è osservato come tutte le funzioni siano state coinvolte nel processo fin dall'inizio, frequentemente mediante la formazione preliminare di un team di sviluppo del nuovo prodotto. Nelle prime fasi, la divisione R&D sopporta il massimo sforzo, ma anche le altre funzioni giocano un ruolo. Dopo la progettazione del prodotto, lo sforzo di R&D si riduce, ma non si annulla, mentre, invece, comincia a crescere lo sforzo compiuto dalla produzione fino ad assumere la maggiore importanza. La divisione vendite raggiunge il massimo sforzo quando il prodotto viene lanciato sul mercato, per portarsi successivamente al livello di routine.

La scelta del processo è altamente interagente col progetto del prodotto. Per riflettere su questa interazione, ricordiamo che le scelte del processo e del prodotto costituiscono i due lati della matrice prodotto-processo di fig. 2.8. Le decisioni richiedevano la selezione di una cella di questa matrice, cioè la scelta sia del prodotto, sia del processo.

Tuttavia, la nuova automazione flessibile rende possibili alcune variazioni interessanti della matrice prodotto-processo. Infatti, impiegando le nuove tecnologie, oggi si può operare su un più largo spettro di prodotti con lo stesso processo fisico produttivo. Poi, la tecnologia computerizzata permette di produrre contemporaneamente prodotti standardizzati in gran volume e prodotti parzialmente personalizzati in volume minore. Cioè, l'organizzazione opera su una linea orizzontale che taglia parzialmente la matrice. Ma la produzione flessibile ha dei limiti ed è costosa, cosicché lo schema a matrice è ancora attuale, ma, in presenza della nuova tecnologia, una stretta aderenza alla diagonale può essere meno necessaria.

2.6.1. Approccio Integrato del Processo di Sviluppo

Il termine **Fabbrica del Futuro** è molto diffuso nei media. La concezione popolare è che questa organizzazione sia rivolta ai robot e che la produzione avvenga senza operai. Per certo, alcune di queste fabbriche esistono già ed altre ne verranno costruite. Tuttavia, l'essenza del concetto di Fabbrica del Futuro non è quella di un sistema con sempre più automazione e sempre meno personale, piuttosto quella di un diverso tipo di automazione, quella organizzata attorno al computer. In essa il computer è usato **in maniera integrata** per la progettazione dei prodotti, dei processi e delle infrastrutture, il controllo delle macchine e degli impianti, il trasporto e la manipolazione dei materiali, il controllo del processo produttivo, ecc. La chiave è l'informatizzazione e l'integrazione delle funzioni e dei vari processi per mezzo di un database centralizzato. Il concetto di Fabbrica del Futuro è anche chiamato CIM (Computer-Integrated-Manufacturing).

Sin dagli inizi degli anni '80, la IBM ha installato una fabbrica CIM ad Austin nel Texas, per produrre PC portatili, i primi computer ad essere costruiti interamente dai robot. In realtà, la fabbrica è stata pensata per costruire ogni prodotto mecatronico avente dimensioni all'interno di un parallelepipedo di $60 \times 60 \times 36 \text{ cm}^3$. Anche la fabbrica Allen-Bradley, che produce regolatori, controllori, sistemi avionici, ecc., ha costruito una fabbrica CIM a Milwaukee nel Wisconsin, ma oggi queste fabbriche sono piuttosto l'eccezione che la regola e la loro diffusione viene misurata in termini di anni.

La fabbrica CIM ha i seguenti elementi integrati attraverso il database di un computer:

- disegno e progettazione CAD (Computer-Assisted-Design),
- produzione CAM (Computer-Aided-Manufacturing),
- robotica,
- programmazione del flusso dei materiali mediante tecniche MRP (Materials-Requirement-Planning), ecc.

Questi elementi sono essenziali in tutte le fasi che vanno dal progetto del prodotto attraverso la sua costruzione, fino alla distribuzione.

2.6.1.1. II CAD.

CAD è il termine col quale si indica il ben noto supporto alla funzione editoriale e progettuale di stesura dei disegni da parte dell'ingegnere. Esso nasce negli anni '60 dalla collaborazione tra IBM e General-Motors, fondamentalmente per mettere nella memoria del computer i disegni tecnici e consentirne la facile archiviazione, l'aggiornamento o la modifica. Come è noto dal nostro uso quasi quotidiano, i disegni sono stesi al terminale e la rappresentazione dell'oggetto può diventare molto sofisticata e consentire l'introduzione di una tavola delle compatibilità dimensionali, particolarmente utile nella validazione dei lavori svolti in team. Una volta validato, il disegno può essere reso disponibile al sistema CAM con un link diretto alla programmazione della produzione.

Perciò, il CAD è molto di più di un semplice supporto alla grafica, anzi consente l'utilizzo di interfacce utente che, in tempo reale, possono eseguire la scelta delle macchine più efficienti per la creazione delle primitive di cui il prodotto è costituito, ma anche la contemporanea verifica strutturale, oppure la verifica delle sue prestazioni, ad esempio dal punto di vista aerodinamico od idraulico, oppure la classificazione automatica dei componenti, l'analisi dei costi dei materiali e della produzione attraverso l'individuazione degli utensili da impiegare ed il tempo macchina necessario, ecc.

Poi, la classificazione dei componenti sarà utilizzata per l'assegnazione dei codici o per il confronto con i componenti già costruiti, in modo che sia agevole l'unificazione all'interno della produzione, oppure l'ingegnere può vedere la convenienza di effettuare la modifica di un componente esistente in modo che esso svolga un'ulteriore funzione, ecc. Al fine di classificare i pezzi, è necessario individuare uno schema di codice, in modo che essi siano classificati per grandezza, per forma, per tipo, per funzione, ecc. Ad esempio, il codice può essere numerico ed il primo numero può rappresentare la forma prevalente, ad esempio cilindrica, il secondo che il pezzo ha meno di una certa massa predefinita, il terzo la massima dimensione, il quarto il materiale, e così via. Se lo schema è ben organizzato, i pezzi possono essere ben classificati ed inseriti e trovati facilmente nel database. Come è noto, uno sviluppo della classificazione può essere la suddivisione dei pezzi in famiglie e la conseguenza può essere una decisione di organizzazione produttiva idonea.

Il vantaggio derivante dalla semplice introduzione del CAD varia da un'organizzazione all'altra, tuttavia, nel caso della General-Motors, l'introduzione di un nuovo modello ha permesso, all'inizio, di ridurre il lead-time da 24 a 14 mesi.

2.6.1.2. II CAM.

Questo supporto informatico è particolarmente adatto alle aziende che adottano uno schema di produzione a lotti o su commessa, fornendo a queste un'efficienza paragonabile a quella delle aziende con produzione in linea. Come sappiamo, la produzione in linea implica alti volumi ottenuti in una predeterminata sequenza e bassi costi.

Invece, la produzione intermittente è più rivolta ai bassi volumi, all'alta variabilità di prodotto ed un flusso a salti dei materiali. Quindi, attraverso il CAM (Computer-Aided-Manufacturing) è possibile spianare il flusso intermittente, che è caratteristico della maggior parte della produzione industriale. Esso utilizza il computer per programmare i processi produttivi, controllare il flusso degli utensili, ottimizzare l'impiego delle macchine e controllare il flusso dei materiali. Con l'uso del computer è possibile cambiare rapidamente la serie di macchine impiegate, quando si devono produrre piccoli lotti, anzi è possibile far lavorare le macchine automaticamente, secondo un prescritto sistema di istruzioni ed alimentare in sequenza le stesse con i pezzi progressivamente pronti. Allo stato dell'arte, per ottenere questo risultato è utile organizzare i prodotti da ottenere in gruppi di prodotti simili, cioè di organizzarli in famiglie secondo il principio della *group-technology*.

Per mostrare l'evoluzione della dislocazione produttiva, la fig. 2.41a mostra uno schema di lay-out tipico per una produzione a flusso intermittente. In esso le macchine sono raggruppate per funzione ed il prodotto segue un flusso a salti, mano a mano che esso subisce le varie lavorazioni.

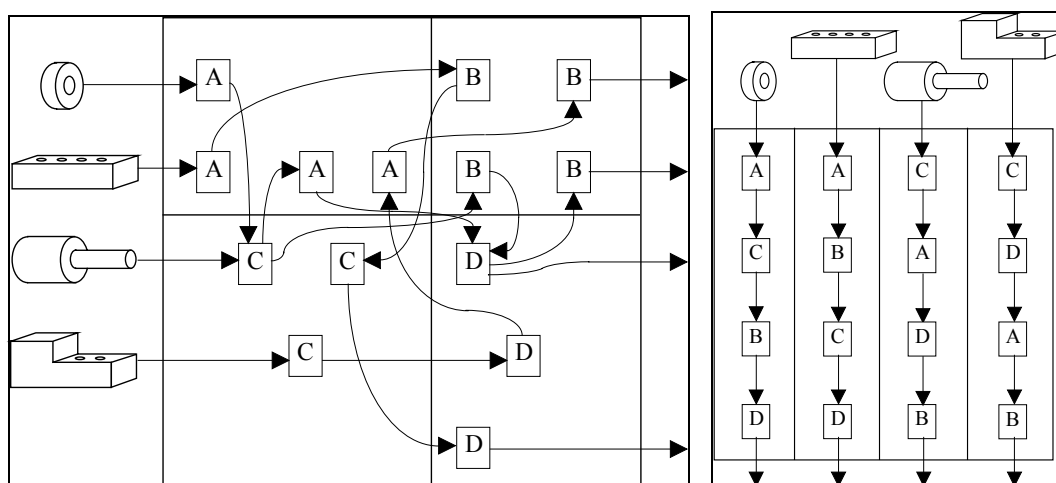


fig. 2.41. a) lay-out tradizionale per una produzione intermittente, b) lay-out per una produzione secondo la *group-technology*.

In fig. 2.41b, il CAM suggerisce la riorganizzazione del reparto in **celle** secondo lo schema della *group-technology*, dove tutte le macchine richieste per completare le lavorazioni su una famiglia sono affiancate per funzione e si ottiene un flusso lineare molto più efficiente, con l'aggiunta di due sole macchine. Perciò, quando si riorganizza la produzione per celle, è spesso conveniente duplicare alcune macchine e, quindi, ridurre il grado di utilizzazione dell'impianto, in confronto al caso precedente. Tuttavia, i benefici globali dell'adozione della *group-technology* sono significativi, purché sia possibile garantire un sufficiente numero di pezzi da produrre per ogni cella.

Infatti, tali benefici sono derivanti dall'accelerazione del processo produttivo conseguente alla razionalizzazione della movimentazione dei pezzi nella cella. Basti pensare che in un reparto tipico a flusso intermittente i pezzi possono stazionare per il 95% del tempo in attesa che una delle macchine in grado di eseguire la lavorazione successiva del ciclo sia libera ed attrezzata. Con l'adozione del lay-out a celle, il tempo di attesa può essere grandemente ridotto ed anche è possibile che il flusso dei materiali sia preso in consegna dalla gestione del computer.

Il risultato è spesso il ben noto sistema di produzione flessibile, l'FMS (Flexible-Manufacturing-System), di cui un esempio è riportato in fig. 2.42. Esso consiste di un impianto comprendente una serie di macchine, un sistema di alimentazione degli utensili e di convogliatori dei pezzi in lavorazione, da stazioni di carico e scarico dei pezzi, gestiti da un computer centrale e da computer periferici, i quali controllano il trasferimento dei pezzi in lavorazione da una stazione alla successiva e le lavorazioni.

I carrelli di trasferimento dei componenti al sistema sono a propulsione elettrica autonoma e guidati da cavi interrati, ma anche con sistemi wireless, come il laser. Questa procedura può essere portata avanti simultaneamente per più pezzi e più centri di lavoro, lungo percorsi diversi.

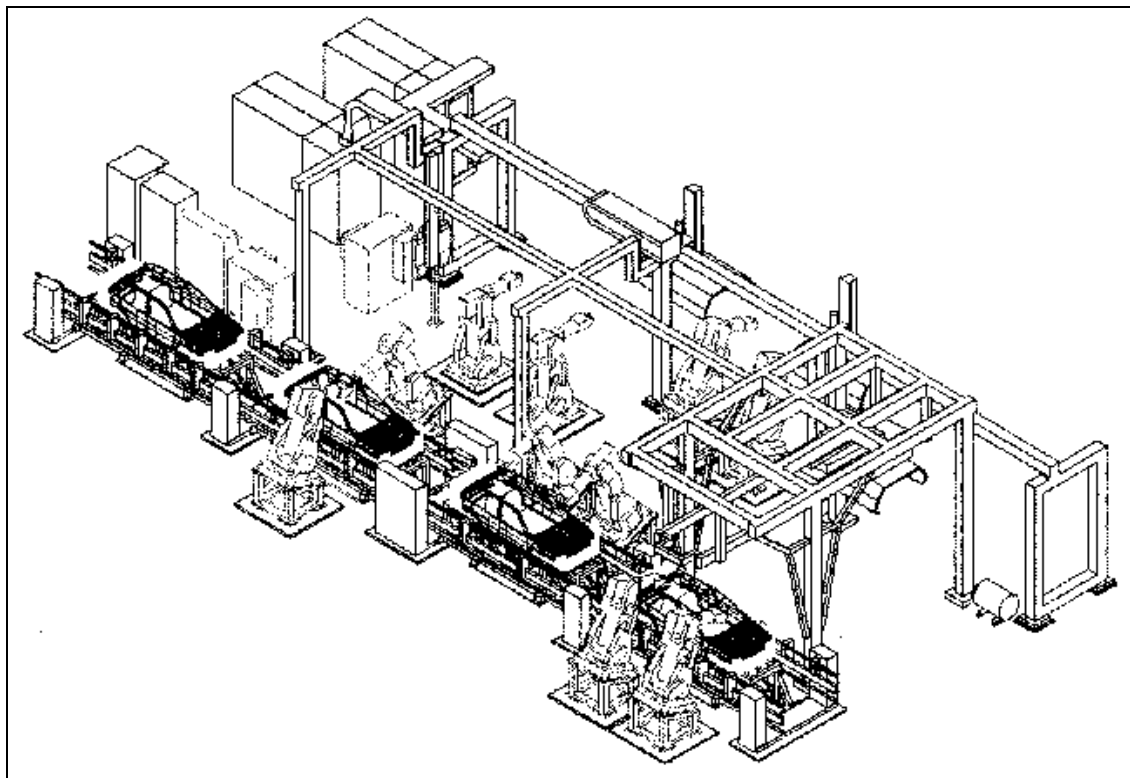


fig. 2.42. Lay-out di un FMS di montaggio di carrozzerie.

Impianti simili agli FMS, ma in linea, sono stati impiegati per molti anni nella produzione di grande serie e di massa. Esempi noti sono le linee di lavorazione dei blocchi motore per autovetture, le quali possono comprendere anche 150 lavorazioni diverse su una stessa linea. Il blocco motore grezzo viene alimentato in testa alla linea ed è automaticamente trasferito da una stazione, posizionato automaticamente alla successiva e lavorato per asportazione di truciolo, con controllo automatico dell'usura degli utensili. Evidentemente si tratta qui di un sistema non flessibile, anzi a meccanizzazione estremamente rigida, in quanto ogni cambiamento richiede un pesante lavoro di adattamento della linea a trasferimento. Invece, con l'impiego di FMS (quindi di un'automazione *soft*), è ora possibile legare insieme macchine di tipo universale (meno costose!), oppure robot (che sono programmabili) per produrre una certa varietà di prodotti anche in piccoli lotti. Ovviamente, questo è possibile solamente con l'uso del computer per il controllo delle macchine e delle linee di trasferimento dei materiali.

Il campo di applicazione dei livelli di meccanizzazione ed automazione detti è rappresentato nella evoluzione della fig. 2.8, la fig. 2.43. Si osservi come l'FMS è situato in

una posizione intermedia per volume e varietà di prodotto. A destra dello schema, è impiegato un livello basso di automazione, mentre, in alto a sinistra (dove sono posizionate le produzioni ad alto volume) si vede l'area in cui è giustificato l'impiego di un elevato livello di automazione (rigida).

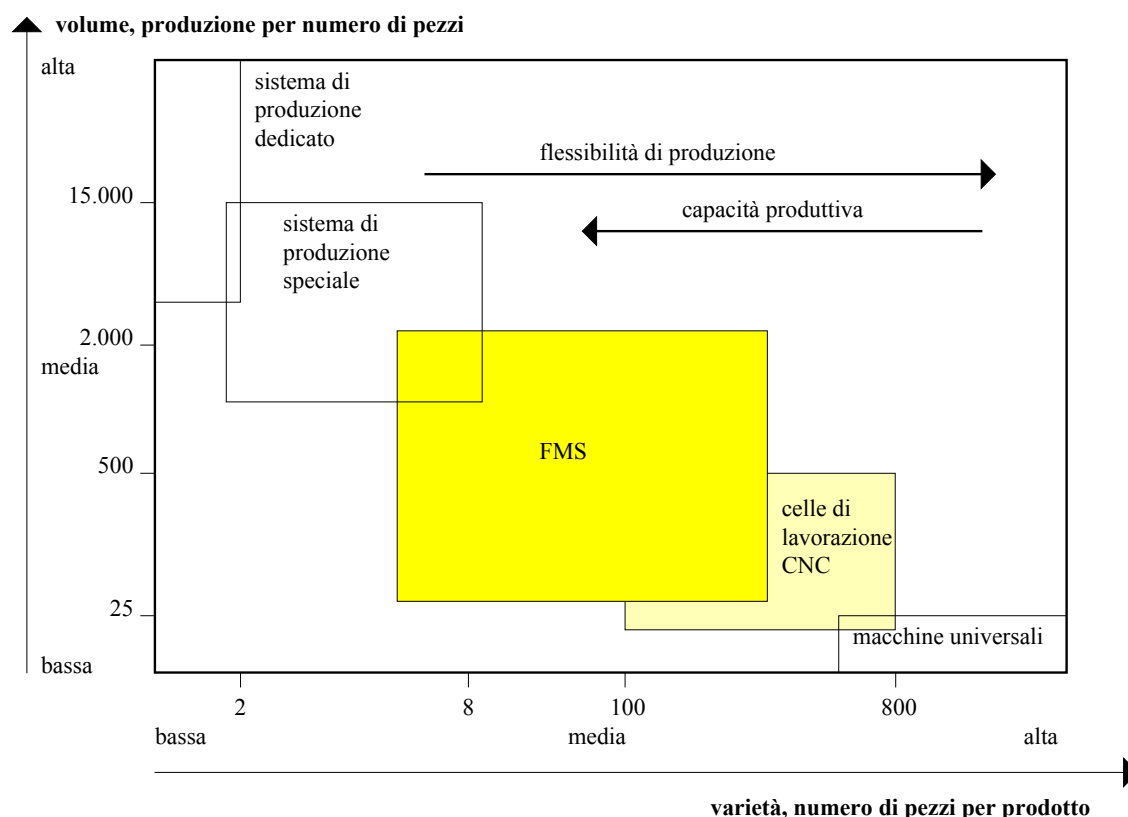


fig. 2.43. Posizionamento dei sistemi produttivi a controllo computerizzato nella matrice prodotto-processo.

2.6.1.3. II CIM.

Nello scenario internazionale, accanto all'evoluzione dei mercati e delle strategie produttive, ha luogo un rapido sviluppo della tecnologia della produzione, sia come promozione, sia come effetto del cambiamento. 5 sono i concetti delle tecnologie emergenti²²:

1. le nuove tecnologie cambiano hardware e software con l'intenzione di sostituire non solo le attività produttive, ma anche quelle di controllo, di apprendimento e di decisione, sino alla creazione dell'esperienza,
2. il loro utilizzo efficace richiede l'integrazione di tutte le attività inerenti il sistema produttivo (progettazione, ingegneria di processo, pianificazione e controllo della produzione, distribuzione, ecc.),
3. si focalizzano sulla riduzione sia dei costi diretti, sia di quelli indiretti: il lavoro diretto sta diventando una componente poco influente dei costi totali di produzione, mentre stanno acquisendo rilevanza i lead-time, il work-in-process, le scorte di prodotti finiti e quelle di materie prime,

²² A. Demeyer, *La Produzione come Fattore di Competitività Internazionale*, Logistica d'Impresa, 54, 1987.

4. il successo della loro adozione è vincolato ad una profonda conoscenza dei processi produttivi ed alla volontà di sviluppare specifiche soluzioni,
5. la tecnologia e l'innovazione tecnologica sono problemi di carattere sempre più internazionale.

Abbiamo visto come la ragione principale dell'utilizzo del CAD è il suo legame con la produzione. Il primo passo dell'integrazione della progettazione con la produzione di un prodotto è la stesura del disegno, contemporaneo alla verifica della sua funzionalità ed alla programmazione del processo produttivo, con la scelta dell'adatto tipo di macchine e di impianto, la progettazione dell'utensileria che consenta la massima economia delle lavorazioni, l'individuazione dei vincoli di lay-out ed, infine, il calcolo e l'utilizzazione efficiente degli impianti di servizio.

Così, se il database contiene la geometria del prodotto e le sue caratteristiche, ed inoltre sia aggiornato sulla tecnologia disponibile o prevista, col computer si può pensare di eseguire una simulazione del processo produttivo, di vagliare le diverse alternative di impiego di macchine ed utensili, di valutare i relativi costi, di individuare le richieste di materiali e di personale di controllo, il tutto interfacciando il CAD a software specifici.

In parallelo, è possibile pensare di lanciare i programmi di definizione del layout dell'impianto descritti in §2.5.3.6, quindi quelli di calcolo della richiesta di energia, dell'area per gli immobili, e di definizione della potenzialità degli impianti di servizio e delle infrastrutture, con le rispettive aree necessarie. Inoltre, come detto, è possibile pensare di fare tutte le verifiche strutturali e funzionali del prodotto stesso. In definitiva, si può immaginare di verificare la funzionalità del prodotto ed i costi totali necessari per la sua produzione, prima che essa abbia effettivamente luogo, anzi prima che sia stato deciso troppo dettagliatamente il lay-out dei reparti, addirittura prima che si siano acquistate attrezzature, macchine ed impianto. È questa la fase in cui si possono stabilire i massimi livelli di collaborazione tra progettazione e produzione, i quali rappresentano l'aspetto positivo più rilevante della Fabbrica del Futuro.

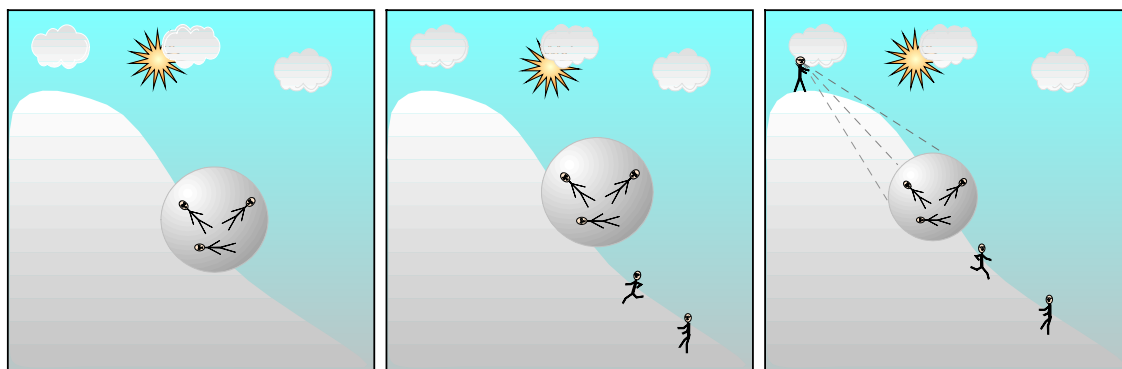


fig. 2.44. Situazioni di governo dell'impresa.

Certamente una tale impostazione collaborativa consente lo sviluppo in parallelo delle diverse fasi del progetto e della programmazione del processo, quindi consente di accorciare il tempo necessario al loro completamento (lead time), con straordinari vantaggi competitivi e finanziari di introduzione nel mercato di nuovi prodotti. Come si può vedere in fig. 2.44, si passa da una situazione di fig. 2.44a, nella quale il programmatore è travolto dalla valanga delle richieste di calcolo, organizzazione e gestione, a quella di fig. 2.44b, nella quale non è travolto (è in grado di evitarne le conseguenze), a quella

tutta imprenditoriale fig. 2.44c, di previsione degli inconvenienti, di governo integrato dell'intera Impresa.

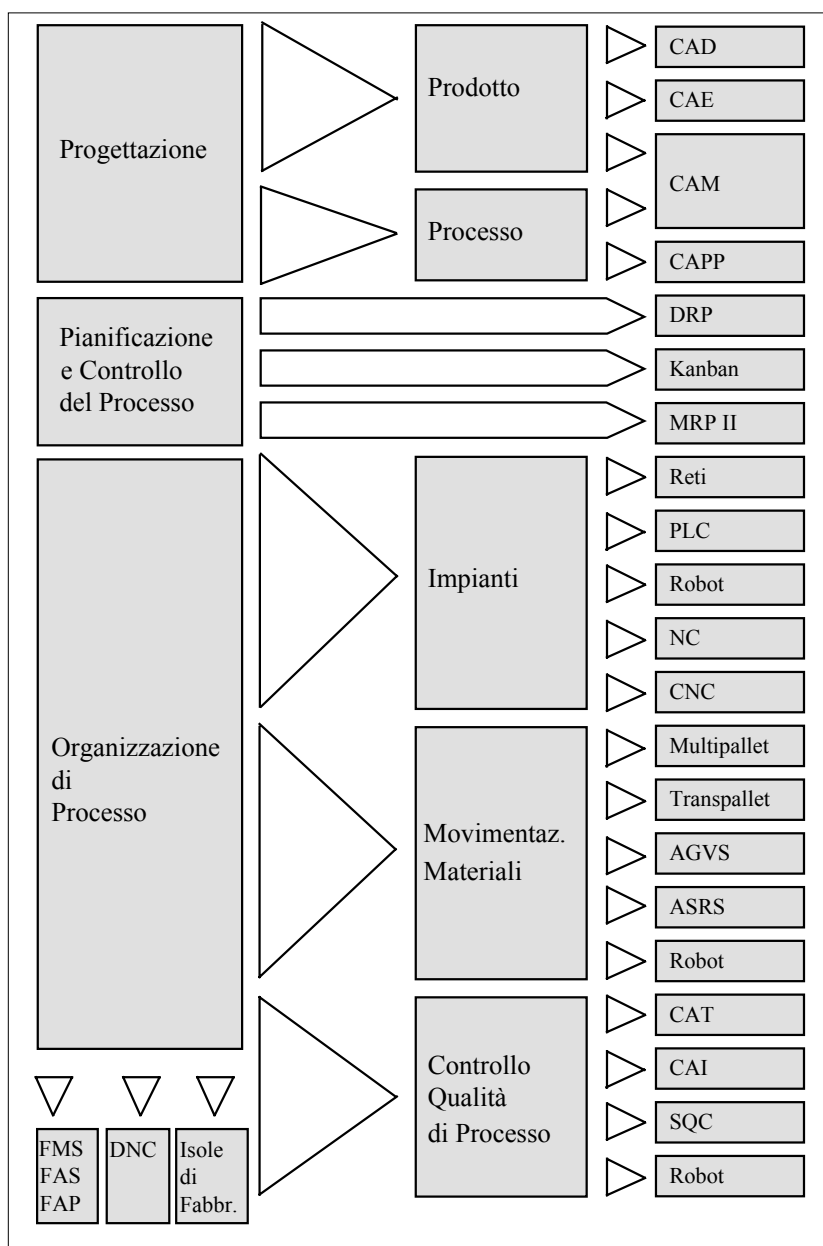


fig. 2.45. Classificazione degli strumenti CIM.

Allora, quali sono le soluzioni tecnologiche verso cui si stanno muovendo i produttori internazionali e quali le proposte offerte in questo momento dal mercato? Per quanto riguarda esclusivamente le aree specifiche della progettazione e la simulazione del prodotto, del processo e dei servizi, lo schema grafico di fig. 2.45 fornisce una panoramica generale dei pacchetti commerciali appartenenti ai vari settori di intervento, che la tecnologia rende disponibili all'interno della fabbrica e riassume, per ognuna di essi, le classi di soluzioni tecnologiche realizzabili al livello attuale dello stato dell'arte.

Vediamo ora di descrivere (ma separatamente, come avviene nella realtà operativa attuale) il software disponibile per la conduzione dei vari settori di attività della fabbrica.

Per riguardo alla **Progettazione**, come detto, gli sforzi sono diretti verso l'approccio integrato prodotto-processo, caratterizzato da strumenti che permettano una visione congiunta, sin dalle prime fasi progettuali, dei problemi relativi alle sinergie tra la struttura del prodotto e la struttura dei cicli di lavorazione (CAE: Computer-Aided-Engineering, CAPP: Computer-Aided-Production-Planning).

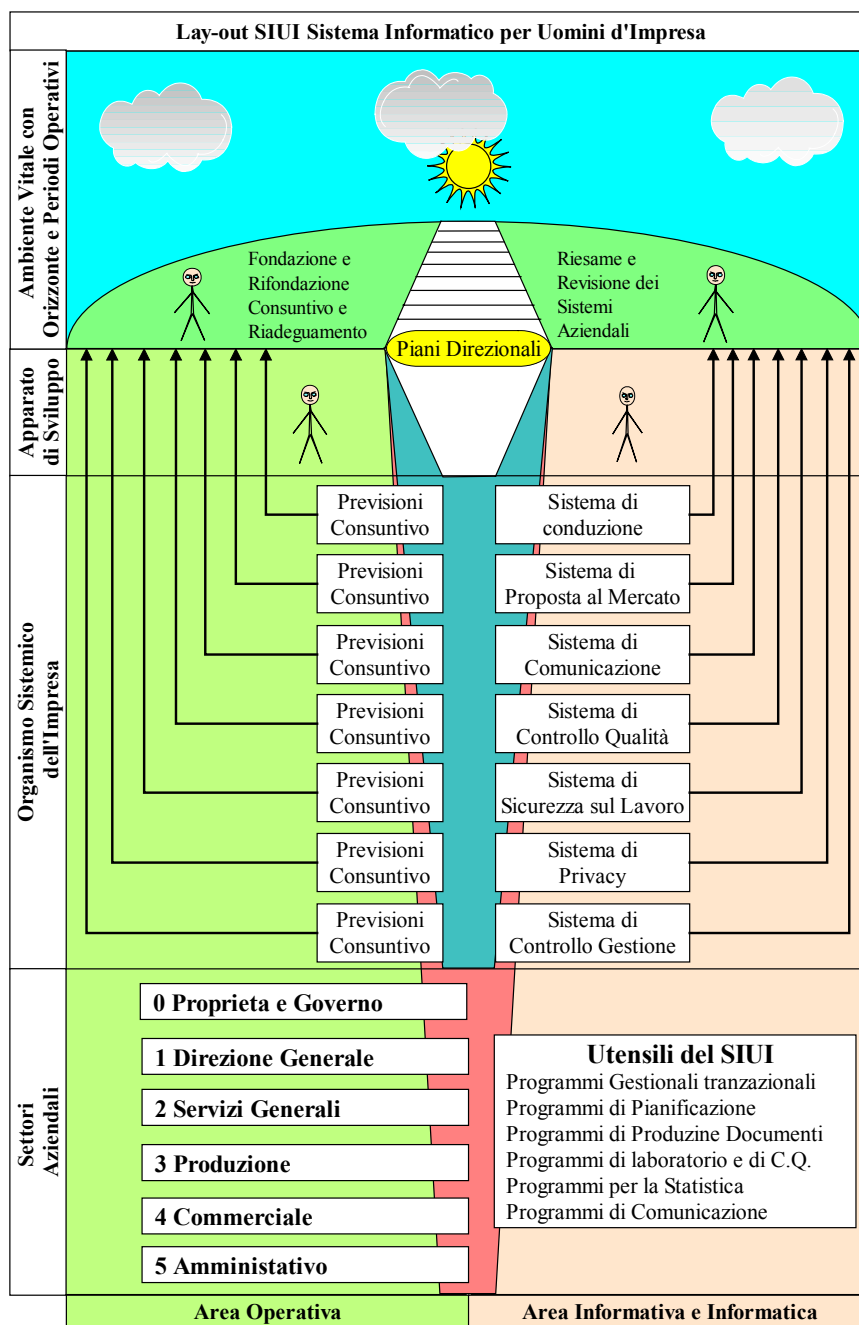
Nell'area di **Pianificazione e Controllo del Processo**, la tecnologia è invece orientata alla realizzazione di sistemi informativi-informatici che permettano una gestione ottimale delle risorse di produzione. L'intervento della tecnologia gestionale non si limita alle problematiche connesse con l'approvvigionamento dei materiali, ma investe anche quelle inerenti la capacità produttiva degli impianti (MRP: Material-Requirement-Planning) e la distribuzione fisica dei prodotti sul mercato (DRP: Distribution-Resource-Planning).

All'interno dell'**Organizzazione di Processo**, possiamo individuare 3 aree di interesse tecnologico:

- la prima è costituita dagli **impianti**, intendendo con questo termine l'intero hardware del sistema produttivo, dalle logiche programmabili (PLC: Programmable-Logic-Control) utilizzate nel processo e nel suo controllo, ai robot di produzione, alle reti di comunicazione, ecc. cioè tutti i componenti tecnologici, di cui è costituita la fabbrica. Questa area è completata dai sistemi produttivi veri e propri, dagli FMS alle Isole di Fabbricazione,
- la seconda area comprende le soluzioni tecnologiche di **movimentazione dei materiali**, dai transpallet, ai robot, ai magazzini automatizzati, ai sistemi di trasporto (AGVS: Automated-Guided-Vehicle-System)
- la terza area raccoglie le tecnologie dedicate all'attività di **controllo della qualità di processo**, sia hardware (robot di misura) che software (CAT: Computer-Aided-Test, CAI: Computer-Aided-Inspection, ecc.),

Il primo salto qualitativo realizzato nelle tecnologie produttive, è rappresentato dall'integrazione delle 3 aree citate, denominata **Organizzazione di Processo**, intendendo con questa definizione l'insieme dei sistemi che utilizzano componenti appartenenti alle 3 aree, collegati da un software adeguato che li organizza in sistemi che vanno dagli FMS alle Isole di Produzione. A questo livello appartengono i DNC (Direct-Numerical-Control), aggregazione di CNC (Computer-Numerical-Control) e di reti di comunicazione, le Isole di Fabbricazione composte di CNC, robot e sistemi CAT, transpallet per il trasporto dei materiali, FMS ed FAS, che integrano macchine utensili, robot, sistemi di trasporto e magazzini automatici. Pertanto, la nuova tendenza tecnologica è focalizzata, più che sull'introduzione di nuovi strumenti automatizzati, sull'integrazione di quelli già esistenti, inserendo all'interno del sistema produttivo un valore aggiunto rappresentato dal **coordinamento progettuale** delle singole funzioni.

Quindi, come si deduce dal precedente punto 2 e dal suo commento, lo sviluppo tecnologico tende ad investire, secondo un meccanismo di **parallelizzazione**, l'intera funzione produttiva, dalla progettazione di prodotto e di processo, al processo produttivo vero e proprio, alla conduzione amministrativa. Quindi, il **futuro** tecnologico è rivolto al **CIM**, inteso come un livello ancora più elevato di integrazione, non più limitato alle isole produttive o ad impianti flessibili, ma più esteso: dalla progettazione di prodotto-processo, alla pianificazione e controllo della produzione, ed al controllo dei costi. È il problema di introdurre i vantaggi dell'Intelligenza Artificiale e dell'applicazione dei Sistemi Esperti.

fig. 2.46. Struttura del sistema integrato di progettazione, produzione e gestione.²³

Con tutto ciò, pochi sono ancora gli esempi concreti di realizzazione completa del CIM. Infatti, grande è la complessità dei legami tra tutti i Sistemi Aziendali (all'interno dei rispettivi Piani Direzionali), in quanto al loro interno procedono parallelamente le attività di Rifondazione e di Consuntivazione e Correzione (nell'Area Operativa), con scambio di dati essenziali per lo sviluppo delle attività di Riesame e Revisione degli stessi Sistemi Aziendali, nell'Area Organizzativa. Tale complessità è espressa in fig. 2.46, nella quale si devono pensare gli ambiti di Proposta, Sviluppo e Controllo di Gestione, parzialmente sovrapposti all'Ambito Produttivo nella variabile tempo.

²³ A. Corsini, L. Rosa, Un Gioco che Vale una Vita, Creare e Condurre un'Impresa a Mò di Dio, 2006.
www.corsinvest.it.

In particolare, tale complessità deriva dal fatto che, su disposizione del Sistema di Conduzione, l'ambito propositivo, inerente in particolare la progettazione ed in stretta collaborazione col Sistema di Proposta/Mercato, innesca il processo parallelo nell'ambito di sviluppo (con la definizione dell'organizzazione produttiva, della comunicazione, della progettazione e costruzione degli impianti necessari, dei fornitori e delle attività di approvvigionamento, della preparazione e sviluppo delle attività amministrative, dei Sistemi di Garanzia della Qualità, della Sicurezza e della Privacy). Ne deriva anche che, solamente quando la fase di sviluppo è completata con i necessari confronti tra **Previsioni e Consuntivi** nell'ambito dei budget assegnati, i piani direzionali sono conclusi e la Produzione può partire, ad un regime di perfetta garanzia di qualità ed efficienza economica e finanziaria.

Tale complessità rende l'impegno di risorse (di altissimo livello a livello di progettazione) ancora limitato da una serie di **Malattie Giovanili** soprattutto nell'ambito dell'informatica:

- la difficoltà legata alla necessità di costruire **interfacce** tra il **main program** del CIM ed i pacchetti commerciali, che vengono utilizzati come **utensili** dall'intero sistema informativo – informatico. Lo scopo dell'interfaccia è la realizzazione di *strumenti speciali a partire da strumenti standard*. Infatti, ogni Organizzazione tende a concentrare le proprie risorse sulla progettazione e gestione dei propri prodotti e processi produttivi. Tuttavia, sono pochi gli utensili sufficientemente *trasparenti* da poter essere utilizzati direttamente nel sistema informatico, cosicché è necessaria un'intensa attività di sviluppo di interfacce,
- la **deformazione dei processi e delle procedure** aziendali per adeguarli ai limiti hardware e software. Pur di adoperare i pacchetti commerciali, gli utilizzatori sono tentati di modificare la **struttura** dei dati, per adattarli all'informatica disponibile,
- la **frammentazione gestionale** dell'Impresa, ridotta concettualmente a singoli processi e sistemi: l'hardware ed il software disponibile è specifico per la gestione di particolari processi, e non è sempre interconnettibile, dal punto di vista informatico,
- l'impossibilità operativa ed economica di **miglioramento** e di **sviluppo** di interfacce efficienti del software di processo, in quanto la selvaggia innovazione tecnologica non dà la necessaria stabilità e limita l'investimento necessario alla loro efficiente progettazione e costruzione.

Tuttavia, l'introduzione del CIM è molto attraente, prefigurando l'intera attività fin dalla fase iniziale di **progettazione**, quando la fabbrica non è costruita ed il prodotto è ancora in fase di ideazione. Poi, nella fase di **produzione**, tutti i vantaggi dell'approccio CIM saranno a beneficio dei riesami e delle revisioni di prodotto e di processo, ma, soprattutto, nella gestione della produzione:

2.6.1.3.1. **Caratteristiche del CIM nella Progettazione**

In questa fase, il vantaggio dell'integrazione è il processo collaborativo tra i progettisti del prodotto, del processo e delle infrastrutture, secondo uno sviluppo che vede **in parallelo** le seguenti attività:

disegno CAD del prodotto. Al completamento di ogni superficie o combinazione chiusa di superfici del prodotto (primitiva), il disegnatore lancia il programma di supporto CAM il quale lega l'operatore alle scelte:

2. Lo Studio di Fattibilità

- del **grezzo** con la tecnologia primaria più appropriata e le tolleranze di produzione conseguenti,
- della **macchina utensile** o dell'Isola di Lavorazione più adatta all'esecuzione della sequenza di operazioni necessarie per il raggiungimento delle quote, delle tolleranze e delle proprietà superficiali che soddisfino la funzionalità del prodotto. Questa scelta viene fatta con la comparsa automatica di menù che espongono le risorse tecnologiche disponibili, ed eventualmente di nuove implementate nel Database, con **tutte** le loro caratteristiche funzionali e geometriche. Dalla scelta fatta, è possibile disegnare il set di **utensili** più idonei alle successive lavorazioni, con la conseguente scelta delle modalità tecnologiche operative: lubrificazione e refrigerazione, materiale degli utensili, velocità di taglio, velocità di avanzamento, profondità di passata, ecc. Si può allora procedere alla **implementazione CAM** del sistema produttivo ed alla **simulazione** del segmento di ciclo produttivo, con la determinazione dei tempi di carico della macchina, di posizionamento, ancoraggio, lavorazione e scarico, quindi dei **costi elementari diretti**,
- del controllo da parte del Sistema di Qualità, Sicurezza e Privacy,

controllo della qualità di processo. Contemporaneamente al disegno CAD, possono essere individuati gli interventi necessari per il rispetto delle tolleranze imposte dalla funzionalità del prodotto, con l'individuazione dei particolari indici di qualità da valutare e la compilazione delle rispettive carte di controllo,

- un altro programma determina, in parallelo, i **carichi finanziari** collegati alla macchina, all'energia prevedibilmente assorbita, al supporto di manodopera, ai dispositivi di carico e scarico, e consente il riesame e la revisione delle scelte fatte, da questo nuovo punto di vista,
- scelta delle macchine di **trasferimento** dei pezzi, con l'individuazione della loro potenzialità di trasporto, la loro velocità e disposizione, quindi ai relativi tempi di utilizzo, ed il loro numero. Sulla base delle caratteristiche che vengono progressivamente definite, sempre in parallelo, si possono determinare le zone percorse dai **sistemi di movimentazione** ed i corridoi che devono essere previsti per evitare collisioni e percorsi inutili. Quindi, contemporaneamente al procedere della progettazione, abbiamo informazioni utili alla definizione di primo tentativo (ma sempre più attendibile, al proseguire delle scelte e delle iterazioni) delle entità collegate, quali gli spazi di ingombro delle macchine, la loro disposizione relativa (informazioni di layout), ma anche informazioni di sequenza e potenzialità del processo produttivo, quindi della necessità di accumuli intermedi e di estremità e delle conseguenti superfici dei **magazzini**. Questo genera altre informazioni riguardo alle **infrastrutture**, quali le aree di arrivo delle materie prime e dei prodotti finiti (insieme a quelle sul lay-out), che saranno inviate agli ingegneri civili, per la progettazione degli **immobili**,
- ad un livello sufficientemente avanzato del progetto del prodotto, altri programmi specifici possono essere lanciati per la verifica strutturale, funzionale ed operativa del prodotto. Si tratta soprattutto di **simulazioni**, che possono riguardare la resistenza strutturale, anche alle temperature estreme di esercizio del prodotto, di analisi fluidodinamica, termica, chimica, energetica, ecc.
- la conoscenza delle energie in gioco permette la progressiva individuazione e scelta degli **impianti di servizio**, con tutte le caratteristiche operative e funzionali che progressivamente si precisano,
- quando si è raggiunto un adeguato livello di completamento del disegno del sistema, si può lanciare un programma specifico di **simulazione** del processo produttivo, ed individuare eventuali colli di bottiglia, rappresentati dall'insufficienza

operativa di alcune macchine ed isole di montaggio, della capacità dei magazzini, della potenzialità dei trasporti, ecc. che suggerisce i necessari aggiustamenti del progetto,

- questa attività parallela di progettazione viene trasmessa agli specialisti di progettazione degli impianti di servizio, ma anche agli architetti, gli urbanisti, i responsabili dei rapporti con le **Pubbliche Amministrazioni** per permessi, licenze, ecc. per la definitiva configurazione delle infrastrutture dell'Impianto Produttivo,
- infine, si può simulare il **carico finanziario** degli investimenti necessari e determinare il **costo del prodotto** previsto.

2.6.1.3.2. **Caratteristiche del CIM nella Produzione**

In questa fase, i vantaggi dell'integrazione si estendono all'intero processo produttivo ed economico e riguarda i progettisti del prodotto, del processo e delle infrastrutture, chiamati sia nella fase di **redesign** del prodotto, come indicato in §2.2.2 a proposito del ciclo di vita, sia nella ordinaria **gestione della produzione**, secondo uno sviluppo che vede in parallelo le seguenti attività:

- ogni modifica del disegno del prodotto è riportata al CAD ed il percorso parallelo di **riprogettazione** viene rivisitato per verificare la percorribilità della proposta a tutti i livelli del processo produttivo. Naturalmente, il vantaggio di poter introdurre ogni perfezionamento del prodotto dopo puntuale e rapida verifica risiede principalmente nel rendere sempre più prossime le esigenze ed i suggerimenti provenienti dal Mercato alla risposta dell'Organizzazione,
- è possibile l'adozione di una politica **Just-in-Time**, cioè il raccordo del flusso degli ordini a quello di produzione: gli ordinativi delle materie prime e dei semilavorati viene sincronizzato al massimo a quello della produzione, con un grande beneficio finanziario, grazie alla evidentemente minore quantità di materiali presenti in produzione, alla migliore utilizzazione delle risorse produttive e della ottimizzazione dello spazio dei magazzini e dei mezzi di trasferimento dei materiali,
- l'intero impianto produttivo viene tenuto sotto controllo attraverso **riesami e revisioni**, in modo da verificare che esso permanga al giusto livello di qualità e di aggiornamento per l'esecuzione della sequenza di operazioni necessarie al raggiungimento della funzionalità del prodotto. Questa verifica viene fatta con la comparata automatica di menù che espongono nuove risorse tecnologiche, con le loro caratteristiche funzionali e geometriche, e che, perciò, devono essere continuamente implementate nel Database, seguendo le regole del controllo dei costi della Qualità relative alla **prevenzione**. La stessa procedura deve essere applicata agli **utensili**, che devono essere sempre quelli più idonei alle lavorazioni, ed essere sempre utilizzati nelle migliori modalità tecnologiche operative disponibili. A questo scopo, devono essere ripetute le **simulazioni** del segmento di ciclo produttivo nelle nuove situazioni prospettate e confrontate con quelle reali, per individuare la convenienza o meno dell'adozione di nuovi metodi per riguardo ai **costi elementari diretti**,
- ai **riesami** e le **revisioni** seguono gli interventi di **controllo della qualità di processo**, necessari per garantire il rispetto delle tolleranze imposte dalla funzionalità del prodotto, con l'individuazione di particolari indici di qualità alternativi per la valutazione del processo e la compilazione delle rispettive carte di controllo. Periodicamente, viene lanciato il programma specifico di **simulazione** del processo produttivo, ed individuati, corretti e verificati i colli di bottiglia dell'impianto, dei magazzini, dei trasporti, ecc. che suggeriscono i necessari aggiustamenti del progetto,

2. Lo Studio di Fattibilità

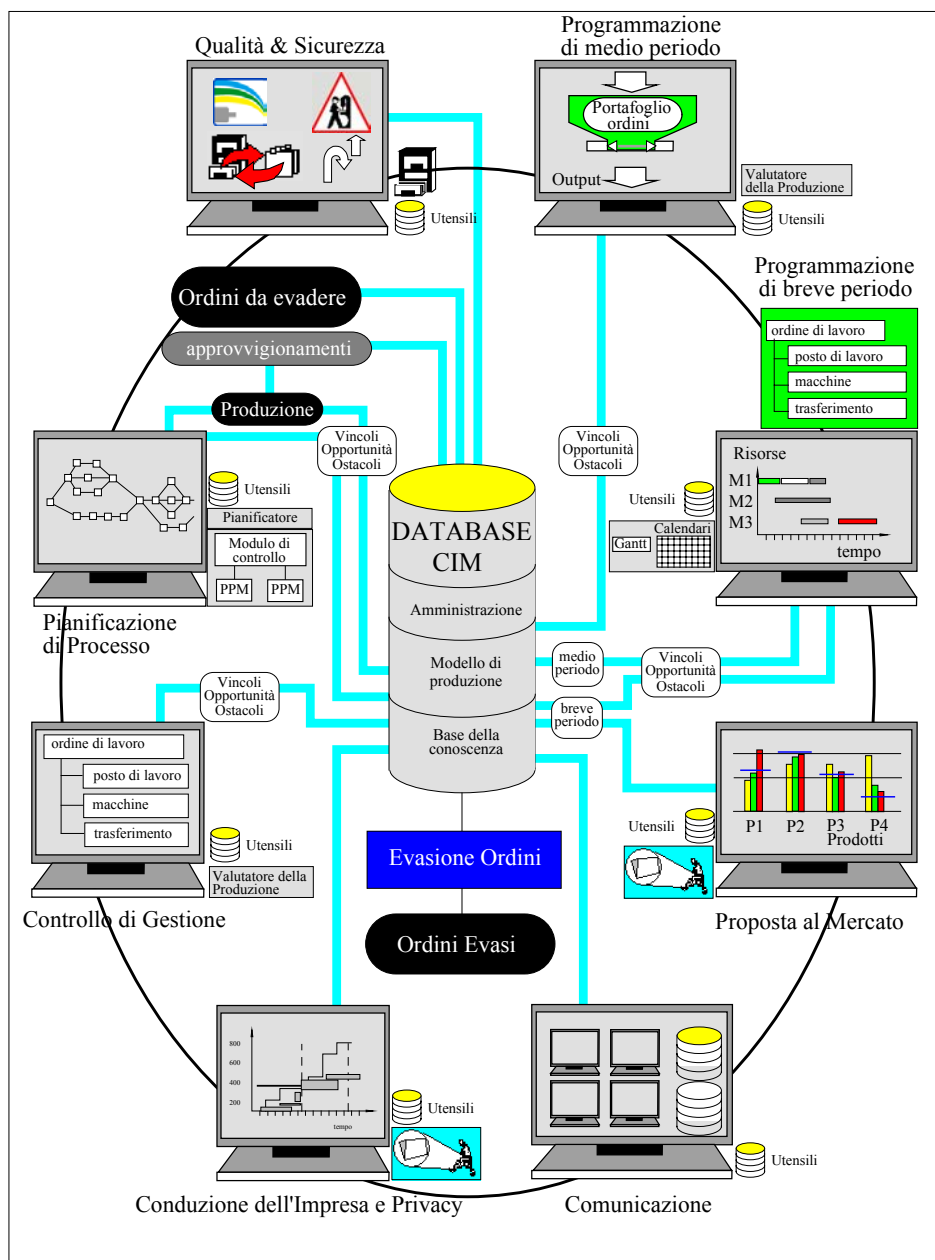


fig. 2.47. Legami informatici al Database dei Sistemi Aziendali di Produzione.

- il controllo delle condizioni **ergonomiche** e **gestionali** dell'intera azienda da parte del Sistema di Qualità, Sicurezza e Privacy,
- si determinano, in parallelo, i **carichi economici e finanziari** collegati all'impianto produttivo, quindi all'energia realmente assorbita, alla manodopera effettivamente impiegata, al sistema di movimentazione, agli interventi ed i relativi costi di manutenzione (sia sull'impianto produttivo, sia sulla struttura immobiliare), e consente il riesame e la revisione delle scelte fatte,
- ma deve essere tenuta sotto controllo la **flessibilità**, cioè dalla possibilità di evadere ordini per prodotti diversi, senza subire cadute di produttività, curando l'efficienza della gestione della CPU centrale nella **riprogrammazione** in tempo reale dei sistemi produttivi CN, e quindi dei cicli produttivi relativi ai diversi prodotti,

- il controllo della rispondenza alla Normativa vigente degli impianti di servizio, ma anche della validità di permessi, licenze, ecc. alla base dei rapporti con le **Pubbliche Amministrazioni**,
- infine, si può eseguire il calcolo del **carico economico e finanziario** degli investimenti fatti e dell'esercizio, per determinare il **costo del prodotto** effettivo.

2.6.1.3.3. Conclusioni

Anche se il CIM non comporta uno sforzo di tipo diverso da quello per cui semplicemente una macchina è sostituita da un'altra, il livello di automazione del CIM è più difficile da raggiungere, ma, soprattutto, più costoso. Tuttavia, le promesse del CIM vanno ben oltre la riduzione dei costi e riguardano il vantaggio competitivo di garantire la migliore qualità, i migliori servizi al cliente, la maggiore tempestività delle consegne, la maggiore flessibilità, ecc.

Si può dimostrare che tanto maggiore è il grado di integrazione, tanto maggiori sono i benefici del CIM. In tab. 2.XIII si può notare come, ad ogni successivo livello di automazione raggiunto, il lead-time necessario per compiere il cammino dalla progettazione fino alla produzione del bene viene progressivamente ridotto. Evidentemente, i più grandi benefici sono raggiunti con la massima collaborazione interfunzionale, e questo è uno dei problemi più critici che la dirigenza deve risolvere.

tab. 2.XIII. Effetto dell'integrazione nell'anno di esercizio.

Grado di automazione e di integrazione	lead-time [w]	risparmio [w]
nessuna automazione	52	
solo CAD	50	2
integrazione progettazione prodotto-processo nel CAD	44	8
integrazione totale del sistema con CAD e CAM	35	17
integrazione col fornitore	26	26

In particolare per le lavorazioni di lotti, il CIM è giustificato sulla base di *economie di scopo*, piuttosto che di *economie di scala*. Le economie di scopo sono definite come la capacità di produrre efficientemente una larga varietà di prodotti, mentre le economie di scala come la capacità di produrre efficientemente grandi volumi di prodotti standardizzati. La tecnologia CIM riduce i costi di cambio e di modifica di prodotto. Conseguentemente, possono essere economicamente prodotti piccoli lotti di prodotti simili, non è necessario standardizzare eccessivamente il prodotto, né organizzare le pesanti strutture commerciali legate al mercato dei prodotti di massa.

2.6.1.4. **La Robotica.**

Un robot industriale non è niente più di una macchina controllata dal computer, che può essere programmata per svolgere varie attività. Spesso, le parti distintive del robot sono la *mano* ed il *braccio*, le quali possono seguire movimenti antropomorfi. Le prime applicazioni sono state per lavori pericolosi per la persona dal punto di vista dell'ambiente nel quale operare. Da questo punto di vista, come è noto lo sviluppo delle sue applicazioni si estende ad una varietà di operazioni, comprese la saldatura, la verniciatura, l'assemblaggio, il trasporto e la manipolazione dei materiali.

2. Lo Studio di Fattibilità

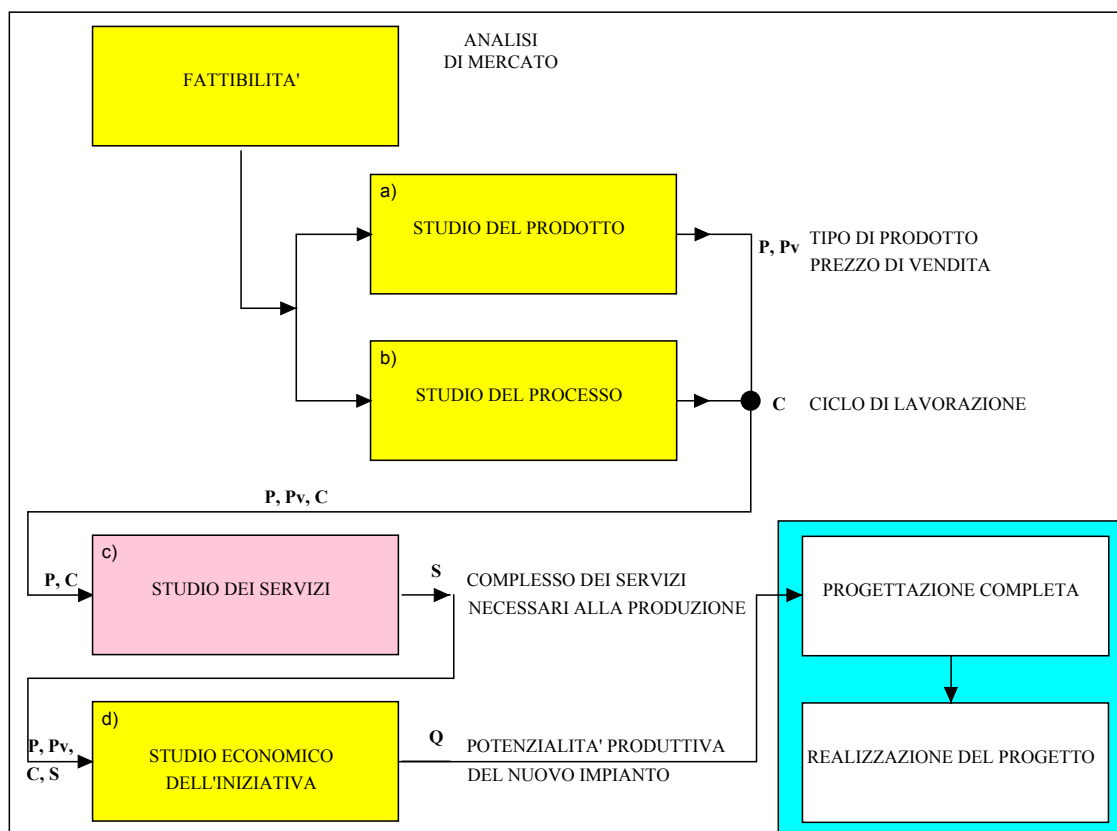
La complessità legata allo svolgimento di molte operazioni è un limite per l'impiego dei robot, in particolare l'accesso a pezzi posizionati in maniera casuale. Tuttavia, la possibilità di dare al robot la capacità di *vedere* e la conseguente di posizionare la mano risolve anche problemi di tale tipo.

La forma primitiva di automazione correlata alla robotica è la macchina utensile a controllo numerico (NC). Normalmente, essa non viene fatta appartenere alla robotica, nonostante essa sia gestita attraverso un computer e possa essere programmata allo svolgimento di attività diverse di lavorazione. Infatti, pur non possedendo un braccio ed una mano, quindi non essendo flessibile come il robot antropomorfo, essa è destinata ad un ruolo importante nella Fabbrica del Futuro.

Mentre l'impiego dei robot è giustificato principalmente dalla loro capacità di svolgere lavoro diretto, esso consente una grande quantità di ulteriori benefici, compresi la flessibilità ai cambiamenti di disegno dei pezzi, la possibilità di lavorare a tempo pieno sulle 24 ore, la capacità di svolgere lavori pericolosi e di garantire uniformità di qualità del prodotto. La giustificazione tradizionale dell'impiego dei robot tende ad ignorare questi due ultimi aspetti, privilegiando il semplice calcolo del ritorno dell'investimento, e spesso comporta una sorta di freno all'introduzione di queste macchine, che non hanno ancora raggiunto la diffusione attesa.

Spesso l'indecisione ad introdurre il robot nel processo produttivo è legata anche ai costi previsti di manutenzione e di supporto del software. A parte che tali costi possono essere suddivisi su più robot, un solo robot può essere dedicato 24 ore al giorno alla gestione dei materiali da piazzare e da togliere dalle macchine utensili servite, e col coordinamento del flusso dei materiali può già garantire vere economie. Tuttavia, questo richiede una programmazione di lungo termine dell'automazione e non il semplice e progressivo rimpiazzo delle macchine, in modo incrementale. Infatti, non si deve pensare di sostituire l'attività manuale con robot sulla base delle singole operazioni del processo esistente. Al contrario, il processo produttivo ed anche il prodotto devono essere ridisegnati per ottenere il massimo vantaggio sia dall'impiego dei robot, sia da tutta l'automazione esistente. Dopo il ridisegno, molte operazioni possono essere eliminate od accorpate, perciò anche la necessità dell'impiego locale del robot può cadere, attraverso un processo di semplificazione, sempre richiesto. Perciò, il robot non deve essere considerato un operatore meccanico, piuttosto una parte integrante del processo produttivo.

2.7. PREZZO DI VENDITA ED INDIVIDUAZIONE DEL VOLUME PRODUTTIVO AZIENDALE.



Come detto, l'individuazione del prezzo di vendita e del volume delle vendite aziendali comprende l'analisi delle iniziative che l'azienda ed i suoi concorrenti possono assumere per assicurarsi la quota più ampia e stabile possibile della domanda, individuata con i metodi del marketing. Le iniziative dell'azienda possono riguardare:

- l'aspetto **tecnico**, attraverso l'individuazione dei settori poco coperti di offerta o di domanda del mercato,
- l'aspetto **economico**, attraverso il processo di formazione del prezzo.

La legge della domanda e dell'offerta ha il seguente enunciato: *in generale, la domanda D di un certo bene varia inversamente al suo prezzo P , mentre la sua offerta S ne varia in ragione diretta*, come si vede in fig. 2.48. Infatti, la domanda D cresce al diminuire del prezzo P del prodotto perché più consumatori sono indotti a comprare per il basso prezzo del prodotto. Invece, l'offerta S cresce al crescere del prezzo P perché più produttori sono indotti a produrre quel prodotto, che si vende a prezzo elevato.

In sintesi, le curve della domanda esprimono le attitudini dei consumatori, cioè quanto essi sono disposti a pagare per differenti quantità del bene in questione; invece, le curve dell'offerta esprimono le possibilità dei produttori, cioè quanto essi possono produrre con profitto, a diversi prezzi. La conoscenza delle curve della domanda e dell'offerta di un certo prodotto permette di determinarne il prezzo e la quantità di equilibrio (punto E).

Con riferimento alla fig. 2.48, si può dire che il prezzo P_0 non può rappresentare un prezzo di equilibrio, poiché si troverà sempre un produttore disposto ad abbassare il prezzo, pur di liberarsi della produzione in eccesso. In altre parole, in presenza di un *ec-*

cesso di offerta pari ad $(S_0 - D_0)$, il prezzo tende a diminuire. Anche il prezzo **P1** non può essere considerato di equilibrio, poiché ci sarà sempre un produttore che, in presenza di un *eccesso di domanda* $(D_1 - S_1)$, alzerà il prezzo per aumentare i propri guadagni e, conseguentemente, il prezzo del prodotto sul mercato tenderà a salire.

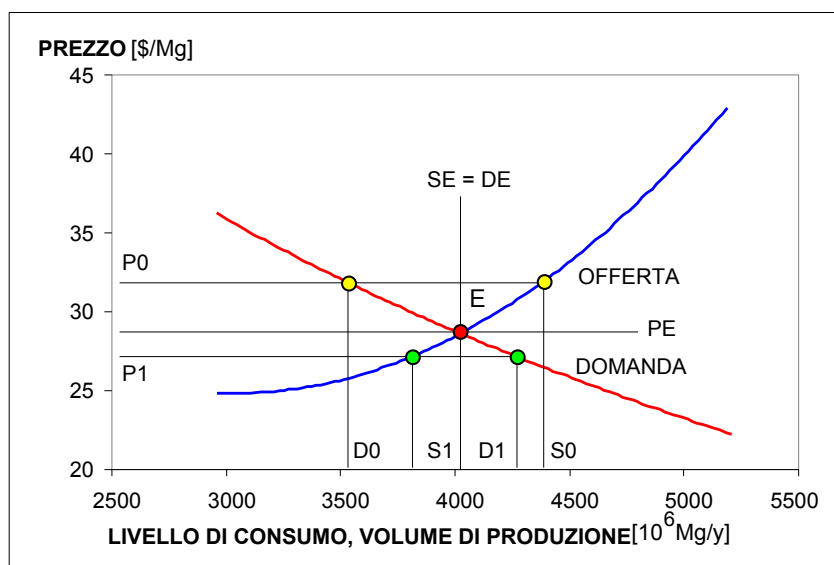


fig. 2.48. Curve della Domanda e dell'Offerta del mercato concorrenziale del Carbone nel mondo (2002).

2.7.1. Variazioni delle Condizioni dell'Offerta

L'analisi precedente spiega come si determina il prezzo di equilibrio di un bene, tuttavia, bisogna distinguere tra:

- prezzo *attuale*,
- prezzo di *equilibrio di breve periodo*,
- prezzo di *equilibrio di lungo periodo*, o prezzo stabilizzato²⁴.

Il prezzo **attuale** è sempre un indice della transizione tra il valore storico di ieri e l'equilibrio di oggi. Se le condizioni di offerta e di domanda di un bene non subissero mutamenti per un certo periodo di tempo, ciò significherebbe che il prezzo ha raggiunto il valore di equilibrio. Ma è un dato di fatto che tali condizioni variano continuamente e che, perciò, anche i prezzi e le quantità di equilibrio sono soggette a continue variazioni. Poiché le condizioni di offerta sono tutte le circostanze che influenzano l'offerta del bene, ad eccezione del suo prezzo, ogni volta si verifica un mutamento in una o più di queste circostanze, anche la curva di offerta si muove verso un'altra posizione.

Sono molti i fattori che variano l'offerta. Ad esempio, l'offerta di un bene manufatto si sposta ogniqualvolta i costi dei fattori produttivi, un'invenzione od i progressi tecnologici, fanno variare il suo costo di produzione. Tuttavia, sono i prezzi delle materie prime, della manodopera e di tutti i fattori di produzione di quel bene ad influenzare più spesso la posizione della curva di offerta. Perciò, ad esempio al variare del salario dei minatori, varia anche il costo di produzione dei prodotti che hanno il carbone tra i propri fattori produttivi. Così, a ciascun prezzo del carbone, varia la quantità che risulta conve-

²⁴ R. Dorfman, *Prezzi e Mercati*, Il Mulino, 1968

niente produrre dei beni che risultano dall'utilizzo del carbone, cioè la curva dell'offerta si sposta di conseguenza, come mostrato in fig. 2.49a.

Esempio

Supponiamo che i salari nelle miniere di carbone aumentino di 3,00€/h e che ogni minatore ne estragga in media 2Mg/h. In seguito a questa variazione salariale, il costo di produzione aumenterà di 1,50€/Mg. L'effetto sulla curva di offerta è mostrato in fig. 2.49a.

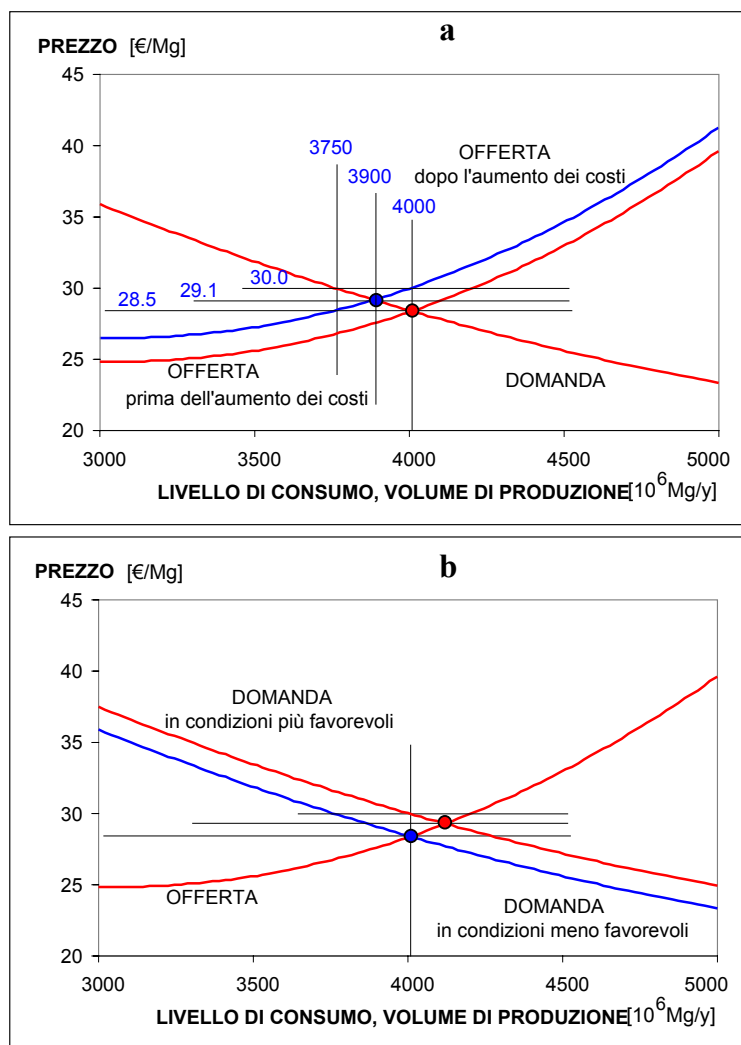


fig. 2.49. Effetto della variazione del prezzo del carbone sulla: a) curva di offerta di un bene; b) curva della domanda.

Al prezzo di 28,50€/Mg, era conveniente, prima che i salari aumentassero, tenere aperte le miniere capaci di produrre complessivamente $4.000 \cdot 10^6$ Mg/y. Dopo la variazione salariale, l'estrazione di ogni Mg costa 1,50€ in più. Perciò, la produzione di quelle stesse miniere sarà conveniente solo se il prezzo del carbone sale a 30,00€, od oltre, in modo che, sulla nuova curva dell'offerta, al prezzo di 30,00€/Mg, corrisponda ancora una produzione annua di $4.000 \cdot 10^6$ Mg/y. Dopo l'aumento salariale, a ciascun prezzo del carbone corrisponde un volume di produzione pari a quello di prima dell'aumento, ma ad un prezzo di 1,50€/Mg superiore, come è mostrato in fig. 2.49a, dove la nuova curva dell'offerta (in blu) è tracciata insieme alla vecchia (in rosso).

Come conseguenza di nuovi costi, si ha una nuova curva dell'offerta ed un nuovo prezzo di equilibrio, anche se il processo di adattamento alle nuove condizioni richiede tempo. Al nuovo

punto di equilibrio, situato in alto ed a sinistra del vecchio, corrisponde il prezzo di 29,10€/Mg ed una produzione di $3.900 \cdot 10^6$ Mg/y. Infatti, la reazione al nuovo livello salariale da parte dell'industria del carbone nel suo complesso può essere varia, anche se tutte le reazioni conducono alla fine alla stessa posizione di equilibrio. Supponiamo che gli industriali del settore carbonifero cerchino di trasferire al mercato l'intero aumento dei costi di produzione.

Se l'industria, prima dell'aumento dei salari, era in equilibrio al prezzo di 28,50€/Mg, al nuovo prezzo imposto di 30,00€/Mg, l'offerta è di $4.000 \cdot 10^6$ Mg/y, ma la curva della domanda non è cambiata e perciò, a quel prezzo, si chiedono solamente $3.750 \cdot 10^6$ Mg/y. Dato che la produzione eccede la domanda, alcune imprese del settore sono disposte a vendere, ancora con profitto, ad un prezzo inferiore a 30,00€/Mg. Quindi, il prezzo scende fino a quando, a 29,10€/Mg, la quantità richiesta aumenta, portandosi a $3.900 \cdot 10^6$ Mg/y, e la quantità offerta si riduce, fino ad arrivare allo stesso punto. Solo a quel prezzo, la quantità che i produttori offrono è uguale alla quantità che i compratori sono disposti ad acquistare.

In definitiva, un aumento di costo di produzione ha un duplice effetto: diminuisce la quantità di equilibrio per un ammontare di $100 \cdot 10^6$ Mg/y e fa aumentare il prezzo di equilibrio di 0,60€/Mg. Questo secondo effetto è particolarmente rilevante: **l'incremento del costo di produzione è stato ripartito tra i produttori ed i consumatori**. Infatti, il prezzo unitario è aumentato sostanzialmente meno del costo unitario di 1,50€/Mg proposto dai produttori.

2.7.2. Variazione delle Condizioni della Domanda.

La quantità domandata di un bene da parte dei suoi consumatori dipende da molti altri fattori, oltre al suo prezzo, tra i quali i gusti, la moda del momento, i prezzi degli altri beni utilizzabili per scopi simili, i prezzi dei prodotti che usano quel bene come materia prima, il reddito degli acquirenti. Tutti questi fattori contribuiscono a formare la curva della domanda e, quando uno di essi varia, la stessa curva subisce un'alterazione. La curva della domanda può spostarsi allo stesso modo di quella dell'offerta e l'analisi dell'effetto di un tale spostamento sull'equilibrio offerta – domanda di un bene è parallela.

Ad esempio, la quantità di carbone domandata a ciascun prezzo cade se il prezzo di un bene sostitutivo, ad esempio il gas naturale, diminuisce. L'effetto di una tale variazione risulta in fig. 2.49b: la somiglianza tra questa e la fig. 2.49a indica che l'analisi segue esattamente le linee ivi espresse. Possiamo allora concludere che: *una diminuzione della quantità domandata di un bene può essere rappresentata da uno spostamento verso il basso della curva della domanda, che provoca una diminuzione sia del prezzo, sia del livello di equilibrio delle vendite*.

Comunque, questa conclusione è soggetta all'importante riserva che la più frequente e prevalente causa degli spostamenti della curva della domanda è costituita dalle variazioni di reddito dei consumatori e, quando il reddito dei consumatori varia, le loro curve della domanda si spostano per quasi tutti i beni acquistati. Allora, l'effetto delle variazioni di reddito sul prezzo e sulle quantità di equilibrio di un singolo bene non può essere analizzato solo in base alle osservazioni delle curve di offerta e di domanda di quel bene e bisogna considerare molti altri elementi. Inoltre, un'analisi molto più estesa ed elaborata di quella qui rappresentata è necessaria per esaminare quelle variazioni che interessano contemporaneamente più mercati.

Ad un incremento ΔP del prezzo corrisponde un decremento ΔD della domanda ed un incremento ΔS dell'offerta. Si definisce *elasticità della domanda* la quantità:

$$\eta = - \frac{\frac{\Delta D}{D}}{\frac{\Delta P}{P}}$$

e, se si indica con $D = f(P)$ la funzione di domanda e si assume ΔP tendente a zero:

$$\eta = -f'(P) \cdot \frac{P}{D}$$

Analogamente, si definisce *elasticità dell'offerta*:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta S}{S}}{\frac{\Delta P}{P}}$$

e, se si indica con $S = \varphi(P)$ la funzione di offerta ed, ancora, si assume ΔP tendente a zero:

$$\varepsilon = \varphi'(P) \cdot \frac{P}{S}$$

La spesa globale G della popolazione nell'acquisto di un prodotto di prezzo P e domanda D vale:

$$G = P \cdot D$$

e, per vedere come influisce sul valore della spesa globale G una variazione del prezzo P , si considera la:

$$\frac{dG}{dP} = \frac{d(P \cdot D)}{dP} = \frac{d[P \cdot f(P)]}{dP} = f(P) + P \cdot f'(P) = f(P) - D \cdot \eta = f(P) \cdot (1 - \eta) = D \cdot (1 - \eta)$$

la quale, se $\eta = 1$, mostra che la spesa globale è indipendente dalla variazione di prezzo, mentre, se $\eta > 1$, la derivata è negativa, e quindi un aumento del prezzo provoca una caduta della spesa globale. Invece, se $\eta < 1$, il valore della spesa globale aumenta all'aumentare del prezzo.

Specialmente in condizioni di **monopolio**, la conoscenza di η permette di valutare le ripercussioni della politica aziendale sul volume delle vendite. In generale η varia lungo la curva di domanda ed ε lungo quella di offerta, cioè:

$$\eta = \eta(D) \quad \text{ed} \quad \varepsilon = \varepsilon(S)$$

2.7.3. La Variabile Tempo.

Come è stato detto, gli adattamenti del mercato alle variazioni dei prezzi richiedono tempo. Nella discussione sul mercato del carbone, abbiamo notato che gli industriali del settore possono variare piuttosto rapidamente la produzione del minerale, mentre, per la maggior parte dei consumatori a livello industriale, l'unica scelta è di continuare ad utilizzare questa materia prima nella quantità abituale, fino al momento in cui è possibile adattare o cambiare gli impianti. Anche in altri mercati la velocità con cui produttori e consumatori possono reagire a variazioni dei prezzi non è la stessa ed, abbastanza chiaramente, la prontezza delle reazioni è strettamente legata al comportamento del mercato.

Ad esempio, l'agricoltore non può conoscere, al tempo della semina, il prezzo ad oggi del raccolto ed egli basa la sua scelta sul prezzo del raccolto della stagione passata, correndo in questo modo i già citati *rischi di mercato*. Così, se le condizioni della domanda restano stabili, il prezzo di una stagione determina la quantità da produrre nella

successiva. Il diagramma di un tale mercato è rappresentato in fig. 2.50, che si riferisce al cavolfiore nel mercato nazionale.

L'interpretazione della curva della domanda è che, al prezzo di 465€/Mg, al mercato sono consumate $40 \cdot 10^3$ Mg/y. La curva dell'offerta implica una differenza tra le reazioni degli agricoltori ai prezzi della stagione *presente*, in confronto alle reazioni degli stessi alla stagione *prossima*. Cioè, se il raccolto della stagione presente è offerto a 565€/Mg, ma il prezzo necessario per ottenere la vendita di tutto il prodotto deve ridursi a 465€/Mg, gli agricoltori possono decidere di programmare la stagione prossima per $31.5 \cdot 10^3$ Mg, in quanto esiste un eccesso di offerta. In pratica si può individuare la sequenza di decisioni:

anno 1. il prezzo di offerta sia di 565€/Mg, ma quello spuntato è di 465€/Mg, quindi il raccolto programmato per l'anno 2 è di $31.5 \cdot 10^3$ Mg;

anno 2. Le forze della domanda e dell'offerta sono in atto, tuttavia la curva ordinaria dell'offerta (quantità seminata) non può entrare in gioco, in quanto essa rappresenta le reazioni i cui effetti si fanno sentire solo nell'anno successivo. Quest'anno, l'offerta è fissa e pari alla quantità raccolta di $31.5 \cdot 10^3$ Mg ed il prezzo è tale da spingere i consumatori ad acquistare proprio la quantità disponibile. Di conseguenza, la curva di offerta effettiva è la verticale tratteggiata, per la quale il prezzo di equilibrio è 530€/Mg, prezzo al quale tutta la produzione è acquistata;

anno 3. A questo punto entra in gioco la curva tradizionale dell'offerta. Il prezzo di 530€/Mg induce una semina che, nell'anno 3, darà un raccolto di $38 \cdot 10^3$ Mg. Nell'anno 3 tale offerta farà abbassare il prezzo a 485€/Mg;

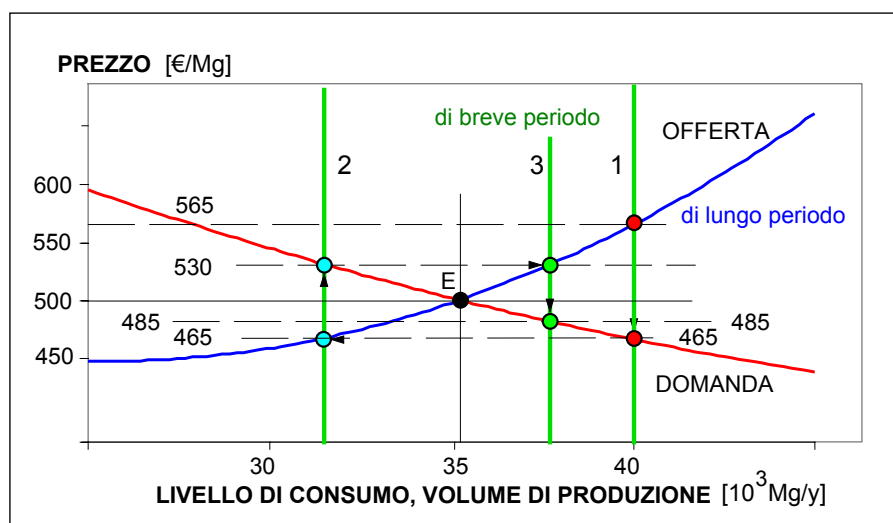


fig. 2.50. Andamento dei prezzi di cavolfiore in funzione del tempo, in assenza di fenomeni perturbatori (2003).

Così continuando, si trova che il prezzo e la quantità convergono al punto di incontro delle curve della domanda e dell'offerta, dove si può immaginare saranno vendute $35.5 \cdot 10^3$ Mg al prezzo di 500€/Mg.

Ora, l'intersezione delle curve di domanda ed offerta determinano un vero e proprio equilibrio di lungo periodo, che si raggiunge tramite una successione di equilibri temporanei, di frequenza ad esempio annuale come in fig. 2.50, ognuno dei quali è l'intersezione della curva della domanda e dell'offerta relativa a quell'anno. Infatti, a causa dell'intervento della variabile *tempo*, troviamo sempre due curve dell'offerta:

- la curva di offerta di **breve periodo**, che mostra la quantità di quel bene che a ciascun prezzo i produttori sono disposti ad offrire, utilizzando gli impianti ed i macchinari esistenti. Nel caso di fig. 2.50, l'offerta di mercato è la curva di offerta di breve periodo, rappresentata dalla verticale tratteggiata in verde, poiché l'unica scelta possibile agli agricoltori è quella di offrire la quantità seminata. Invece, nell'industria manifatturiera, le imprese possono variare la loro quantità prodotta con una certa facilità e la curva di offerta di breve periodo non è una verticale (almeno in una finestra temporale sufficientemente larga), bensì un segmento più o meno inclinato verso destra, la cui pendenza rappresenta la possibile variabilità della produzione senza dover cambiare gli impianti ed i macchinari presenti in azienda;
- è chiaro che, una volta raggiunto un equilibrio provvisorio, possono prodursi cambiamenti molto più importanti, quali, ad esempio, l'allargamento degli impianti, o l'ingresso di nuove iniziative imprenditoriali nel mercato, ecc. dovute alla presenza di profitti particolarmente alti. Di questo tipo di adattamenti tiene conto la curva di offerta di **lungo periodo**, la quale mostra la quantità di quel bene prodotta a ciascun prezzo, allorché si sono realizzati i seguenti adattamenti:
 1. ogni impresa produce a quel prezzo ed, in base alle capacità attuali del suo impianto, la quantità che ritiene più vantaggiosa,
 2. ogni impianto è di dimensioni tali da rendere minimo il costo della produzione corrente,
 3. non c'è nessuna tendenza da parte delle imprese ad entrare o ad uscire da quel mercato, oppure il numero di quelle che entrano e di quelle che escono è praticamente uguale.

La curva dell'offerta di lungo periodo è mostrata in blu in fig. 2.50 e la posizione finale di equilibrio del mercato (in assenza di perturbazioni) è rappresentata dal punto di incontro **E** tra le curve di domanda e di offerta.

2.7.4. Classificazione dei Mercati.

I mercati sono tra loro diversi. Con riferimento al processo di formazione del prezzo di vendita, bisogna osservare che ogni mercato è caratterizzato dal **numero dei venditori presenti**. Le caratteristiche dei venditori e dei compratori e le loro reciproche relazioni hanno un peso determinante sulla formazione del prezzo di un bene e sulle sue variazioni. Vi sono milioni di compratori nel mercato al dettaglio dei tessuti, ma solo poche centinaia in quello delle opere d'arte. Il mercato dei titoli è bene organizzato ed è molto rumoroso, mentre quello dei diamanti ha un'organizzazione labile ed è abbastanza silenzioso. Ma, come detto, la caratteristica più importante di un mercato, per quanto riguarda la formazione del prezzo, è il numero di venditori in esso presenti. Da questo punto di vista, vengono distinti tre fondamentali forme di mercato: mercati **monopolistici**, **oligopolistici** (dal greco *oligo* = pochi e *polein* = vendere) e **concorrenziali**.

Il **monopolio** è un mercato in cui un solo venditore provvede, per intero o quasi, all'offerta di un bene o di un servizio. Il mercato dell'acqua potabile, del gas e dell'energia elettrica nella nostra città è sicuramente un monopolio. Per parecchi anni dopo la sua introduzione, il mercato del nylon è stato un monopolio. Ma, a parte i monopoli locali e quelli derivanti da brevetti recenti, questa forma di mercato è rara ed illegale in molti Paesi.

Il monopolio non ha una curva dell'offerta del tipo finora esaminato. Infatti, il monopolista non sta passivamente a guardare qual è il prezzo in base al volume di doman-

da atteso a quel prezzo, prima di decidere la quantità da produrre, piuttosto egli decide sul prezzo in base al volume della domanda atteso a quel prezzo ed al costo di produzione. Perciò, il comportamento di un mercato monopolistico è profondamente diverso da quello di un mercato concorrenziale. Non è detto che l'andamento di P per il mercato monopolistico sia sempre crescente con S , come per il mercato concorrenziale: a seconda dei casi, può essere anche costante o decrescente. Inoltre, sui valori di P possono intervenire decisioni politiche volte a limitare (ad esempio con eccessivi aumenti di prezzo) la domanda od il consumo di un prodotto (l'energia elettrica). In ogni caso, dal punto E di equilibrio tra domanda ed offerta rimane fissato il volume di produzione dell'impresa monopolistica, che coincide con la domanda globale del mercato.

Altri esempi di mercati non concorrenziali sono i mercati di certi beni manufatti. Il mercato delle vetture certamente non è concorrenziale, anche se in Europa Mercedes, Fiat, Ford, Volkswagen, ecc. possono essere in concorrenza tra loro.

In un'economia industriale avanzata, la forma di mercato prevalente, o tendente a prevalere, è l'**oligopolio**. L'oligopolio è un tipo di mercato caratterizzato da solo poche organizzazioni, ciascuna delle quali riconosce che la propria attività ha un'influenza non trascurabile sul prezzo e sulla quantità offerta di beni e servizi. L'elenco dei prodotti oligopolistici comprende le macchine fotografiche, le auto, i computer ed i loro componenti, il vetro, il cemento, le sementi agricole, i fertilizzanti, ecc. Quasi tutti i prodotti manufatti (ad eccezione del tessile e dell'abbigliamento) e la maggior parte dei mercati di minerali sono oligopolistici (con l'eccezione del carbone), perciò questa forma di mercato è importante per comprendere il funzionamento di un sistema economico.

I mercati oligopolistici nascono dalla necessità di eseguire *produzioni di massa* e di conseguire corrispondenti economie di scala, concentrando gli impianti di produzione. Il conseguente *commercio di massa* consiste nel distinguere i prodotti della propria impresa per mezzo di un marchio e nel creare (attraverso la pubblicità e la differenziazione) una preferenza dei consumatori verso quel marchio. Come detto, le iniziative di ciascuna impresa, che partecipa ad un determinato mercato oligopolistico hanno un'influenza diretta sulla curva dell'offerta $S(P)$ e sul prezzo di vendita P all'equilibrio E .

L'esempio seguente dimostra che, in un mercato oligopolistico, le imprese contribuiscono direttamente alla formulazione del prezzo e le decisioni delle aziende si ripercuotono sul mercato stesso. Inoltre, l'oligopolista è riluttante alle variazioni, per cui gli oligopoli risultano generalmente rigidi e statici, con conseguente stabilità, uniformità e scarsa variabilità dei prezzi. Infine, per gli oligopolisti sarebbe più conveniente la cooperazione ed il contatto reciproco (proibiti dalla legge), in modo da non provocare una lotta dei prezzi, di dubbio esito, e da arrivare tacitamente all'instaurazione di un prezzo unico.

Esempio

Per evidenziare le peculiarità dei mercati oligopolistici si consideri l'esempio di due imprenditori oligopolisti **A** e **B**, che non comunicano tra loro e debbono divulgare contemporaneamente il proprio listino prezzi per la stagione seguente.

Si suppone che, se entrambi aumentano i prezzi, il maggior profitto per la stagione sarà per entrambi pari a 300.000€. Se **A** e **B** fossero in contatto, deciderebbero un pari aumento del prezzo del prodotto, stipulando un *Accordo di Cartello*, proibito dalla legge. Il volume di vendita resterebbe per entrambi pressoché inalterato, ed il preventivato maggior profitto si verificherebbe con soddisfazione per entrambi.

Poiché non c'è contatto, l'imprenditore **A** tenderà a non far nulla per alzare il prezzo per i seguenti motivi:

- se è prudente e non è disposto a rischiare di vendere meno prodotti e, quindi, di perdere quote di mercato e di profitto, nella speranza dei 300,000€,
- se, pur disposto a rischiare, ritiene che **B** sarà prudente e non alzerà il prezzo,
- se ritiene che **B**, pur essendo disposto a rischiare, valuterà che **A** sarà prudente e pertanto si comporterà di conseguenza, non alzando il prezzo.

In questa sede, ci occuperemo prevalentemente del mercato concorrenziale, che è una caratteristica rilevante del Nord-Est italiano.

Un mercato è **concorrenziale** quando i compratori ed i venditori sono così numerosi che nessuno di essi, o nessun piccolo gruppo, può esercitare un'influenza apprezzabile sul prezzo e sulla quantità offerta e domandata. Sotto questo profilo, il mercato del carbone è concorrenziale, e tale è anche il mercato del grano e della maggior parte dei prodotti agricoli.

Il mercato concorrenziale è **perfetto** quando soddisfa alle seguenti 4 condizioni:

1. tutti i partecipanti al mercato sono in ogni momento al corrente delle opportunità che il mercato offre,
2. i compratori ed i venditori sono piccoli ed indipendenti, cosicché le singole negoziazioni sono piccole, rispetto a quelle globali,
3. l'inserimento di nuovi prodotti nel mercato è facile,
4. esiste facilità di movimento dei capitali da un settore ad un altro, in relazione alle opportunità che si presentano.

Nessun mercato industriale soddisfa perfettamente alle tre condizioni **1, 2 e 4**: i mercati che soddisfano almeno alla condizione **2**. sono detti a concorrenza *imperfetta*, se il compratore non è in grado di apprezzare le differenze tra i prodotti offerti (che per lui sono quindi intercambiabili), oppure a concorrenza *monopolistica*, se la differenziazione del prodotto offerto da un venditore (rispetto ai prodotti concorrenti) è tale che il compratore non giudica solamente in funzione del prezzo e non considera intercambiabile quel prodotto con gli altri.

2.7.5. Classificazione dei Costi di Produzione

I costi sono classificati come **fissi** (o di installazione) e **variabili** (o di esercizio).

2.7.5.1. Costi di Installazione

I **costi fissi** comprendono tutte le spese che rimangono inalterate, al variare del livello di produzione. Quelli più rilevanti che un'impresa deve affrontare sono quelli richiesti dall'acquisto o dalla costruzione e dal mantenimento degli immobili e degli impianti. Essi comprendono l'interesse sul capitale investito, i canoni di affitto, il deprezzamento della struttura immobiliare e produttiva, l'assicurazione, le imposte, ecc. Queste spese sono sostenute continuamente, indipendentemente dal livello di attività degli impianti. Una particolare categoria dei costi fissi comprende le spese generali di amministrazione e gestione, che riguardano il personale esecutivo, gli uffici contabili, ecc.

2. Lo Studio di Fattibilità

Il **costo di installazione** è dato dalla somma di tutti gli esborsi che l'impresa deve effettuare per poter disporre dell'impianto pronto a produrre e possa dare avvio all'attività industriale voluta. Tale costo deve essere stimato **a priori** per le 2 seguenti ragioni:

1. necessità di conoscere l'ammontare totale degli investimenti necessari,
2. necessità di predisporre un piano di ammortamento, per valutare l'incidenza della componente capitale fisso sui costi di esercizio, nell'ambito dell'analisi di convenienza economica.

La determinazione del costo di installazione ha senso non solo per un impianto nel suo complesso, ma anche per le ristrutturazioni e gli ampliamenti degli impianti esistenti. Il costo di installazione è dato dalla somma dei 9 termini seguenti:

1. costo dell'**ingegneria**, che comprende le spese per lo studio preliminare di fattibilità e per il progetto esecutivo, completo delle specifiche tecniche per acquisire tutti i materiali necessari,
2. costo per l'acquisizione del **terreno**, che comprende le spese notarili, quelle per gli adattamenti piano-altimetrici, per i contributi a titolo di urbanizzazione primaria (strade, fognature, ecc.) e secondaria (impianti sportivi, scuole, servizi, ecc.), contributi che sono fissati da ogni Comune, in ragione di una quota per unità di superficie coperta,
3. costo per l'**edilizia**, che comprende la costruzione di edifici, fognature, recinzioni, eventuali raccordi ferroviari e stradali, parcheggi, allacciamenti alle reti elettriche, idriche, telefoniche, ecc.
4. costo dei **materiali**, delle macchine e delle attrezzature costituenti l'impianto di produzione e gli impianti di servizio. Tale costo è comprensivo delle spese di imballaggio, di assicurazione, trasporto, IVA, eventuali imposte doganali, interessi passivi sugli anticipi di pagamento (rispetto alla data di fornitura), acquisto di parti di ricambio per garantire l'adeguata sicurezza di funzionamento,
5. costo del **montaggio**, comprensivo di manodopera ed eventuali attrezzature,
6. costo dei **beni immateriali**, che comprende le spese di acquisizione del know-how relativo alla tecnologia specifica ed alle modalità di conduzione dell'impianto, per brevetti, concessioni, licenze, avviamento, ecc.
7. **costi vari**, quali la costituzione della rete di vendita, l'assunzione e l'addestramento del personale, l'emissione di azioni, gli adempimenti fiscali, ecc.

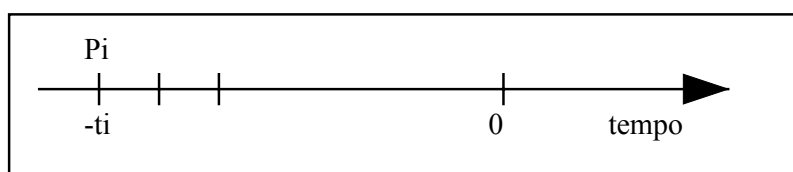


fig. 2.51. Versamenti e costi passivi, dipendenti dal tempo.

8. costo degli **interessi passivi**, il quale è proporzionale al tempo intercorrente tra l'erogazione delle quote di capitale e l'istante $t = 0$ in cui l'impianto può iniziare a funzionare, secondo lo schema di fig. 2.51. In fig. 2.51 l'istante 0 coincide con l'inizio della vita produttiva dell'impianto e P_i è l' i -esimo pagamento effettuato dalla società all'istante $-t_i$, utilizzando una quota erogata in quell'istante dalla banca o dal finanziatore. I vari costi di installazione che si stanno elencando vengono affrontati via via con pagamenti P_i effettuati quando necessario, in corrispondenza dei tempi $-t_i$ anteriori al tempo 0, al quale l'impianto comincia a produrre. Indicando con j il tasso d'interesse *mensile* sul denaro, il costo per interessi passivi, detto I_p , vale:

$$I_p = j \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \quad (2.15)$$

con t_i il tempo in *mesi* e P_i in €.

La (2.15) deriva dall'applicazione della procedura dell'interesse semplice (visti i tempi normalmente brevi di questa fase): se in un certo istante si riceve il capitale P_i , alla fine dell'unità di tempo scelta (in questo caso il *mese*) si restituiscono solamente gli interessi, che sono uguali a $j \cdot P_i$. Dopo t_i mesi, gli interessi passivi che si devono restituire sono $j \cdot P_i \cdot t_i$,

9. costo del **capitale circolante**, che corrisponde al valore monetario delle seguenti voci:

- a. materie prime ed accessorie esistenti a magazzino, come scorte,
- b. materiali in lavorazione,
- c. prodotti finiti non ancora venduti ed accumulati a magazzino,
- d. crediti ai clienti, od anticipazioni finanziarie sul ricavato,
- e. capitale in cassa per minute spese.

Se con **a**, **b**, **c**, **d** ed **e** indichiamo il valore monetario delle corrispondenti voci, il costo del capitale circolante è dato dalla loro somma C_C . Tale capitale, necessario per avviare la produzione ed indispensabile per consentirne la regolare gestione, non è immobilizzato ed è tutto teoricamente recuperabile: non è, quindi, un capitale fisso, ma viene variamente consumato e ricostituito durante il ciclo produttivo.

In definitiva, indicando con:

$$C_K = \sum_{k=1}^8 C_k$$

la somma dei primi 8 costi elencati, il costo di installazione **CI** è espresso dalla somma di C_K e del capitale circolante C_C , la quale rappresenta il capitale di cui si deve disporre per dare inizio all'attività.

2.7.5.2. Costi di Esercizio

I **costi variabili** comprendono tutte quelle spese il cui livello dipende fortemente dall'andamento della produzione. I salari delle maestranze pagati a durata del lavoro od a cottimo sono una componente importante dei costi variabili, ma i costi variabili comprendono anche le provvigioni ai venditori, i costi delle materie prime, delle parti acquistate, dell'energia, dell'immagazzinamento delle merci, i noli e le assicurazioni delle scorte.

Con **costo di esercizio** si intende la somma di tutti i costi da affrontare in un dato periodo di tempo (in genere un anno) per far funzionare correttamente e gestire l'impianto produttivo. Esso è dato dalla somma dei costi fissi di produzione e dei costi variabili (complessivamente **costo del servizio reso**), e del **costo dell'inefficienza del servizio**. Tale ultimo costo non corrisponde ad un effettivo esborso di denaro, ma è il mancato introito derivante dalla mancata o ridotta produzione, corrispondente al non efficiente funzionamento dell'impianto.

Il costo dell'inefficienza rappresenta quell'onere che deriva all'azienda per il fatto che gli impianti, per motivi di progettazione o di conduzione, presentano interruzioni della produzione per avarie, e quindi non rispondono agli standard di capacità produttiva per i quali sono stati concepiti. Si supponga di perdere la parte ΔR di fatturato per

mancata produzione: normalmente si risparmia una parte Δc_v di costi variabili (ad esempio minor consumo di materie prime e di energia durante il fuori servizio) per cui:

$$U = (R - \Delta R) - c_f - (c_v - \Delta c_v) = R - c_f - c_v - (\Delta R - \Delta c_v)$$

$$U = R - c_f - c_v - c_{ineff} \quad (2.16)$$

essendo:

$$c_{ineff} = \Delta R - \Delta c_v$$

In realtà, non sempre si risparmiano i costi variabili in concomitanza di un'interruzione dell'attività produttiva. Si pensi ad un processo tecnologico in cui si proceda per cariche. Se il processo si interrompe per l'interruzione dell'erogazione di un servizio essenziale, o per un guasto all'apparecchio contenente la carica, questa non può essere recuperata. In tal caso, i costi Δc_v delle materie prime e dell'energia sostenuti fino a quel momento non possono essere considerati come risparmiati. È un costo di inefficienza anche la perdita di una fetta di mercato a causa della ritardata fornitura del prodotto, soprattutto nel caso di mercato fortemente concorrenziale. Spesso c_{ineff} si traduce in un aumento del costo fisso c_f , quando, per garantire l'efficienza globale prefissata, si sovradimensiona l'impianto, acquistando più macchine ed apparecchiature di riserva, che possano intervenire in caso di guasto.

Esempio

Si debba considerare il costo annuo del servizio reso da un autocarro. Il costo fisso è dato dalla somma della rata annua di ammortamento, comprensiva degli interessi e relativa alla spesa iniziale per l'acquisto, del costo annuo di manutenzione straordinaria, e del costo annuo del personale. Il costo variabile è la somma del costo del carburante, del lubrificante e dei pneumatici consumati in un anno. Il costo di esercizio annuo è:

$$C = s \cdot C_a + C_M + C_p + k \cdot (y \cdot C_c + l \cdot C_l + p \cdot g \cdot C_g)$$

dove:

- C_a il costo di acquisto dell'autocarro [€],
- s il coefficiente di ammortamento annuale, comprensivo degli interessi,
- C_M il costo annuo di manutenzione straordinaria [€],
- C_p il costo annuo del personale [€],
- k il percorso coperto in un anno [km],
- y il consumo specifico medio di carburante [l/km],
- C_c il costo specifico del lubrificante [€/l],
- l il consumo specifico medio di lubrificante [l/km],
- p il numero di pneumatici montati,
- C_g il costo del pneumatico [€]
- g il consumo specifico di pneumatico [pneumatico/km]

2.7.6. Determinazione della Quantità da Produrre nel Mercato Concorrenziale.

Come detto, nel mercato concorrenziale ogni venditore può ignorare gli effetti delle proprie iniziative sui concorrenti e sul prezzo in atto, in quanto questo deve essere considerato come un **dato di fatto**: egli cercherà solo di vedere se gli conviene produrre per vendere a quel prezzo e, se sì, come aumentare la produzione e le vendite. In altri termi-

ni, si può ritenere che il prezzo nel mercato concorrenziale sia un dato non influenzabile dalla singola impresa, ma comune a tutte le imprese costituenti quel mercato. La singola impresa può solo dedicarsi alla soluzione del problema del volume ottimale di produzione che la riguarda, in modo da massimizzare il profitto derivante dal suo volume di vendite. Ora vogliamo vedere in base a quali elementi in un settore industriale si formano i prezzi e le quantità prodotte e mettere in evidenza i fattori che determinano la curva dell'offerta da considerare nello studio di fattibilità.

L'offerta di un bene o di un servizio di un'**industria** è la quantità totale di bene o di servizio offerta da tutte le imprese appartenenti a quell'industria. Perciò, è il risultato delle decisioni prese dalle singole imprese. Di conseguenza, la stesura della curva dell'offerta deve essere preceduta dallo studio del modo in cui ciascuna impresa stabilisce il proprio volume di produzione. Non sarà poi difficile il passaggio successivo dalle decisioni della singola impresa alla curva dell'offerta dell'intera industria.

L'ipotesi su cui generalmente si fonda l'analisi delle decisioni di un'impresa è che questa si comporti in modo da massimizzare i propri profitti, cioè **l'eccesso del valore dei beni prodotti sul costo sostenuto per produrli e distribuirli sul mercato**. Tuttavia, i profitti non possono essere misurati in ogni caso ricorrendo semplicemente a questo metodo. Ad esempio, quando un'impresa entra in attività, i suoi costi di produzione possono superare per un anno o più le vendite, ma sarebbe ingenuo pensare che nel frattempo *l'impresa sta perdendo denaro*: essa sta solo affrontando le spese necessarie per consolidarsi e, perciò, per ottenere profitto. Poi, ogni impresa è una realtà estremamente complessa, che non agisce semplicemente in base ad una sola ipotesi e nella determinazione delle decisioni gioca un ruolo importantissimo la **personalità** dei suoi dirigenti.

Comunque, i profitti restano l'obiettivo più importante a cui fanno riferimento tutte le imprese al momento di prendere decisioni. Infatti, la creazione di ricchezza è indispensabile almeno per remunerare le prestazioni degli operatori, remunerare il capitale ed autofinanziare lo sviluppo dell'impresa. Quando si considera un'industria nel suo complesso, gli effetti delle scelte individuali si compensano e l'industria si comporta come se ogni impresa che ne fa parte si comportasse da sola per massimizzare i profitti.

Quando un'impresa decide la quantità di bene o di servizio da produrre in base alle condizioni di mercato, essa tiene conto della reazione del mercato (clienti e concorrenti) ed in quale modo tale reazione influenzerà il suo profitto. La risposta del mercato dipende in gran parte dalla struttura dell'industria, ma **la curva dell'offerta di un'impresa mostra sempre la quantità di bene che l'impresa sarebbe disposta a produrre ed a vendere, ad ogni possibile livello di prezzo**. Quindi, bisogna determinare l'andamento della quantità di beni da produrre al variare del loro prezzo e qual'è per l'azienda la quantità più vantaggiosa (cioè che garantisce il massimo profitto). Questo si fa mediante l'**analisi marginale**, che considera ogni possibile quantità e calcola come i profitti aumentano o diminuiscono producendo un'*unità in più* di bene. Se i profitti non aumentano né diminuiscono, si conclude che quella quantità massimizza il profitto. A questo scopo, inizialmente consideriamo un'azienda **monoprodotto**, poi si estenderanno le conclusioni anche ad altri casi.

Il cuore dell'analisi marginale è il comportamento dei costi: se la quantità prodotta aumenta di un'unità, l'incremento di valore delle vendite è, per definizione, pari al prezzo del prodotto, quindi, per sapere se i profitti aumentano, bisogna vedere se la produzione di quell'unità addizionale fa crescere i costi più del prezzo. Perciò, la chiave della decisione è l'effetto che la produzione di quantità diverse ha sui costi e, quindi, si deve volgere l'attenzione all'analisi dei costi.

Quando un'impresa passa da un livello di produzione ad un altro, i suoi *costi variabili* variano di conseguenza. Il loro comportamento dipende da tutti i fattori che incidono sull'efficienza degli impianti, a sua volta dipendente dal livello di produzione: in generale, gli impianti tendono a perdere efficienza a livelli di produzione molto bassi e molto alti. In tab. 2.XIV possiamo vedere un esempio di variazione dei costi al variare della produzione in un'impresa.

tab. 2.XIV. Esempio di andamento dei costi al variare della produzione.

Produzione mensile wp	Costi fissi €	Costi Variabili €	Incremento costi variabili €/100 wp	Costo medio €/100 wp	Costo Marginale €/100 wp
100	100.000	90.000	-	1.900	-
200		160.000	70.000	1.300	700
300		220.000	60.000	1.067	600
400		280.000	60.000	950	600
500		340.000	60.000	880	600
600		405.000	65.000	842	650
700		475.000	70.000	821	700
800		555.000	80.000	819	800
900		650.000	95.000	833	950
1000		865.000	115.000	865	1.150
1.100		905.000	140.000	914	1.400

In tab. 2.XIV, non sono rappresentate le variazioni unità per unità, ma solo per gradienti di 100 unità alla volta e si presume che i valori per unità siano 1/100 di quelli riportati. In prima colonna della tab. 2.XIV è riportato il livello di produzione; in seconda i costi fissi, costanti per ogni livello di produzione; in terza i costi variabili, pressoché proporzionali alla produzione: salari, materie prime ed altre spese che dipendono direttamente dal livello di utilizzo dell'impianto. In quinta colonna, si legge il costo medio per 100 unità: rapporto tra la somma dei costi fissi e di quelli variabili ed il volume di produzione. In sesta colonna è riportato il costo marginale derivante dal rapporto tra l'incremento dei costi e la quantità di produzione; esso è l'incremento subito dal costo totale (ma in pratica dal solo costo variabile), quando la produzione aumenta di 100 unità. Ai fini dell'analisi, quest'ultima colonna è la più importante.

Dunque, i *costi variabili* sono la componente attiva dei costi totali, medi e marginali. Come si vede in tab. 2.XIV, essi non sono rigorosamente proporzionali al livello di produzione: per la produzione di 100 unità essi ammontano a 90.000€, mentre, per produrre 200 unità, se ne devono aggiungere solamente 70.000€. Infatti, nella realtà aziendale, una volta messo in marcia l'impianto, una parte del lavoro richiesto per le seconde 100 unità è stato compiuto: gli ordinativi sono stati preparati e compilati, sono stati affidati i ruoli ed i compiti, le macchine sono state registrate ed avviate. Questo processo continua all'aumentare del livello di produzione, con progressive economie realizzate soprattutto grazie ad una più efficiente organizzazione della produzione, quando al personale possono essere assegnati compiti più specifici e le diverse fasi di lavorazione possono essere meglio coordinate, ridotti gli sprechi, ecc.

Procedendo lungo le colonne della tab. 2.XIV, si vede che l'incremento dei costi variabili per 100 unità diminuisce sempre meno, stabilizzandosi su un valore prima pro-

porzionale al livello produttivo, poi crescente, dimostrando che cominciano a manifestarsi difficoltà sul processo produttivo.

Infatti, ogni impianto presenta un certo **livello produttivo nominale**, che può mantenersi senza difficoltà, che prevede il giusto livello di attrezzature ed utensili nei reparti operativi, che lascia lo spazio necessario alle attrezzature ed al personale, che considera il tempo necessario alla sua manutenzione, ecc. In questa condizione, i reparti sono ben ordinati, i magazzini ampi, i prodotti facilmente accessibili, le macchine ben mantenute, ed esiste una certa disponibilità di macchine di utensili e di attrezzature di riserva.

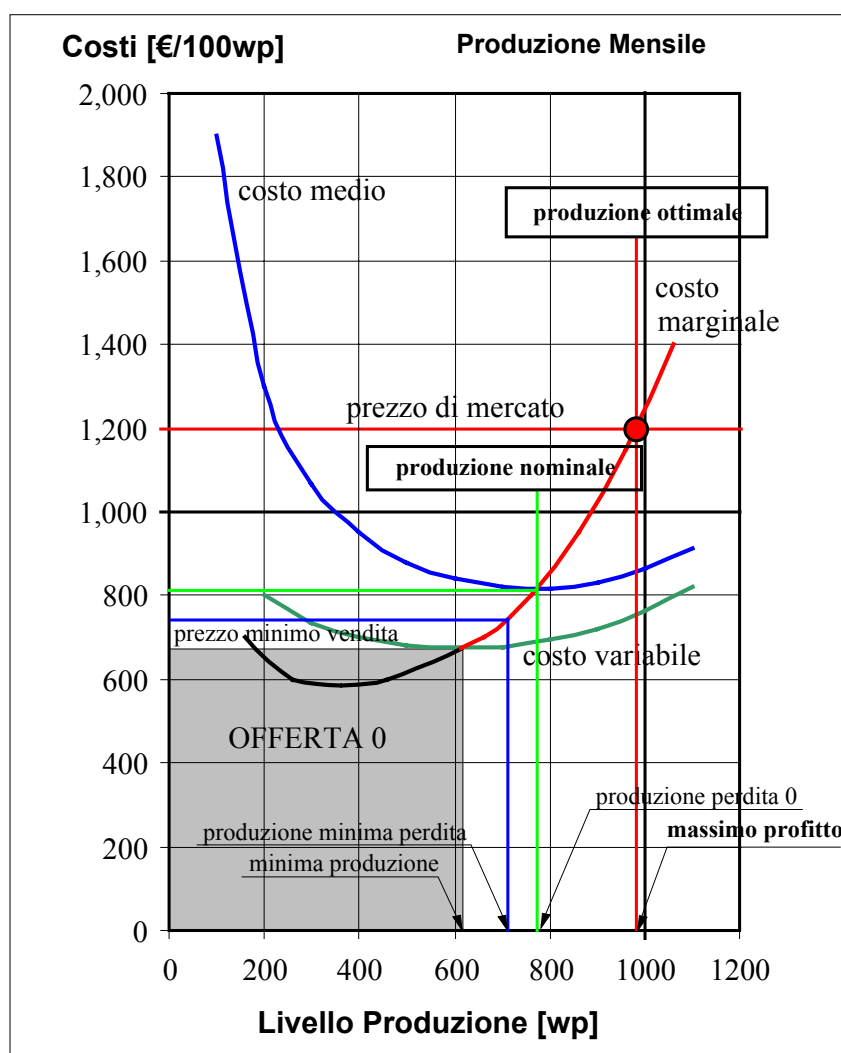


fig. 2.52. Determinazione della produzione ottimale.

Tuttavia, tale livello rappresenta raramente un limite insuperabile, ed è facile pensare che si possa andarne al di sopra, anche se, in questo caso, i costi variabili (di produzione) aumentano rapidamente. Anzi, i costi marginali cominciano ad aumentare ancor prima del raggiungimento del livello nominale di produzione, quando l'abbondanza di risorse comincia a venir meno. Se una macchina subisce un guasto, i tempi di lavoro programmati sono compromessi, macchine ed addetti restano fermi e sorgono problemi sulla catena di produzione, che si propagano a valle. Possono essere utilizzate macchine di riserva, che non sempre garantiscono la stessa qualità, si può ricorrere al lavoro straordinario, che è più costoso, ecc. In pratica, prima i costi marginali aumentano impercettibilmente, poi con straordinaria rapidità, via via che gli inconvenienti si fanno senti-

re, cioè mano a mano che il livello di produzione aumenta. Al crescere dei costi marginali, i costi variabili (e quindi i costi totali) inizialmente diminuiscono, poi aumentano sempre più, mentre è sempre minore la diminuzione del costo medio il quale, dopo aver raggiunto un valore minimo, comincia anch'esso ad aumentare.

La relazione tra costi e volume di produzione risulta evidente in fig. 2.52, costruita sulla base della tab. 2.XIV. Come si vede, i costi medi sono la risultante delle forze in conflitto: a bassi livelli di produzione il costo unitario *variabile* è basso (perché la produttività non è compromessa da congestioni o ritardi del processo produttivo), ma i costi unitari *fissi* sono alti perché le spese sostenute per le attrezzature e l'impianto sono ripartite su una piccola produzione. Invece, quando il volume di produzione è alto, i costi unitari fissi sono bassi, ma le difficoltà di produzione fanno salire i costi variabili. Come sempre nell'analisi delle situazioni impiantistiche, tra le due situazioni si trova quella ottimale, nella quale la somma dei costi fissi e di quelli variabili risulta più bassa.

In base al ragionamento fatto, la quantità di prodotto che un'impresa è disposta ad offrire a ciascun prezzo è quella a cui il costo marginale è uguale a quel prezzo. In altre parole, **la curva del costo marginale dell'impresa è anche la sua curva dell'offerta**. Infatti, dalla fig. 2.52 si conclude che l'impresa è in grado di garantire un prezzo minimo per 100 unità di circa 800€, quando produce un pò meno di 800 unità al mese, ma se il prezzo di mercato per 100 unità è 1.200€, è più conveniente per l'azienda produrre un pò meno di 1.000 unità, quando il costo medio per 100 unità è più alto, circa 850€.

Quanto detto riguarda la massimizzazione dei profitti, ma se il prezzo fosse al di sotto del costo medio minimo, l'impresa sarebbe in perdita, in quanto non in grado di coprire i costi fissi e quelli variabili. Nondimeno il ragionamento continua ad essere valido: le perdite sono inevitabili, ma esse saranno le più basse possibili al livello di produzione al quale il costo marginale risulta uguale al prezzo. Tuttavia, quando il prezzo scende fino a non riuscire più a coprire neanche i costi variabili, l'offerta dell'impresa è nulla.

La curva dell'offerta dell'impresa permette di determinare la curva dell'offerta dell'industria, dato che l'offerta dell'intera industria è la somma delle offerte a quel prezzo da parte di tutte le imprese che la producono. Ciò rende facile costruire la curva dell'offerta dell'industria, una volta note le curve dei costi (quindi le curve dell'offerta) di alcune imprese tipo. Perciò, **il prezzo del prodotto venduto nel mercato concorrenziale tende ad essere uguale al costo marginale di ciascuna impresa che opera nell'industria, cioè al costo marginale di produzione**.

Comunque, se la somma delle quantità offerte al prezzo di mercato non raggiunge la quantità richiesta a quel prezzo, questo varierà e perciò varierà anche l'offerta. Quando l'equilibrio sarà nuovamente stabilito, il costo di marginale di ciascuna impresa sarà ancora uguale al prezzo di mercato.

2.7.7. Scelta delle Alternative nel Mercato Concorrenziale.

Abbiamo visto sopra la stesura della curva dell'offerta di breve periodo di un'azienda monoprodotto. Si vuole ora esaminare il caso in cui i dirigenti cerchino di aumentare il profitto dell'impresa mediante interventi sulla produzione con la proposta di prodotti complementari (in combinazione con quello corrente).

A tal fine, si deve introdurre un nuovo concetto, quello del **marginale di contribuzione**, espresso come differenza tra *ricavo* e *costo variabile*:

$$M_c = R - c_v$$

essendo:

$$R = c_v + c_f + U$$

si ha anche:

$$M_c = c_f + U \quad (2.17)$$

cioè, il margine di contribuzione è anche la disponibilità per coprire i costi fissi e fornire l'utile. Si può porre, come ipotesi semplificativa, che i costi variabili siano linearmente crescenti con il volume di produzione q , $c_v = a \cdot q$ e scrivere:

$$M_c = p \cdot q - a \cdot q = (p - a) \cdot q = m_c \cdot q \quad (2.18)$$

con:

- a** pari al costo marginale c_m , nelle condizioni di massimo profitto,
- p** prezzo unitario di mercato,
- $m_c = p - a$ ricavo marginale ed, in generale, **margine di contribuzione unitario**.

Risulta anche:

$$m_c = \frac{dM_c}{dq} = \frac{d(p \cdot q - c_v)}{dq} = p - c_m \quad (2.19)$$

ancora nelle condizioni di massimo profitto.

La conoscenza del margine di contribuzione è utile in numerose applicazioni, in particolare:

- nella determinazione del **punto di pareggio** $q = q_p$. Poiché nel punto di pareggio $U = 0$, la (2.17) fornisce il punto nel quale $M_c = c_f$. Quindi, nel punto di pareggio si ha:

$$m_c \cdot q_p = c_f$$

e la quantità di pareggio è:

$$q_p = \frac{c_f}{m_c} \quad (2.20)$$

- nella valutazione della convenienza di **produzioni complementari**. Si abbia un impianto con costi fissi c_f e nel quale, con le risorse produttive a disposizione sia possibile produrre due prodotti con margini di contribuzione unitari m_{c1} ed m_{c2} , con $m_{c1} > m_{c2}$. È allora conveniente produrre quanto più possibile del prodotto **1**. Infatti, per la (2.17), il margine di contribuzione coincide col profitto U , a meno di c_f , che è lo stesso in entrambi i casi. Naturalmente, all'aumentare della produzione q , aumenta il costo marginale c_m , che nella schematizzazione lineare di c_v vale la costante a , ciò che fa quindi diminuire m_{c1} . Quando $m_{c1} < m_{c2}$ conviene passare al prodotto **2**. Evidentemente, questo vale a patto che le risorse siano illimitate. Invece, se le risorse sono limitate, le quantità producibili dei due prodotti sono vincolate ad un massimo e la soluzione ottimale potrebbe contemplare anche la produzione di una certa quantità di prodotto **2**.
- Valutazione di convenienza di **produzioni marginali**.

2. Lo Studio di Fattibilità

Esempio

Si abbia un impianto caratterizzato dai seguenti dati di produzione:

c_f	300.000 €/y	$q_{\max}$	12.000 wp/y
q	10.000 wp/y	a	40 €/wp
p	80 €/wp = prezzo di vendita		

Alla potenzialità attuale q , i costi variabili ammontano a:

$$c_v = a \cdot q = 40 \cdot 10^4 = 400.000 \text{ €/y}$$

Avendo supposto lineare la curva dei costi variabili, si ha:

$$q_p = \frac{c_f}{m_c} = \frac{300.000}{80 - 40} = 7.500 \text{ wp/y}$$

L'impianto lavora in attivo, con utile pari a:

$$U = R - C = p \cdot q - c_v - c_f = 800.000 - 300.000 - 400.000 = 100.000 \text{ €/y}$$

ed il costo totale medio è:

$$\bar{c} = \frac{C}{q} = \frac{700.000}{10^4} = 70 \text{ €/wp}$$

Ci si chiede se è conveniente in queste condizioni aggiungere una produzione marginale di 2.000 unità/y, che saturi la capacità produttiva residua, sapendo che esiste la possibilità di vendita sul mercato ad un prezzo di 50 €/wp e sapendo che rimangono identici i costi variabili unitari di produzione. La risposta è positiva perché:

q'	2.000 wp/y	p'	55 €/wp
a	40 €/wp		
$m'_c = 55 - 40 = 15 \text{ €/wp}$		$M'_c = m'_c \cdot q' = 30.000 \text{ €/y}$	

ed, applicando la (2.17):

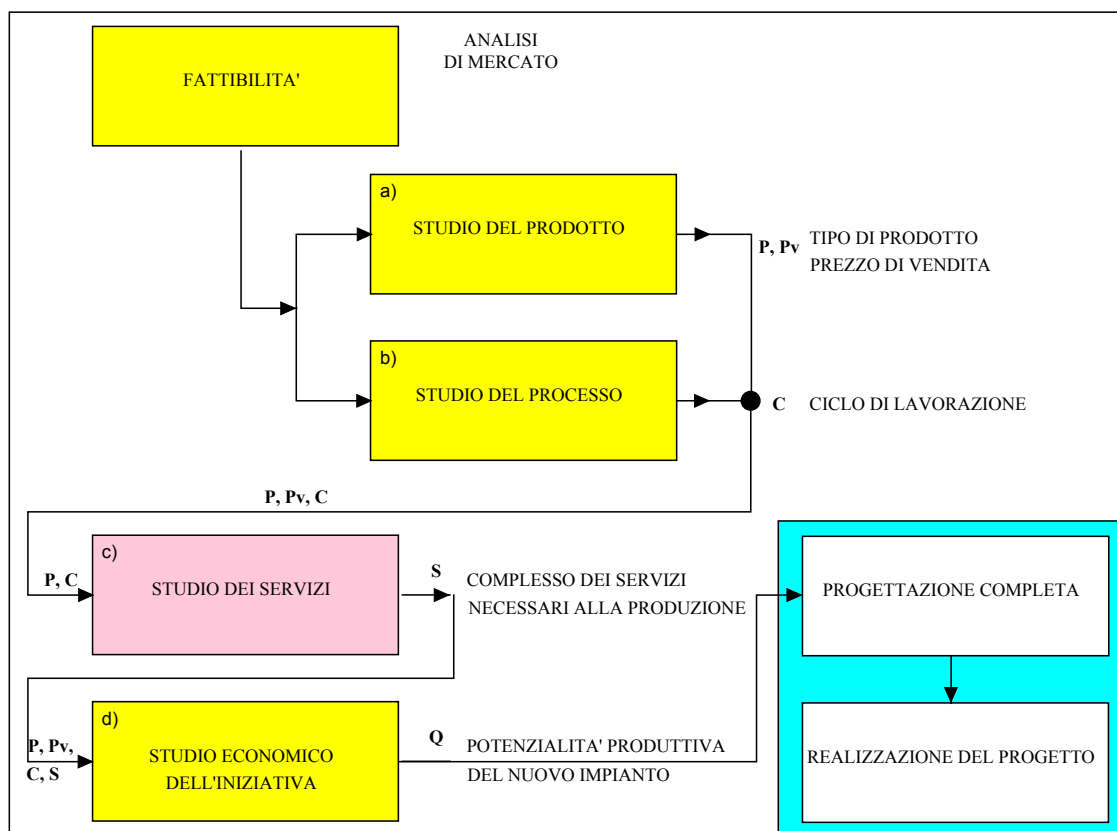
$$M_c + M'_c = c_f + U + U' = 300.000 + 100.000 + 30.000 = 430.000 \text{ €/y}$$

ed il profitto totale è:

$$U_{\text{tot}} = U + U' = 430.000 - 300.000 = 130.000 \text{ €/y}$$

Del resto, si è già visto che, essendo $p' > a$ (si ricordi che $a = c_m$ perché si è adottata la schematizzazione lineare dei costi variabili), si funziona ad una potenzialità minore di quella ottimale. In conclusione, finché il prezzo di vendita è superiore o uguale al costo marginale, ovvero il margine di contribuzione $m_c = p - a$ è positivo, conviene aumentare q , cioè produrre di più.

2.8. LA GIUSTIFICAZIONE ECONOMICA DELL'INVESTIMENTO. L'ANALISI FINANZIARIA.



Un'osservazione attenta del comportamento economico nel comparto industriale italiano mette in evidenza che gli investimenti sulla base tecnologica non vengono fatti in quantità sufficiente a mantenere competitiva l'attività. L'impiego di capitali e gli investimenti in R&D da parte dell'industria privata, come frazione del PIL, rimangono praticamente costanti in termini reali negli ultimi trent'anni, insieme al capitale investito per ora-lavoro. In pratica si osserva che l'impegno finanziario per l'innovazione tecnologica ed il futuro non si autoalimenta, probabilmente perché le forze finanziarie trascurano che la chiave di ogni profitto nel lungo periodo sono i nuovi prodotti ed i nuovi processi, i quali invece aiutano a mantenere i vecchi acquirenti, ma anche ad aprire nuovi mercati. Ne risulta che i profitti vengono poco reinvestiti.

La dimostrazione di ciò è che l'industria del nostro Paese esporta poco più del 15% di prodotti ad alta tecnologia, a confronto a più del 20% della Spagna, del 25% di Francia ed Inghilterra, del 30% della Germania e del 45% del Giappone.

Forse la mancanza di investimenti nell'industria è legata anche all'uso improprio delle tecniche di analisi attuariale. Tali tecniche sono basate sulla considerazione che avere in tasca 1€ oggi vale di più di averlo in tasca solo domani. Per esempio, ad un tasso annuo di interesse dell'8%, 1€ oggi avrà il valore di 1,08€ tra un anno, così come, allo stesso tasso di interesse, averlo tra un anno è come averne in tasca oggi 0,926€. Se si usano i concetti del valore attuale, gli investimenti correnti devono essere confrontati con i guadagni futuri attraverso la conversione dei flussi di guadagni futuri in valori correnti e la valutazione dei progetti di investimento alternativi.

Si possono incontrare vari problemi con l'uso delle tecniche del valore attuale, ciò che ne spiega l'uso in qualche modo infrequente. Un problema è che esse non permetto-

no una scelta sicura tra progetti di investimento alternativi, essendo più adatte alla valutazione dell'effetto della sostituzione di una macchina o del lancio di un progetto, che può essere facilmente isolato. Invece, quando si deve considerare lo Studio di Fattibilità, si deve valutare anche la sostituzione dell'intero sistema, perché la fattibilità rappresenta un concetto globale evolutivo, nel quale la sostituzione di una singola macchina può rappresentare un investimento eccessivo, mentre può non esserlo la sostituzione di un intero impianto. Dunque, è richiesta una decisione a livello di sistema, piuttosto che una serie di decisioni singole.

Come detto in §2.7.5, una delle componenti il costo globale di esercizio, che coincide col costo di produzione tenuto conto del costo di inefficienza, è rappresentata dai costi fissi c_f , tra cui spiccano gli **ammortamenti** C_A del capitale fisso investito. Ricordando la necessità di capitale circolante C_C , il costo dell'investimento **CI** è:

$$CI = C_A + C_C$$

2.8.1. Concetti Elementari di Matematica Finanziaria Attuariale

Prima di esaminare in dettaglio il concetto di ammortamento, si premettono alcuni richiami di *matematica finanziaria attuariale*. Come detto sopra, a proposito del valore attribuito ad 1€, un bene fisicamente identico dà luogo a beni economicamente diversi, a seconda che esso sia disponibile al presente, oppure ad una data futura.

Postulato della preferenza temporale del consumo: *un soggetto economico attribuisce normalmente un valore maggiore ad un bene presente, piuttosto che allo stesso bene reso disponibile nel futuro.*

Negli scambi tra beni presenti e futuri si ricorre al **tasso di interesse i** (o semplicemente *interesse*), che è la misura della preferenza temporale dei soggetti economici, ovvero della sopravvalutazione dei beni *presenti* (o potere di acquisto o reddito), rispetto ai beni (o potere di acquisto o reddito) *futuri*.

2.8.1.1. Metodo dell'Interesse Semplice.

Secondo questo metodo, nel caso di una somma C presa a prestito all'istante $t = 0$ con un interesse i , ad esempio del 10%, il debitore dovrà pagare una cifra pari a 10€ per ogni 100€ avuti in prestito, e, globalmente pari a $i \cdot C$, per ogni anno in cui il capitale resta a disposizione del debitore. La somma $i \cdot C$ è la misura della differenza di valore attribuito dai soggetti economici al capitale C considerato oggi e tra un anno.

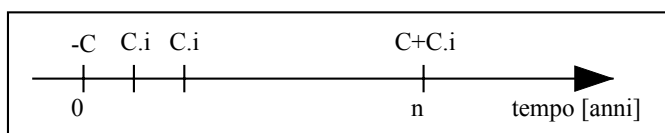


fig. 2.53. Versamenti e costi passivi col metodo dell'interesse semplice.

In fig. 2.53, all'istante $t = 0$ si riceve la cifra C in prestito, alla fine di ogni esercizio si pagano gli interessi $i \cdot C$ ed alla fine dell'anno n -esimo, si restituisce il capitale C . In tutto si sono versati:

$$C + n \cdot i \cdot C = C \cdot (1 + n \cdot i)$$

2.8.1.2. Metodo dell'Interesse Composto.

Con questo metodo e secondo lo schema di fig. 2.54, all'istante $t = 0$ si riceve la cifra C in prestito, ed alla fine di ogni anno k si pagano gli interessi $(1+i)^k \cdot C/n$. Alla fine dell'anno n -esimo, si restituisce il capitale C ed in tutto si sono versati:

$$R = \frac{C}{n} \cdot \sum_{k=1}^n (1+i)^k = C \cdot r^n \quad (2.21)$$

con r^n fattore di **interesse composto**.

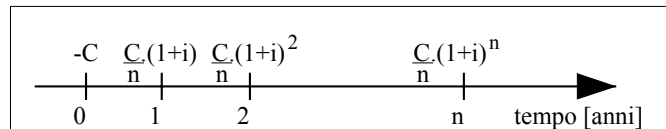


fig. 2.54. Versamenti e costi passivi col metodo dell'interesse composto.

Viceversa, se R è la somma disponibile tra n anni, il suo valore attuale, cioè riportato all'istante $t = 0$, vale C , essendo:

$$C \cdot r^n = R \quad \text{e:} \quad C = \frac{R}{r^n}$$

con: $1/r^n$ fattore di **sconto composto**.

Esempio

Si abbia $R = 10.000\text{€}$ tra 10 anni e se ne voglia determinare il valore attuale al tasso di interesse composto del 10%.

$$C = \frac{10.000}{1,1^{10}} = 3.855\text{€}$$

2.8.1.3. Metodo del Valore Attualizzato di n Pagamenti Posticipati.

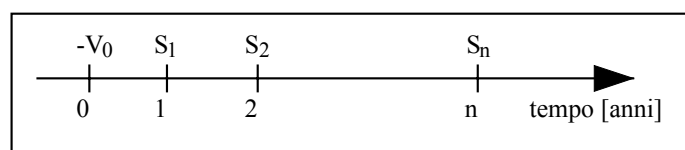


fig. 2.55. Versamenti e costi passivi col metodo del valore attualizzato netto.

Si ottenga un prestito V_0 all'anno 0 . Con questo metodo, i pagamenti sono effettuati al termine di ciascuno degli n anni, al tasso di interesse i . Siano $S_1, S_2, \dots, S_n$ i pagamenti indicati in fig. 2.55 e che si eseguono alla fine di ogni anno. Il valore attualizzato V_0 di tali pagamenti è:

$$V_0 = \frac{S_1}{(1+i)} + \frac{S_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} = \sum_{k=1}^n \frac{S_k}{r^k}$$

e, se i pagamenti sono tutti uguali $S_k = S$, la cifra totale pagata risulta:

2. Lo Studio di Fattibilità

$$V_0 = S \cdot \sum_{k=1}^n \frac{1}{r^k} = \frac{S}{r^n} (r^{n-1} + r^{n-2} \dots + r + 1)$$

Se si pone:

$$M = r^{n-1} + r^{n-2} + \dots + r + 1$$

$$r \cdot M = r^n + r^{n-1} + \dots + r^2 + r \quad (2.22)$$

$$r \cdot M - M = r^n - 1, \quad M = \frac{r^n - 1}{r - 1} \quad \text{e} \quad V_0 = \frac{S}{r^n} \cdot \frac{r^n - 1}{r - 1} = S \cdot v_0$$

il valore di v_0 è tabulato nei manuali di matematica finanziaria in funzione di n ed i . Esso esprime il valore attualizzato monetario dei pagamenti posticipati unitari. Cioè, se oggi si prende a prestito il capitale V_0 e si intende estinguere il debito in n anni con un ammortamento a rate annuali costanti posticipate, l'importo di tale rata annuale vale:

$$S = \frac{V_0}{v_0}$$

Esempio

Si abbia $V_0 = 10.000\text{€}$ capitale a prestito e si intenda estinguere il debito in 10 anni al tasso di interesse del 10%. La rata annuale costante risulta:

$$S = V_0 \cdot r^n \cdot \frac{r - 1}{r^n - 1} = 0,1627 \cdot 10.000 = 1.627\text{€}$$

2.8.2. Ammortamento e suo Significato

Con riferimento al processo produttivo, si hanno beni classificabili nelle seguenti 3 categorie:

- beni che non sono prodotti da alcun ciclo: il lavoro umano, le risorse naturali come il suolo, i giacimenti minerari, ecc.
- beni prodotti da altri processi produttivi, che vengono utilizzati in un solo ciclo di produzione (energia, materie prime, ecc.),
- beni prodotti da altri processi produttivi, che vengono utilizzati per un numero più o meno grande di cicli produttivi (macchine, attrezzature, ecc.). Essi sono detti **beni strumentali** e servono ad accrescere la produttività del lavoro.

L'**ammortamento** è associato alla riproduzione dei **beni strumentali** e ne rappresenta l'aspetto contabile. Concettualmente, esso consiste nell'accantonamento di quote finanziarie destinate a compensare la perdita di valore che il capitale investito (inteso come insieme dei beni strumentali) subisce in un dato periodo di tempo. Le quote di ammortamento dei beni strumentali, una per ogni periodo di esercizio, vanno a costituire il **fondo di ammortamento**, che rappresenta il totale degli ammortamenti effettuati fino ad un istante di tempo determinato. Esso costituisce una disponibilità di bilancio utilizzabile, ad esempio per finanziare nuovi investimenti. In fig. 2.56 consideriamo un piano di ammortamento, in cui:

V_0 è il valore iniziale del bene strumentale,

V_k è il valore residuo all'istante t_k , alla fine del k -esimo periodo di esercizio,

V_r il valore residuo o di recupero, dopo n anni,

- A_j è la quota generica di ammortamento, relativa al periodo j -esimo di esercizio del bene strumentale in questione.
 i l'interesse,
 n la vita prevista del bene strumentale, in anni.

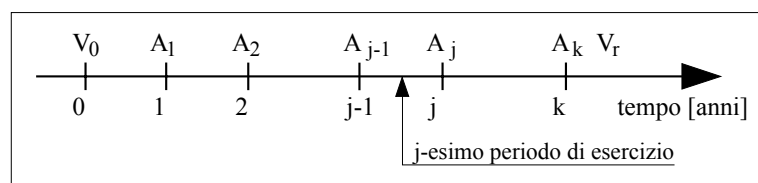


fig. 2.56. Piano di ammortamento.

La sostituzione del bene strumentale è necessaria per una delle seguenti cause:

- invecchiamento **tecnico** od organico. Esso dipende dall'usura fisica dei componenti o direttamente dell'intero bene strumentale, a causa delle azioni meccaniche, termiche o chimiche subite durante l'esercizio. In questo caso, il limite di utilizzazione ne definisce la **vita fisica**,
- invecchiamento **economico** (obsolescenza). Una macchina ancora tecnicamente non vecchia, può esserlo economicamente se risulta superata dal progresso tecnologico. Infatti, nel tempo il progresso tecnologico propone macchine ed impianti più efficienti, capaci di ottenere lo stesso prodotto a costi minori. Il fenomeno dell'obsolescenza è tanto più rapido quanto più veloce è il ritmo con cui avanza il progresso tecnologico nel settore industriale interessato, quindi varia in intensità ed effetti da settore a settore, ed è più marcato nelle tecnologie avanzate. L'obsolescenza è legata all'incessante ricerca di fattori di produzione sempre più efficienti e perfezionati, che consentano un sempre minore ricorso alla manodopera, riducendo l'incidenza della voce *salario*. Il limite di utilizzazione definisce qui la **vita utile**,
- **inadeguatezza**. Se aumenta la domanda del mercato relativa al prodotto e la struttura operativa (macchine ed impianti) non ha più la potenzialità sufficiente, oppure cambiano le caratteristiche del prodotto e la struttura operativa non è più idonea, si dice che si è verificato l'invecchiamento per inadeguatezza. In questo caso, il limite di utilizzazione definisce la **vita possibile**.

2.8.2.1. La Risorsa Flusso di Cassa e gli Ammortamenti

Gli investimenti industriali possono essere visti come la contrapposizione, in tempi diversi, di **esborsi** E_k (uscite, considerate col segno negativo) e **disponibilità finanziarie** D_k (entrate, considerate col segno positivo) liberate progressivamente e destinate alla copertura ed alla remunerazione degli esborsi (iniziali o di espansione), e riferite ad un'ipotetica cassa, associata all'operazione di investimento. Di qui l'espressione di **flussi di cassa**, o cash-flow, come indicato in fig. 2.57, per la quale si possono individuare le seguenti grandezze, relative all'esercizio k -esimo:

$D_k = R_k - C_k$ saldo tra i movimenti effettivi di denaro,

R_k ricavi,

C_k costi, con esclusione della voce *ammortamenti* A (i quali, in quanto accantonamenti, non corrispondono ad un effettivo spostamento di denaro).

2. Lo Studio di Fattibilità

La voce **A** entra indirettamente in C_k , poiché concorre a determinare l'imponibile e quindi le imposte **T**, che sono ovviamente comprese in C_k . Infatti:

$$C_k = C'_k + T$$

$$\bar{R} = R_k - C'_k - A \quad \text{reddito imponibile}$$

in cui **A** comprende per legge solo la quota di ammortamento fiscale q_f e gli eventuali interessi passivi **I** sui mutui finanziari. Al riguardo, in tab. 2.XVIII si è riportato un estratto della legge.

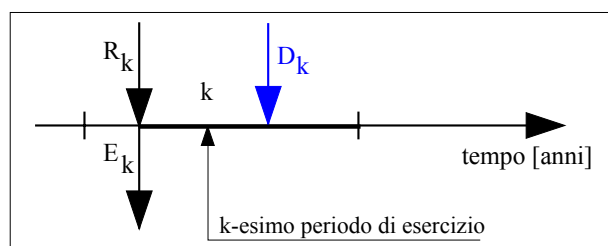


fig. 2.57. Rappresentazione del flusso di cassa nel periodo **k**.

2.8.2.2. L'Ammortamento Contabile.

Tale piano trascura l'interesse, ed il fondo di ammortamento viene costituito secondo la semplice legge seguente:

$$V_0 = V_r + \sum_1^k A_j \quad (2.23)$$

dove: $\sum_1^k A_j$ rappresenta il fondo di ammortamento e V_r il valore residuo del bene all'istante t_k , alla fine del k -esimo periodo di esercizio. Come si vede, l'ammortamento contabile consiste in quote destinate alla semplice ricostruzione monetaria del valore del bene strumentale.

2.8.2.3. L'Ammortamento Economico

Al contrario, per fare il piano di ammortamento *economico* di un bene strumentale è necessario conoscere preliminarmente la durata prevista del bene. Come detto, tutti i beni strumentali hanno una vita limitata e sono destinati ad essere sostituiti ed, a tal fine, il Fondo di Ammortamento predispone a nuovi investimenti. Si supponga ora di far riferimento all'istante finale di vita dell'impianto (esercizio n -esimo, ovvero alla fine della durata di vita dell'impianto pari ad n anni, intesa come la durata più breve tra quelle definite sopra).

Nel caso di ammortamento economico, si tiene conto del fatto che le **quote di ammortamento** vengono rese disponibili ad istanti di tempo diversi. Si indichino con V_r il *valore residuo* dell'impianto alla fine del periodo n -esimo e con B_j le quote di ammortamento comprensive dell'interesse. Se si considera il *fattore di sconto* $1/r^n$, il piano di ammortamento economico è descritto da:

$$V_0 = \frac{B_1}{1+i} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+i)^n} + \frac{V_r}{(1+i)^n} \quad (2.24)$$

da cui, confrontando con la (2.23), segue immediatamente che:

$$\sum B_j > \sum A_j$$

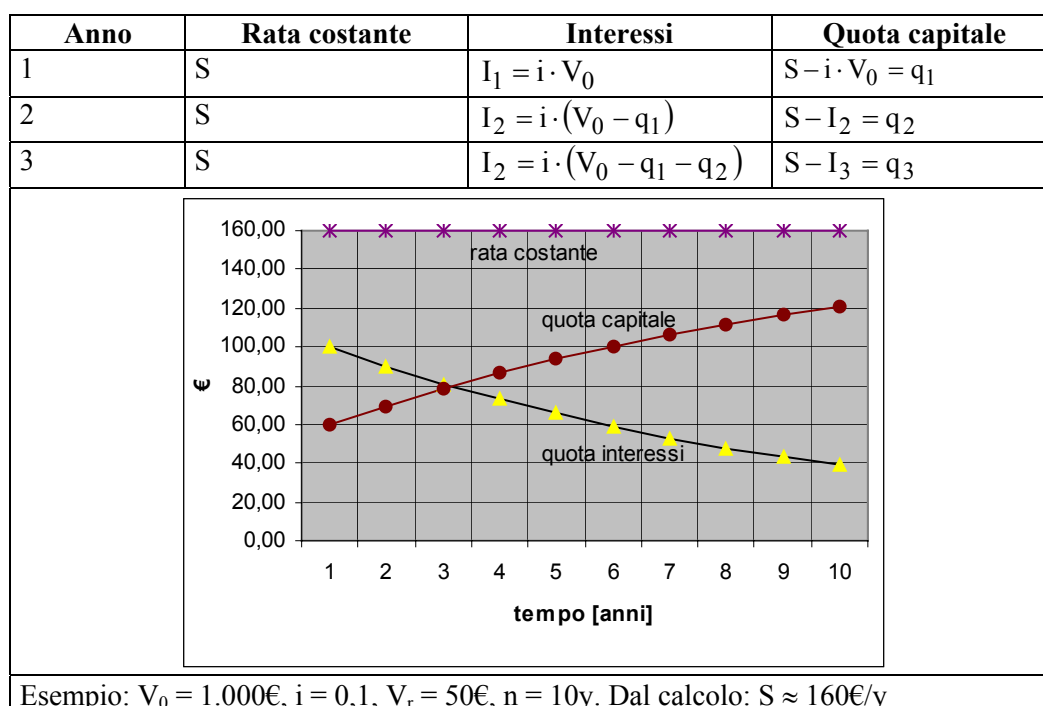
cioè, che le quote di ammortamento comprensive dell'interesse sono maggiori di quelle corrispondenti alla semplice ricostruzione contabile del valore iniziale V_0 .

Il piano di ammortamento economico consiste delle quote comprensive degli interessi della (2.24), e che costituiscono un processo di ripartizione del valore iniziale del bene strumentale su tutti i periodi di esercizio del bene. I piani di ammortamento economico di uso più frequente sono:

- a **rata annuale costante**, detto anche impropriamente *finanziario*, perché usa le espressioni dell'ammortamento finanziario vero e proprio,
- a **quota capitale costante**, detto anche *fiscale*, avente rata annuale decrescente,
- a **percentuale costante del valore residuo**, detto anche *esponenziale*, e che ha rata annuale fortemente decrescente.

Per la determinazione dei piani di ammortamento relativi ad ognuno dei 3 modelli indicati, si supponga che tutte le rate siano posticipate, cioè considerate alla fine di ogni esercizio.

tab. 2.XV. Andamento dell'ammortamento a **rata annuale costante** del valore di un bene strumentale nel tempo.



2.8.2.3.1. Ammortamento a Rata Annuale S Costante.

L'andamento delle quote di capitale versate e degli interessi è riportata in tab. 2.XV.

2.8.2.3.2. Ammortamento a Quota Capitale q Costante

L'andamento delle quote di capitale versate e degli interessi è riportata in tab. 2.XVI. Questo metodo è quello consentito dalla legge ai fini fiscali: le quote annue vengono fissate come percentuale massima rispetto al capitale iniziale e **possono essere detratte dall'imponibile**.

tab. 2.XVI. Andamento dell'ammortamento a **quota annuale costante** del valore di un bene strumentale nel tempo.

Anno	Quota capitale	Interessi	Valore residuo a fine anno
1	q	$I_1 = i \cdot V_0$	$V_0 - \frac{(V_0 - V_r)}{n} = V_1$
2	q	$I_2 = i \cdot V_1$	$V_0 - \frac{2 \cdot (V_0 - V_r)}{n} = V_2$
j	q	$I_j = i \cdot V_{j-1} = i \cdot \left[V_0 - (j-1) \cdot \frac{(V_0 - V_r)}{n} \right]$	$V_0 - \frac{j \cdot (V_0 - V_r)}{n} = V_j$

Esempio: $V_0 = 1.000\text{€}$, $i = 0,1$, $V_r = 50\text{€}$, $n = 10\text{y}$. Dal calcolo la quota è: $q = 95\text{€/y}$

2.8.2.3.3. Ammortamento a Frazione Costante ρ del Valore Residuo.tab. 2.XVII. Andamento dell'ammortamento a **frazione costante del valore residuo**.

Anno	Quota capitale	Interessi	Valore residuo a fine anno
1	$q_1 = \rho \cdot V_0$	$I_1 = i \cdot V_0$	$V_0 - V_0 \cdot \rho = V_1$
2	$q_2 = \rho \cdot V_1 = V_0 \cdot (1 - \rho) \cdot \rho$	$I_2 = i \cdot V_0 (1 - \rho)$	$V_0 \cdot (1 - \rho)^2 = V_2$
j	$q_j = \rho \cdot V_{j-1} = V_0 \cdot (1 - \rho)^{j-1} \cdot \rho$	$I_j = i \cdot V_0 \cdot (1 - \rho)^{j-1}$	$V_0 \cdot (1 - \rho)^j = V_j$
n	$q_n = \rho \cdot V_{n-1} = V_0 \cdot (1 - \rho)^{n-1} \cdot \rho$	$I_n = i \cdot V_0 \cdot (1 - \rho)^{n-1}$	$V_0 \cdot (1 - \rho)^n = V_n = V_r$

Esempio: $V_0 = 1.000\text{€}$, $i = 0,1$, $V_r = 50\text{€}$, $n = 10\text{y}$.

Si indichi con p (<1) tale frazione del valore residuo V_r . È un tipico ammortamento accelerato: è usuale in un ambiente fortemente competitivo, dove si corrono rischi di obsolescenza. In queste circostanze, la dirigenza preferisce accantonare quote maggiori nei primi anni, quelli più vicini alla ricerca di mercato. Infatti, in questo periodo il prodotto è sicuramente più vicino a quanto richiesto dai clienti.

2.8.2.4. L'Ammortamento Finanziario

L'**ammortamento finanziario** consiste in un piano per la graduale estinzione (e pagamento degli interessi) di un debito (o mutuo) contratto per l'acquisto di beni strumentali, oppure per finanziare un qualunque investimento, anche non produttivo. In questo caso, *il tempo di ammortamento viene fissato dal creditore*, quindi non coincide necessariamente con la vita prevista dell'eventuale bene strumentale.

L'ammortamento economico di un bene strumentale e l'ammortamento finanziario di un debito, anche se la somma è utilizzata per l'acquisto di un bene strumentale, non hanno diretta attinenza e non devono essere confusi, perché la durata dell'ammortamento è pari:

- alla vita prevista del bene strumentale, nel caso di ammortamento economico,
- è stabilita dal creditore, nel caso di ammortamento finanziario.

L'ammortamento va computato tra i costi fissi di esercizio, quello economico non comporta esborsi finanziari reali, mentre quello finanziario dà luogo a flussi di denaro reali in uscita, per ogni periodo di esercizio.

2.8.2.5. L'Ammortamento Fiscale (D.M. Finanze 29/10/1974).

Come si vede dall'esempio seguente, agli effetti del calcolo del reddito imponibile, *non si possono detrarre gli esborsi per investimenti, né le quote di ammortamento per l'estinzione di un eventuale mutuo contratto per finanziare l'investimenti*. Invece, si possono detrarre le quote di ammortamento fiscale q_f e gli interessi passivi I .

In generale, il flusso di cassa F_k , relativo all'esercizio k -esimo è dato da:

$$F_k = D_k - E_k = R_k - C_k = R_k - (C_k + E_k) \quad (2.25)$$

dove in C_k sono comprese le imposte, come visto in §2.8.2.1.

Esempio

Si abbia un'Impresa che, nell'anno k -esimo, presenta le seguenti voci finanziarie:

marginale lordo (disponibilità)	$D'_k = R_k - C'_k = 900.000\text{€}$
ammortamenti	$A = I + q_f = 510.000\text{€}$
reddito imponibile	$\bar{R} = R_k - C'_k - A = 390.000\text{€}$
imposta totale ($p = 40\%$)	$T = p \cdot \bar{R} = 156.000\text{€}$
si determina il <i>marginale netto</i>	$D_k = R_k - C'_k - T = 740.000\text{€}$

Ammortamento dei beni materiali. Con riferimento alle *immobilizzazioni materiali*, le quote di ammortamento ammesse fiscalmente variano secondo il cespite considerato e l'attività dell'azienda. Come mostrato in tab. 2.XVIII, le aliquote di ammortamento sono fissate nella misura attuale dal D.M. del 29/10/1974 e sono *da intendersi come*

2. Lo Studio di Fattibilità

massime, per tipo di bene patrimoniale e di settore di attività. Tali *coefficienti* vengono denominati *ordinari* e predeterminano un limite superiore, con libertà (peraltro limitata) di adottare valori inferiori.

Più precisamente, il calcolo delle quote di ammortamento fiscalmente deducibili è regolato e disciplinato in modo analitico ed articolato dalla normativa tributaria.

Deducibilità delle quote di ammortamento. Essa è ammessa solo per i beni mobili ed immobili utilizzati quali *beni strumentali per l'esercizio dell'attività dell'impresa* e **rimane invece esclusa** per tutte le altre immobilizzazioni non strumentali, anche quelle ammortizzabili civilisticamente (es. fabbricati civili). *Sono quindi soggetti alla procedura d'ammortamento i costi riferiti ai "beni che cedono la loro utilità al processo produttivo in più esercizi"*. Questo in genere non si verifica per i terreni, perché il loro valore rimane sempre integro e suscettibile di infinite riconversioni di utilizzo, (eccezion fatta per le cave).

Determinazione del valore da ammortizzare. Il valore di ciascun bene ammortizzabile comprende il costo d'acquisto, di apporto, di conferimento, di costruzione in economia, al quale vanno aggiunti gli *oneri di diretta imputazione* (oneri di trasporto, dazi doganali, montaggio e collaudo, ecc.).

Nel caso di acquisto di beni immobili strumentali, vanno ad incrementare il valore ammortizzabile del cespite anche l'imposta di registro, le imposte ipotecarie e catastali, la parcella del notaio per la redazione dell'atto di acquisto e gli eventuali oneri di urbanizzazione da corrispondere agli enti locali.

Vengono *esclusi* dalla capitalizzazione *gli interessi passivi e le spese generali*, mentre eventuali contributi erogati dallo Stato o da altri enti pubblici a fondo perduto non si considerano nel calcolo degli ammortamenti.

Gli eventuali interessi passivi che derivano da prestiti contratti specificatamente per l'acquisizione o la costruzione di beni strumentali materiali vengono compresi nella base ammortizzabile se dal bilancio risultano imputati ad aumento del costo dei beni stessi e se sono stati sostenuti prima della loro entrata in funzione.

Inoltre, *il costo da ammortizzare non comprende alcuna deduzione per il previsto valore di recupero finale all'atto della dismissione del cespite.*

tab. 2.XVIII. Estratto dal D.M. delle Finanze 29/10/74 "Approvazione della tabella dei coefficienti di ammortamento dei beni strumentali impiegati nell'esercizio di attività commerciali, arti e professioni" e relativa ad alcuni tipi di industrie manifatturiere, metallurgiche e meccaniche.

Coefficienti di ammortamento	Settori di industria ¹					
	A	B	C	D	E	F
Fabbricati destinati all'industria ²	5	5	3	3	3	3
Costr. leggere: tettoie, baracche, ecc.	10	10	10	10	10	10
Impianti generici ³ e specifici	10	10	10	10	10	
Grandi impianti specifici e macchine operatrici automatiche	17.5	17.5	15.5	17.5		15.5
Forni e loro pertinenze	12.5	12.5	10	12.5	12.5	
Attrezzatura varia e minuta ⁴	25	40	25	25	25	35
Mobili e macchine ordinarie d'ufficio	12	12	12	12	12	12
Macchine d'ufficio elettriche ed elettroniche	18	18	18	18	18	18
Automezzi	20	20	20	20	20	20

- ¹. Le cifre riportate in tabella rappresentano la percentuale del valore all'acquisto del bene. Ne consegue che il reciproco è il numero minimo di rate costanti di ammortamento finanziario consentito dalla legge. Es. con coefficiente pari a 5, $100/5=20$ rate, cioè la quota di ammortamento viene detassata per 20 anni. Si osservi, infatti, che i beni meno durevoli hanno i coefficienti più elevati, quindi più alte rate di ammortamento e maggiore detassazione.
A) Siderurgia in genere, B) Fonderie di seconda fusione, C) Fabbriche di macchine industriali ed agricole ed utensileria per macchine utensili, costruzione di pompe, compressori, ventilatori, ecc, D) Costruzione di autoveicoli, autotelai, motoveicoli, materiale rotabile ferroviario e filoviario, E) Costruzione di carrozzerie per auto, per motoveicoli e per vetture ferroviarie e filoviarie, costruzione di rimorchi e fabbricazione di parti ed accessori, F) Officine per fucinatura, stampaggio, imbutitura, saldatura (elettrica, alluminotermica ed ossiacetilenica), tagli (con fiamma ossidrica ed ossiacetilenica, laser), tempera, cementazione e trattamenti superficiali ed elettrolitici dei metalli.
- ². Edifici, opere idrauliche fisse, strade e piazzali, acquedotti e fognature.
- ³. Impianti di produzione, presa e distribuzione dell'energia, officine di manutenzione, raccordi e materiale rotabile, centrale di conversione, parco motori e pompe, ecc. impianti di trasporto interno, carico, scarico, sollevamento e pesatura.
- ⁴. Stampi, modelli, attrezzi e laboratori.

Inizio della procedura di ammortamento. L'Art. 67, primo comma, T.U. indica che le quote di ammortamento dei beni materiali strumentali sono deducibili fiscalmente a *partire dall'esercizio in cui il bene è entrato in funzione*, cioè è stato effettivamente utilizzato, anche se il cespite è entrato in funzione verso la fine dell'esercizio.

Fino a quando il bene strumentale, mobile o immobile, non entra attivamente nel processo produttivo-distributivo, *il costo delle quote è indeducibile*.

A conferma di quanto detto sopra, ne deriva l'assoluta indeducibilità delle quote di ammortamento di impianti non ancora completati o completi ma non ancora attivati, con l'esclusione degli impianti di riserva o di scorta per i quali è ammessa, invece, la deducibilità delle quote di ammortamento.

Per le imprese di nuova costituzione l'ammortamento dei beni strumentali deve iniziare nel primo esercizio in cui avviene l'utilizzo, anche se non sono stati conseguiti utili.

Il coefficiente di ammortamento del primo esercizio. L'Art. 67, secondo comma, T.U. prescrive che per il primo esercizio di entrata in funzione del bene, le quote di ammortamento sono *ridotte alla metà della quota ordinaria massima stabilita dalla tabella ministeriale per la specifica attività*.

Per esempio se l'ammortamento ordinario della categoria "Automezzi" riferito ad un'industria edilizia è pari al 20% (dalla tabella ministeriale, Gruppo XVI), per il primo esercizio di utilizzo dell'automezzo tale misura ordinaria viene ridotta al 10%.

Calcolo delle quote di ammortamento. L'Art. 67, secondo comma, T.U. specifica che *il calcolo delle quote di ammortamento deve avvenire in misura non superiore a quella risultante dall'applicazione dei coefficienti delle tabelle approvate* col D.M. delle Finanze. Perciò, viene lasciata all'imprenditore la facoltà di calcolare l'ammortamento in una misura annua compresa tra un limite minimo e un limite massimo che è dato dai coefficienti stessi, la quale misura può peraltro variare di anno in anno, in conseguenza della Legge Finanziaria approvata.

I coefficienti sono stabiliti per categorie di beni omogenei considerando il normale deperimento e consumo del settore merceologico dell'azienda, come riportato in tab. 2.XIX.

Tipi di ammortamento fiscale. All'ammortamento ordinario è possibile associare altri tipi fiscali che rendono più flessibile, modulata e articolata la determinazione delle quote deducibili, in ciascun esercizio. Con ciò le norme fiscali tendono a far corri-

2. Lo Studio di Fattibilità

spondere la determinazione delle quote annue di ammortamento alla misura dell'effettivo deperimento dei beni ammortizzabili.

Il valore ordinario della quota può esser modificato con: l'ammortamento intensivo o accelerato; anticipato; ridotto e insufficiente; immediato e a mannaia, ecc. che in parte sono stati esposti sopra.

In genere, è essenziale tenere nettamente separati i vari beni ammortizzabili sia per settori (produttivo, amministrativo, tecnico-progettistico), sia per categoria, e con una scheda per ogni cespite. Ad esempio, si possono classificare gli ammortamenti seguendo le voci seguenti:

- capannoni ed opifici, impianti, macchinari, attrezzature, robot e asservimenti, veicoli e mezzi di trasporto interni, mobili, automezzi, ecc.;
- immobili degli uffici amministrativi, mobili, PC, fotocopiatrici, ecc.;
- immobili degli uffici tecnici, mobili, PC, grafici, tecnigrafi, ecc.

e per cespiti, ad esempio *pressa n.1*, *pressa n.2*, *tornio n.1*, ecc. Gli esempi sono per aziende metalmeccaniche, ma è ovvio che il criterio vale per ogni tipo di azienda.

2.8.3. Criteri di Valutazione della Redditività degli Investimenti.

Spesso, l'uso delle tecniche di definizione del capitale da investire si basa sulla scelta di ratei di interesse di riferimento troppo alti, tali da non giustificare l'investimento. I problemi causati dalla scelta di ratei di interesse troppo bassi è ben noto, mentre non sono altrettanto chiari i problemi causati dal risultato opposto. Un rateo di interesse troppo alto può portare a scoraggiare l'investimento e, quindi, a perdere posizioni competitive importanti, perché presuppone risultati dell'investimento troppo pessimistici. Esso può derivare da un'insufficiente conoscenza sia dei costi reali futuri del capitale da parte dell'organizzazione, sia del rateo di ritorno dell'investimento reale che l'organizzazione può ragionevolmente avere da investimenti alternativi. Per conoscere l'effetto della scelta del rateo di interesse, di seguito saranno esposti alcuni metodi di analisi, relativi a piani di ammortamento diversi. In questo modo, si conosceranno meglio le implicazioni finanziarie degli ammortamenti e, più in generale, si saprà valutare correttamente la redditività degli investimenti.

Esempio

I costruttori di macchine utensili e di utensili spingono i propri clienti ad acquistare i modelli più nuovi della loro produzione, ma spesso i reparti di produzione costruiscono il prodotto con attrezzature vecchie.

La Ingersoll-Milling-Machine Co di Rockford, Illinois non si comporta così, anzi ogni reparto produttivo deve giustificare per iscritto la decisione di tenere in attività ogni macchina che abbia più di 7 anni. La ragione generalmente accettata di non sostituire le macchine è solamente quella che le nuove macchine non garantiscono un significativo miglioramento di prestazioni dei vecchi modelli. La conseguenza della politica adottata è che l'età media delle macchine della Ingersoll è di 6 anni.

In generale, nell'industria di fabbricazione degli utensili, il 76% delle macchine ha più di 10 anni di vita ed il 40% più di 20.

In §2.7.5, sono stati definiti i costi di impianto **CI** e quelli di esercizio **CE**, che, si ricorda, coincidono col costo di produzione **C**, a meno dei costi di inefficienza. Nel costo di esercizio è compresa una voce dei costi fissi, corrispondente alla rata di ammortamento relativa al costo di investimento per i beni strumentali necessari alla produzione. È per questo che sono state esaminate le varie alternative di piani di ammortamento, ed esse consentono la determinazione della rata di ammortamento relativa al periodo di esercizio in esame. Infatti, solamente dopo aver determinato l'andamento dei costi di esercizio è possibile determinare il volume di produzione ottimale, calcolato, ad esempio secondo la tecnica di §2.7.6.

Come detto in §2.8.2, gli investimenti industriali possono essere suddivisi in 3 categorie:

1. investimenti di **sostituzione**, relativamente ai beni strumentali usurati con altri nuovi identici, fronteggiando così l'*invecchiamento tecnico*,
2. investimenti di **produttività**, che consistono nell'acquisizione di beni strumentali di nuovo tipo, di maggiore qualità e di maggiore produttività, per far fronte all'invecchiamento per *obsolescenza* e diminuire i costi variabili,
3. investimenti **iniziali** o di espansione, che si affrontano tramite la creazione o l'aggiunta di *capacità produttiva*, per adeguarla alla nuova domanda. In questo caso, il costo medio non necessariamente cala, invece viene migliorata l'adeguatezza degli impianti.

Perciò, per l'ingegnere impiantista è necessario affrontare il problema della scelta tra investimenti alternativi, individuando cifre di merito per ogni progetto di investimento, che devono essere significative della preferibilità di un progetto rispetto agli altri, soprattutto tenendo conto delle seguenti 2 variabili:

- **quanto** risulta remunerabile il capitale investito,
- la **legge temporale** di ritorno dell'investimento.

In generale, i flussi di cassa sono attualizzati, ed il valore attuale della loro somma è:

$$W_0 = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} = \sum_0^n \frac{F_k}{(1+i)^k} \quad (2.26)$$

Perciò, per giudicare la redditività dell'investimento, si può far riferimento al valore attuale **W₀** dei flussi di cassa dati dalla (2.26), attraverso uno o più dei metodi esposti di seguito.

2.8.3.1.1. **Il Metodo del Valore Totale Attualizzato dei Flussi di Cassa**

Tale metodo ha la notazione inglese Net Present Value NPV – Discounted Cash Flow DCF.

Se si ragiona nell'ipotesi di aver finanziato l'investimento con un mutuo al tasso di interesse **i**, tenendo conto della (2.25), la (2.26) indica che i ricavi **R_k** progressivamente conseguiti permetteranno in **n** anni di rimborsare i costi, i capitali, gli interessi e di costituire l'importo **W₀**. Se **W₀ > 0**, l'operazione di investimento darà una certa utilità economica. Invece, se **W₀ = 0**, l'operazione di investimento servirà unicamente a restituire in **n** anni il capitale e gli interessi.

Supponiamo di dover decidere se fare o non fare l'investimento. La risposta sarà positiva se **W₀** risulterà maggiore di un valore di riferimento $\overline{W}_0$ scelto dal finanziatore.

Quindi, si tratta sempre di scegliere tra due investimenti, **A** e **B** e la scelta cadrà sull'operazione che dà l'importo maggiore di W_0 .

Esempio

Si consideri l'investimento di $6 \cdot 10^6 \text{€}$, il cui piano di ammortamento in 10 anni corrisponda alla fig. 2.58 ed alla tab. 2.XIX. Il tasso di interesse assunto è il 14%. Il tempo $-\tau_0$ rappresenta l'istante in cui viene presa la decisione di costruire l'impianto, il tempo 0 è l'istante di avviamento dell'impianto, mentre nel periodo n-esimo si immagina di realizzare il valore residuo V_r dell'impianto stesso.

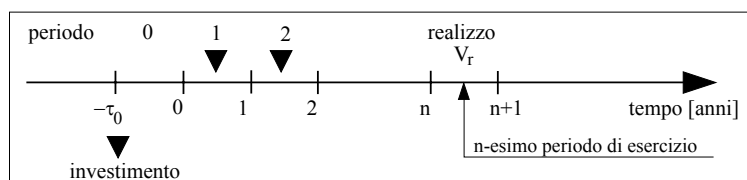


fig. 2.58. Piano di restituzione di un investimento fatto al tempo τ_0 .

tab. 2.XIX. Esempio di piano dei flussi di cassa netti ed attualizzati nella vita dell'impianto.

k	uscite	Entrate	Flusso netto	$\frac{1}{(1+i)^k}$	$\frac{F_k}{(1+i)^k}$	$\sum_0^k \frac{F_j}{(1+i)^j}$
	$C_k = C'_k + E_k + T$	R_k	$F_k = R_k - C_k$	$i = 14\%$		
0	6.000.000		-6.000.000	1.000	-6.000.000	-6.000.000
1	4.000.000	3.000.000	-1.000.000	0.877	-877.000	-6.877.000
2	3.700.000	6.000.000	2.300.000	0.769	1.679.000	-5.107.000
3	4.500.000	7.000.000	2.500.000	0.675	1.688.000	-3.420.000
4	4.600.000	7.800.000	3.200.000	0.592	1.894.000	-1.525.000
5	4.700.000	7.800.000	3.100.000	0.519	1.608.000	85.000
6	4.800.000	7.800.000	3.000.000	0.456	1.368.000	1.451.000
7	5.000.000	7.800.000	2.800.000	0.400	1.120.000	2.570.000
8	5.200.000	7.600.000	2.400.000	0.351	842.000	3.412.000
9	5.500.000	7.000.000	1.500.000	0.308	462.000	3.873.000
10	5.500.000	6.000.000	500.000	0.270	135.000	4.008.000
11	200.000	1.000.000	800.000	0.237	190.000	4.197.000

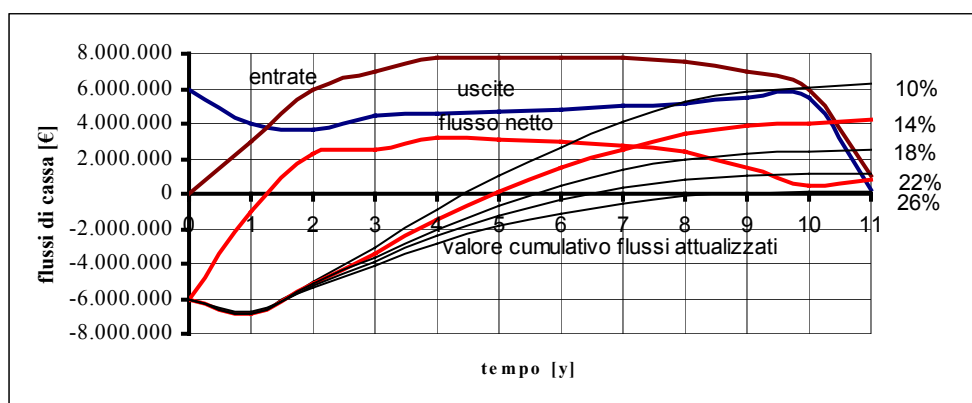


fig. 2.59. Andamento dei flussi di cassa nel piano di investimento dell'esempio.

In tab. 2.XIX si rileva un calo delle entrate R_k negli ultimi anni di vita utile dell'impianto, che è dovuto alla crescente indisponibilità (guasti) delle macchine ed al progressivo diminuire del prezzo di vendita del prodotto, a causa della concorrenza da parte di impianti tecnologicamente più evoluti. Il flusso di cassa F_k ha un andamento prima crescente e poi decrescente, e raggiunge il minimo positivo nell'anno n , in accordo col fatto che si è raggiunta la fine della vita utile di 10 anni. Infine, gli andamenti dei flussi di cassa rappresentati in fig. 2.59, mostrano che il valore di W_0 cala all'aumentare del tasso di interesse i .

2.8.3.1.2. Il Metodo del Tasso di Redditività Interno Attualizzato

Tale metodo ha la notazione inglese: Discounted Cash Flow Rate of Return, DCFRR.

Il tasso di redditività interno attualizzato è quel valore massimo i_0 del tasso di interesse i , al quale è ancora possibile ripagare i finanziamenti nel numero di anni n di vita prevista, senza utili né perdite. In pratica, è quel valore di i per il quale W_0 è nullo. In fig. 2.59, si è visto che esso è leggermente superiore al tasso del 26%.

Se si vuol conoscere esattamente il valore di i_0 , si può procedere graficamente, mettendo la variabile W_0 in funzione del tasso di interesse i e trovando graficamente l'intercetta. Nel caso in oggetto, poiché W_0 è ancora positivo per $i = 26\%$, bisogna estendere l'analisi di tab. 2.XIX ad un tasso di interesse superiore. Così si trova che i_0 è pari al 26.6%, ma normalmente non sono richieste precisioni così elevate dei risultati.

Utilizzando questo metodo, si possono mettere a confronto diversi piani di investimento e, a parità di flusso di cassa cumulado attualizzato, scegliere l'investimento che presenta il piano con i_0 maggiore.

2.8.3.1.3. Il Metodo del Tempo Attualizzato di Rientro del Capitale

Tale metodo ha la notazione inglese: Pay-Back Period.

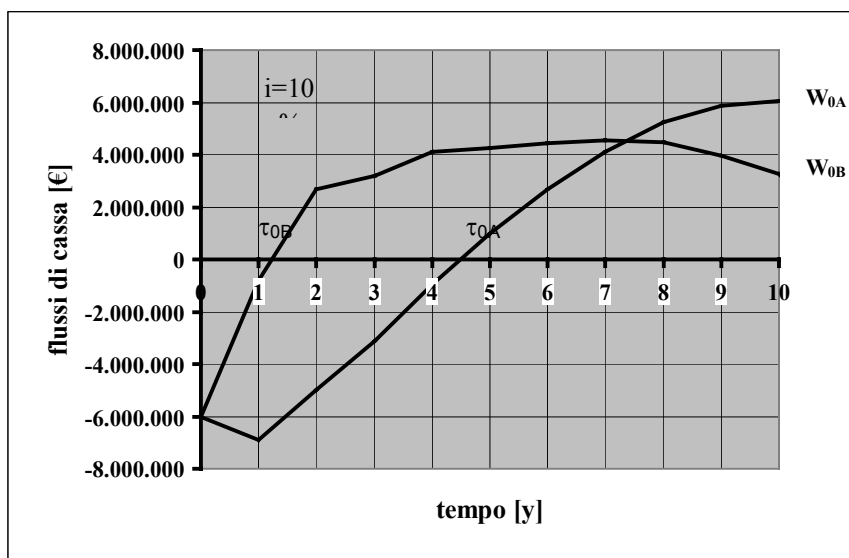


fig. 2.60. Confronto tra due piani di investimento col metodo del pay-back.

Si è visto in fig. 2.59 che esiste un valore del tempo τ , minore della vita utile dell'impianto, al quale W_0 è nullo. Tale istante rappresenta il **tempo di pay-back**, il quale, dalla fig. 2.59, è pari all'intercetta dei flussi di cassa attualizzati con l'asse del tempo. Da tale esempio, si possono ricavare i valori della tabellina seguente.

i	0.10	0.14	0.18	0.22	0.26
τ_0 [anni]	4.4	4.9	5.7	6.4	8.5

Il parametro τ_0 non è un vero indice della redditività dell'investimento, quanto piuttosto della rapidità con cui il capitale viene recuperato. In questo senso, a parità di vita utile n , è meno rischioso un investimento che presenta un tempo di pay-back minore.

Tuttavia, si possono presentare situazioni nelle quali gli indici di redditività dell'investimento sono contraddittori. Ad esempio, i due casi di fig. 2.60 si distinguono per un diverso tempo di pay-back (il caso **A** presenta un valore di τ_0 maggiore), ed un diverso valore cumulato W_0 (ma ancora quello del caso **A** è il più elevato). Se ne conclude che il metodo del pay-back non può avere un valore primario nella scelta, ma solamente complementare. In fig. 2.60 si osserva come la variante **A**, alla luce dei metodi precedenti, è economicamente privilegiata, tuttavia $\tau_{0A} > \tau_{0B}$. In pratica, per correre il minimo rischio finanziario, solamente a pari redditività W_0 il metodo del pay-back può essere preso in considerazione.

2.8.4. Il Valore Economico di un'Attrezzatura Industriale

Se si riprende l'esempio di §2.5.3.1.3 (relativo all'evoluzione dell'impianto di produzione in linea, mediante il calcolo del numero di macchine ottimale per il bilanciamento), si ricorda che in (2.7) e (2.9) si è definito il tasso di utilizzazione della macchina e medio della linea come:

$$u_i = \frac{n_i'}{n_i} = \frac{q_i \cdot t_i}{60 \cdot n_i} \quad \text{ed} \quad U = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{q_i \cdot t_i}{60 \cdot n_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i}} = \frac{q \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{60 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i}}$$

(n_i' essendo il risultato del calcolo esatto per avere la saturazione, quindi un numero reale, ed n_i il suo valore effettivo arrotondato all'intero; t_i è il tempo del ciclo della macchina).

La fig. 2.36 di §2.5.3.1.2 può essere trasformata nella fig. 2.61, dove è riportato l'andamento del **tasso di utilizzazione medio del capitale investito** U_c , utile per distinguere le macchine (e le stazioni) dal punto di vista dell'investimento richiesto. Infatti, per pesare i rispettivi tassi di utilizzazione in funzione del capitale investito C_i (inteso come valore economico), si può scrivere:

$$U_c = \frac{\sum_{i=1}^N C_i \cdot u_i}{\sum_{i=1}^N C_i} \quad (2.27)$$

Osservando la tab. 2.XX, le diverse macchine richiedono investimenti tra loro molto diversi, quindi è ragionevole pesare i tassi di utilizzazione in base al loro costo. Il tasso di utilizzazione medio del capitale investito U_c espresso in (2.27) è il valor medio dei

tassi di utilizzazione u_i delle N stazioni operative della linea, assumendo come pesi i valori economici C_i delle stazioni stesse.

tab. 2.XX. Caratteristiche economiche ed operative di alcune macchine da produzione.

stazione operativa	tipo di apparecchiatura	Valore economico €	tempo del ciclo t_i [min]	potenzialità alla saturazione [wp/h]
1	Tornio automatico	35.000	1.02	59
2	Rettificatrice esterni	32.000	0.45	133
3	Trapano	3.000	0.4	150
4	Rettificatrice senza centri (sgrossatura)	21.000	0.923	65
5	Pulitrice	1.350	0.923	65
6	Rettificatrice senza centri (finitura)	32.000	1.5	40
7	Pulitrice	1.350	0.75	80

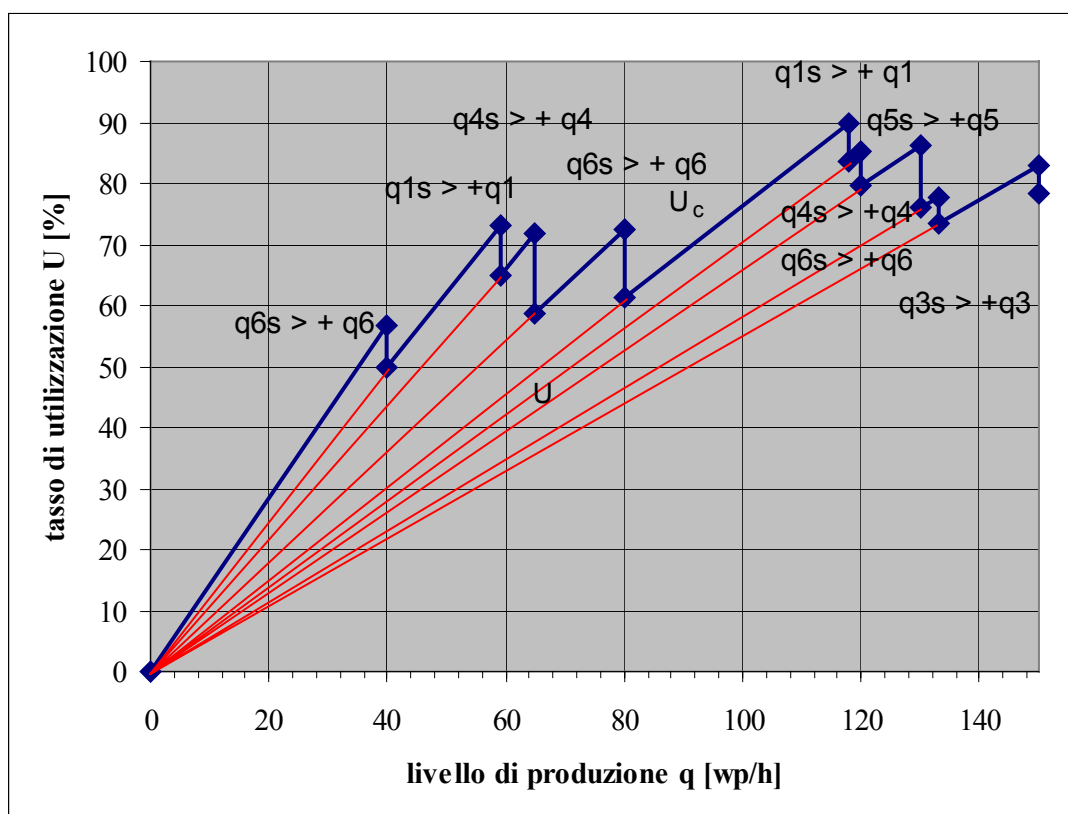


fig. 2.61. Curva Caratteristica del Prodotto

Il **valore economico di una macchina o stazione industriale** è inteso come la somma dei valori attualizzati dei margini che esso è in grado di rendere nella vita residua utile probabile. Bisogna anche ricordare che per molti beni strumentali non esiste un valore di mercato, perché la possibilità di vendita di macchine da produzione (costruite con una personalizzazione spinta) è molto bassa. Invece, il loro valore deriva proprio dalla loro capacità di eseguire un servizio produttivo in modo economicamente conveniente.

Le due spezzate di fig. 2.61 differiscono di poco ed il loro andamento si presta ad alcune considerazioni. Ad esempio, se la linea di cui la tab. 2.XX dispone di una sola rettificatrice alla stazione **6**, la linea non può superare il tasso di utilizzazione medio del capitale U_c del 65%. Tuttavia, con 3 macchine di questo tipo U_c sale a circa il 95%, quando il livello di produzione è appena sotto i 120wp/h.

2.8.4.1. Costo dei Beni Strumentali

Sempre nel caso di produzione in linea, si definisce **costo tecnico del servizio reso CTSR** il costo annuo che si deve sostenere per far funzionare un'attrezzatura produttiva, ed è costituito dalle seguenti voci:

- spese per materie prime e materiali ausiliari,
- spese per l'energia,
- spese per i materiali di manutenzione,
- spese lorde per il personale di manutenzione,
- spese lorde per il personale operativo,
- perdite di materiali per sfridi e scarti,
- perdite per inattività durante gli interventi di manutenzione.

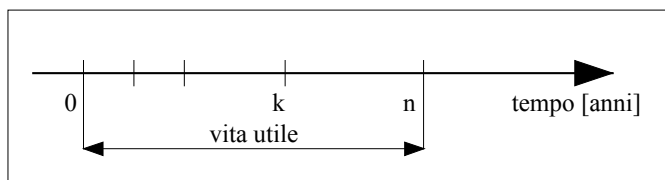


fig. 2.62. Calcolo del costo totale annuo equivalente CTAE.

Il **costo totale annuo equivalente CTAE** è il costo medio annuo di riferimento da attribuire ad una attrezzatura tecnologicamente aggiornata. Con riferimento alla fig. 2.62, esso è dato da:

$$CTAE = \left(C + \sum_{k=1}^n CTSR_k \cdot \frac{1}{r^k} - V_R \cdot \frac{1}{r^n} \right) \cdot s \quad (2.28)$$

dove:

C è il costo a nuovo dell'attrezzatura, e ricordando che:

V_R è il valore residuo,

$r = (1+i)$ è il fattore di interesse,

n è la durata di vita utile, in anni,

$S = s \cdot C$ essendo: $s = \frac{r^n \cdot i}{r^n - 1}$

Come si vede in (2.28), per determinare **CTAE** è necessario conoscere il costo C dell'attrezzatura nuova, la stima della vita utile n , la stima dell'andamento dei costi tecnici **CTSR** ed infine il valore residuo V_R .

Come detto, spesso il valore residuo V_R può essere trascurato. Invece, il valore del bene strumentale è dato dalla sua capacità di fornire economicamente un servizio produttivo ad un costo **CTSR** competitivo. Perciò, si può assumere come valore economico di un bene strumentale la somma V dei valori attualizzati dei **margini** che esso è in grado di fornire nella residua vita utile probabile:

$$V = \sum_1^n CTA E_k \cdot \frac{1}{r^k} - \sum_1^n CTS R_k \cdot \frac{1}{r^k} + V_r \cdot \frac{1}{r^n} \quad (2.29)$$

dove i è il tasso di redditività aziendale derivante dall'uso dell'attrezzatura, che tiene conto del rendimento atteso per il capitale investito in essa.

Quindi, conoscendo l'attuale tasso di utilizzazione delle attrezzature, ad esempio per la presente produzione intermittente, e disponendo della curva caratteristica del prodotto, con la tecnica esposta è possibile prevedere quale sia il livello di domanda del mercato (e, quindi, del livello di produzione q), al quale è giustificato l'investimento in una nuova attrezzatura di costo C .

2.8.4.2. Costo della Manodopera, dei Materiali e dello Spazio Utilizzato

Nel caso di produzione Job-Shop, gli operatori raramente si scambiano tra le attrezzature di produzione, in quanto si considerano gli operatori responsabili della propria macchina e delle operazioni di attrezzaggio.

Invece, nel caso di produzione in linea, gli operatori sono addestrati a compiere più operazioni diverse, in modo che sia possibile la loro rotazione tra diverse stazioni. In questo modo, essendo normalmente le operazioni assegnate interdipendenti, è possibile introdurre incentivi di gruppo che favoriscano gli sforzi combinati. Questi fatti, uniti all'assenza dei tempi di attrezzaggio, portano di solito ad un sensibile aumento della produttività della manodopera diretta, quando si passa ad una produzione in linea. Si riducono anche la necessità di personale non diretto, poiché i trasporti da una macchina all'altra avvengono mediante meccanizzazione e non richiedono l'intervento di personale.

Dal punto di vista dei materiali, la produzione in linea tende ad essere favorita, poiché non si verificano le nonconformità che conseguono inevitabilmente ad ogni riavviamento, dopo un cambio di produzione.

Con la produzione in linea, il coefficiente di utilizzazione delle macchine risulta più elevato, ed il numero di macchine risulta, a parità di volume di produzione, minore, quindi anche lo spazio occupato risulta limitato.

Nei casi reali, l'alternativa non è mai tra produzione totalmente in linea e totalmente Job-Shop, ma si adottano compromessi:

- certe produzioni (fonderia, verniciatura, ecc.) non sono mai inserite in linea per ragioni di sicurezza igienica (polveri, gas dannosi, ecc.), ma anche operativa, essendo queste operazioni esposte all'influenza di una grandissima quantità di fattori ambientali e di qualità delle materie prime utilizzate,
- se U_c è molto basso, a causa di una o più macchine costose e poco utilizzate, si preferisce realizzare una linea ad hoc parziale, che lasci fuori linea queste macchine, che rimangono nei gruppi funzionali,
- se diversi prodotti non presentano singolarmente convenienza di produzione in linea, ma hanno alcune fasi di lavorazione comuni, può convenire una linea parziale per l'esecuzione di tali fasi.

❖ INDICE

1.	<u>IL CONTESTO PRODUTTIVO.</u>	1-3
1.1.	IL SISTEMA PRODUTTIVO.....	1-6
1.1.1.	Il Prodotto	1-6
1.1.2.	Il Mercato.....	1-7
1.1.3.	I Parametri Strategici della Produzione	1-9
1.1.4.	L'Evoluzione delle Strategie Produttive.....	1-11
1.1.5.	I Passi verso l'Efficienza Operativa.....	1-13
1.1.5.1.	1° livello.	1-13
1.1.5.2.	2° livello.	1-13
1.1.5.3.	3° livello.	1-14
1.1.5.4.	4° livello.	1-14
1.1.6.	Il Ruolo dell'Ingegnere Impiantista.....	1-15
1.2.	CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI.....	1-18
1.2.1.	Tipologie di Produzione.....	1-20
1.2.2.	Impianti per la Produzione.....	1-21
1.2.2.1.	La Classificazione per Tipo di Flusso.	1-22
1.2.2.1.1.	Processo in Linea.	1-23
1.2.2.1.2.	Processo a Flusso Intermittente.....	1-24
1.2.2.1.3.	Processo a Flusso su Progetto.	1-26
1.2.2.2.	La Classificazione per Tipo di Ordinativo.	1-29
1.2.2.2.1.	Processo Make-to-Order.	1-29
1.2.2.2.2.	Processo Make-to-Stock.....	1-30
1.2.2.2.3.	Confronto tra Make-to-Order e Make-to-Stock.....	1-32
1.2.3.	Impianti di Servizio.	1-32
1.3.	PROBLEMI FONDAMENTALI DI TUTTI GLI IMPIANTI	1-35
1.3.1.	Il Principio Economico	1-35
1.3.2.	Il Principio del Traffico	1-37
2.	<u>LO STUDIO DI FATTIBILITÀ</u>	2.1
2.1.	L'ANALISI DEL MERCATO.....	2.3
2.2.	LO STUDIO DEL PRODOTTO.....	2.6
2.2.1.	Ricerca, Sviluppo ed Ingegnerizzazione.....	2.8
2.2.2.	Verifica della Fattibilità del Prodotto.	2.13
2.2.3.	Progetto Funzionale del Prodotto.	2.14
2.2.4.	Progetto della Forma del Prodotto e dell'Imballaggio.....	2.16
2.2.5.	Il Ciclo di Vita del Prodotto.....	2.17
2.3.	LO STUDIO DEL PROCESSO PRODUTTIVO.....	2.21
2.3.1.	Gamma di Prodotti.....	2.24
2.3.2.	Strategie di Introduzione del Nuovo Prodotto.	2.29
2.3.3.	La Scelta della Tecnologia.....	2.31
2.3.4.	La Tecnologia e la Dirigenza.....	2.34
2.4.	L'ANALISI DEL FLUSSO DEL PROCESSO.....	2.35
2.4.1.	Il Processo di Trasformazione come Sistema.	2.35
2.4.2.	L'Analisi della Gamma di Prodotti e delle Quantità	2.37
2.4.3.	Stesura dei Flow-Chart.	2.40

2.4.4. Raccolta dei Dati per l'Analisi del Flusso dei Materiali	2.41
2.4.4.1. Foglio del Processo Operativo Monoprodotto	2.42
2.4.4.2. Unità MAG di Misura della Trasportabilità dei Materiali	2.46
2.4.4.3. Foglio del Processo Operativo Multiprodotto	2.48
2.4.4.4. Foglio Origine-Destinazione	2.49
2.4.4.5. Un Modo Giapponese per Migliorare il Flusso dei Materiali e delle Informazioni.	2.51
2.4.4.6. Applicazione della Metodologia Kaizen all'Ergonomia.	2.52
2.4.5. Studio delle Attività di Servizio	2.55
2.5. PROGETTO DEL LAY-OUT GENERALE.....	2.57
2.5.1. La Modellazione dei Flussi del Processo.	2.57
2.5.1.1. Lay-out dei Processi Intermittenti, a Punto Fisso	2.58
2.5.1.2. Lay-out dei Processi in Linea.	2.59
2.5.1.3. Generalità.....	2.59
2.5.2. I Criteri Qualitativi di Stesura dei Flussi e dei Rapporti.	2.61
2.5.3. I Criteri Quantitativi di Stesura dei Flussi e dei Rapporti (Calcoli Diretti).	2.65
2.5.3.1. Potenzialità e Numero delle Macchine	2.66
2.5.3.1.1. Produzione Job-Shop.....	2.68
2.5.3.1.2. Produzione in Linea.....	2.69
2.5.3.1.3. Evoluzione dalla Produzione Intermittente a quella in Linea.	2.70
2.5.3.2. Numero degli Operatori per l'Assemblaggio Manuale.....	2.72
2.5.3.3. Bilanciamento dell'Assemblaggio in Linea e Numero degli Operatori.....	2.72
2.5.3.4. Determinazione Empirica delle Aree di Processo	2.79
2.5.3.4.1. Metodo delle Conversioni	2.80
2.5.3.4.2. Metodo degli Spazi Standard.....	2.81
2.5.3.4.3. Metodo del Lay-out Schematico.....	2.81
2.5.3.4.4. Metodo delle Cifre Indice.....	2.81
2.5.3.5. Verifica Analitica del Lay-out.....	2.82
2.5.3.6. Pianificazione del Lay-Out al Computer.	2.85
2.5.3.6.1. CRAFT (Computerized-Relative-Allocation-of-Facilities).....	2.85
2.5.3.6.2. ALDEP (Automated-Lay-out-Design-Program)	2.86
2.5.3.6.3. Decisioni di Lay-Out.	2.86
2.5.3.7. Alternative alle Linee di Montaggio Tradizionali	2.86
2.6. L'INTEGRAZIONE DELLO STUDIO DEL PRODOTTO E DEL PROCESSO.....	2.89
2.6.1. Approccio Integrato del Processo di Sviluppo	2.90
2.6.1.1. Il CAD.	2.91
2.6.1.2. Il CAM.....	2.91
2.6.1.3. Il CIM.	2.94
2.6.1.3.1. Caratteristiche del CIM nella Progettazione.....	2.99
2.6.1.3.2. Caratteristiche del CIM nella Produzione.....	2.101
2.6.1.3.3. Conclusioni.....	2.103
2.6.1.4. La Robotica.....	2.103
2.7. PREZZO DI VENDITA ED INDIVIDUAZIONE DEL VOLUME PRODUTTIVO AZIENDALE.....	2.105
2.7.1. Variazioni delle Condizioni dell'Offerta.....	2.106
2.7.2. Variazione delle Condizioni della Domanda.	2.108
2.7.3. La Variabile Tempo.	2.109
2.7.4. Classificazione dei Mercati.	2.111
2.7.5. Classificazione dei Costi di Produzione.....	2.113
2.7.5.1. Costi di Installazione	2.113

2.7.5.2. Costi di Esercizio.....	2.115
2.7.6. Determinazione della Quantità da Produrre nel Mercato Concorrenziale.	2.116
2.7.7. Scelta delle Alternative nel Mercato Concorrenziale.	2.120
2.8. LA GIUSTIFICAZIONE ECONOMICA	
DELL'INVESTIMENTO. L'ANALISI FINANZIARIA.....	2.123
2.8.1. Concetti Elementari di Matematica Finanziaria Attuariale	2.124
2.8.1.1. Metodo dell'Interesse Semplice.	2.124
2.8.1.2. Metodo dell'Interesse Composto.....	2.125
2.8.1.3. Metodo del Valore Attualizzato di n Pagamenti Posticipati.....	2.125
2.8.2. Ammortamento e suo Significato	2.126
2.8.2.1. La Risorsa Flusso di Cassa e gli Ammortamenti.....	2.127
2.8.2.2. L'Ammortamento Contabile.	2.128
2.8.2.3. L'Ammortamento Economico.....	2.128
2.8.2.3.1. Ammortamento a Rata Annuale S Costante.....	2.129
2.8.2.3.2. Ammortamento a Quota Capitale q Costante.....	2.129
2.8.2.3.3. Ammortamento a Frazione Costante p del Valore Residuo.	2.130
2.8.2.4. L'Ammortamento Finanziario.....	2.131
2.8.2.5. L'Ammortamento Fiscale (D.M. Finanze 29/10/1974).....	2.131
2.8.3. Criteri di Valutazione della Redditività degli Investimenti.	2.134
2.8.3.1.1. Il Metodo del Valore Totale Attualizzato dei Flussi di Cassa	2.135
2.8.3.1.2. Il Metodo del Tasso di Redditività Interno Attualizzato	2.137
2.8.3.1.3. Il Metodo del Tempo Attualizzato di Rientro del Capitale	2.137
2.8.4. Il Valore Economico di un'Attrezzatura Industriale.....	2.138
2.8.4.1. Costo dei Beni Strumentali.....	2.140
2.8.4.2. Costo della Manodopera, dei Materiali e dello Spazio Utilizzato	2.141

❖ INDICE DELLE FIGURE

fig. 1.1.	Schema delle trasformazioni dell'energia e delle sue utilizzazioni nell'industria di produzione e negli impianti industriali	1-18
fig. 1.2.	Classificazione delle produzioni industriali.....	1-20
fig. 1.3.	Classificazione degli Impianti di Produzione	1-21
fig. 1.4.	Tipi di processi in linea degli impianti industriali.....	1-24
fig. 1.5.	Modello del flusso nella produzione intermittente.	1-25
fig. 1.6.	Modello di flusso nella produzione su progetto.....	1-26
fig. 1.7.	a) Schema di processo di produzione secondo il principio del make-to-order.	1-30
fig. 1.7.	b) Schema di processo di produzione secondo il principio del make-to-stock.	1-31
fig. 1.8.	Classificazione degli Impianti di Servizio	1-33
fig. 1.9.	Metodo di ottimizzazione dei costi di gestione annuali.....	1-36
fig. 2.1.	Schema della realizzazione di un impianto di produzione ed esplosione della fase dello Studio di Fattibilità.....	2.1
fig. 2.2.	Quadro riepilogativo delle previsioni della domanda di mercato e delle iniziative dell'impresa.....	2.5
fig. 2.3.	Processo di sviluppo di un nuovo prodotto.....	2.9
fig. 2.4.	Curva di mortalità delle idee di un nuovo prodotto.	2.12
fig. 2.5.	Diagramma di flusso per le decisioni di prodotto	2.14
fig. 2.6.	Ciclo di vita del prodotto.	2.18
fig. 2.7.	Approccio simultaneo nel ciclo di vita del Prodotto.....	2.19
fig. 2.8.	Matrice della relazione tra prodotto e processo.	2.22
fig. 2.9.	Modello economico della varietà di gamma.....	2.25
fig. 2.10.	Mancanza di integrazione interfunzionale nel progetto di un'altalena (da R.G. Schröder).....	2.29
fig. 2.11.	Modello dinamico dell'innovazione prodotto-processo.	2.30
fig. 2.12.	Raccolta dei Dati mediante il Foglio dei Dati di Prodotto e relative Quantità.....	2.37
fig. 2.13.	Analisi del mix produttivo di un'azienda.	2.38
fig. 2.14.	Esempi di rappresentazione dei flussi dei materiali in produzione.....	2.41
fig. 2.15.	Analisi del mix produttivo di un'azienda e supporti decisionali.	2.41
fig. 2.16.	Simboli unificati per la compilazione della scheda del flusso dei materiali.	2.42
fig. 2.17.	Disegno di assemblaggio (vista esplosa) di un corpo caldaia domestica a gas degli anni '80. È messo in evidenza il particolare programmato.....	2.43
fig. 2.18.	Foglio del Processo Operativo di assemblaggio del particolare di fig. 2.17.....	2.44
fig. 2.19.	a) rappresentazione di parte del Diagramma del Processo Operativo di assemblaggio dell'intero insieme di fig. 2.17, b) elemento completo di Diagramma del Processo Operativo di Lavorazione.	2.45
fig. 2.20.	Ciclo di lavorazione del pozzetto del termostato di regolazione di fig. 2.17.....	2.46
fig. 2.21.	Foglio del Processo Operativo Multiprodotto per 6 modelli.	2.49
fig. 2.22.	Foglio Origine-Destinazione.....	2.50
fig. 2.23.	Foglio Origine-Destinazione di un Job-Shop (per reparti), con indicazione dei flussi, in unità MAG nell'unità di tempo.	2.50
fig. 2.24.	Diagramma del flusso dei materiali, o lay-out di primo tentativo, in un job-shop, caso di fig. 2.23.	2.50
fig. 2.25.	Tabella dei Rapporti.....	2.56
fig. 2.26.	Tipi di blocchi usati nel flow-chart.	2.58
fig. 2.27.	Quadro della scelta del metodo.....	2.60
fig. 2.28.	Esempio di lay-out di supermercato.	2.62
fig. 2.29.	Tabella dei Rapporti degli uffici di una piccola Società di Ingegneria.....	2.63
fig. 2.30.	Progressiva stesura del Diagramma Combinato dei Rapporti , mediante l'inserimento progressivo di attività con grado di relazione minore.	2.64

fig. 2.31.	Razionalizzazione della rappresentazione, con dilatazione grafica dei simboli.	2.64
fig. 2.32.	Foglio del Processo Operativo di lavorazione.	2.66
fig. 2.33.	Costruzione della Curva Caratteristica del Prodotto.	2.71
fig. 2.34.	Curve di ottimizzazione del lavoro assegnato al singolo operatore.	2.74
fig. 2.35.	Esploso del triciclo giocattolo da montare in catena.	2.75
fig. 2.36.	Diagramma di flusso del montaggio del triciclo di fig. 2.35.	2.76
fig. 2.37.	Diagramma delle precedenze nel montaggio del triciclo di fig. 2.38.	2.76
fig. 2.38.	a) Matrice dei trasferimenti per settimana T_{ij} tra le locazioni i e j nei due sensi; b) Matrice dei costi di trasferimenti per unità di carico C_{ij} (in € per metro e per trasferimento) tra le locazioni i e j	2.84
fig. 2.39.	Lay-out iniziale.	2.84
fig. 2.40.	a) matrice delle distanze D_{ij} tra le locazioni i e j , sulla base della disposizione di fig. 2.43; b) matrice dei costi C_{ij}	2.84
fig. 2.41.	a) lay-out tradizionale per una produzione intermittente, b) lay-out per una produzione secondo la <i>group-technology</i>	2.92
fig. 2.42.	Lay-out di un FMS di montaggio di carrozzerie.	2.93
fig. 2.43.	Posizionamento dei sistemi produttivi a controllo computerizzato nella matrice prodotto-processo.	2.94
fig. 2.44.	Situazioni di governo dell'impresa.	2.95
fig. 2.45.	Classificazione degli strumenti CIM.	2.96
fig. 2.46.	Struttura del sistema integrato di progettazione, produzione e gestione.	2.98
fig. 2.47.	Legami informatici al Database dei Sistemi Aziendali di Produzione.	2.102
fig. 2.48.	Curve della Domanda e dell'Offerta del mercato concorrenziale del Carbone nel mondo (2002).	2.106
fig. 2.49.	Effetto della variazione del prezzo del carbone sulla: a) curva di offerta di un bene; b) curva della domanda.	2.107
fig. 2.50.	Andamento dei prezzi di cavolfiore in funzione del tempo, in assenza di fenomeni perturbatori (2003).	2.110
fig. 2.51.	Versamenti e costi passivi, dipendenti dal tempo.	2.114
fig. 2.52.	Determinazione della produzione ottimale.	2.119
fig. 2.53.	Versamenti e costi passivi col metodo dell'interesse semplice.	2.124
fig. 2.54.	Versamenti e costi passivi col metodo dell'interesse composto.	2.125
fig. 2.55.	Versamenti e costi passivi col metodo del valore attualizzato netto.	2.125
fig. 2.56.	Piano di ammortamento.	2.127
fig. 2.57.	Rappresentazione del flusso di cassa nel periodo k	2.128
fig. 2.58.	Piano di restituzione di un investimento fatto al tempo τ_0	2.136
fig. 2.59.	Andamento dei flussi di cassa nel piano di investimento dell'esempio.	2.136
fig. 2.60.	Confronto tra due piani di investimento col metodo del pay-back.	2.137
fig. 2.61.	Curva Caratteristica del Prodotto.	2.139
fig. 2.62.	Calcolo del costo totale annuo equivalente CTAE.	2.140

❖ INDICE DELLE TABELLE

tab. 1.I.	Le priorità competitive in Europa, Stati Uniti e Giappone.	1-11
tab. 1.II.	Le priorità delle strategie di mercato nei Paesi Industrializzati.	1-12
tab. 1.III.	Caratteristiche dei processi.	1-27
tab. 1.IV.	Confronto tra processo make-to-stock e make-to-order.	1-32
tab. 2.I.	Schema dello studio del prodotto.	2.10
tab. 2.II.	Confronto tra vantaggi e svantaggi delle singole disposizioni di lay-out.	2.39
tab. 2.III.	Valori di MAG di alcuni oggetti.	2.47

tab. 2.IV.	Valori correttivi di MAG	2.47
tab. 2.V.	Analisi comparativa tra le caratteristiche del Kaizen e dell'innovazione.	2.51
tab. 2.VI.	Operazioni di assemblaggio del triciclo di fig. 2.35.	2.77
tab. 2.VII.	Ordinamento delle operazioni sul triciclo per numero di predecessori.	2.77
tab. 2.VIII.	Bilanciamento della linea con la regola Kilbridge e Wester.	2.77
tab. 2.IX.	Applicazione del Metodo delle Conversioni ad un impianto di trattamento superficiale [m ²]. Due evoluzioni.	2.80
tab. 2.X.	Spazi Standard di alcune macchine utensili.	2.81
tab. 2.XI.	Cifre Indice delle aree di alcune attività industriali	2.82
tab. 2.XII.	Reparti dell'azienda produttrice di tosaerba e spazzaneve.	2.83
tab. 2.XIII.	Effetto dell'integrazione nell'anno di esercizio.	2.103
tab. 2.XIV.	Esempio di andamento dei costi al variare della produzione.	2.118
tab. 2.XV.	Andamento dell'ammortamento a rata annuale costante del valore di un bene strumentale nel tempo.	2.129
tab. 2.XVI.	Andamento dell'ammortamento a quota annuale costante del valore di un bene strumentale nel tempo.	2.130
tab. 2.XVII.	Andamento dell'ammortamento a frazione costante del valore residuo	2.130
tab. 2.XVIII.	Estratto dal D.M. delle Finanze 29/10/74 "Approvazione della tabella dei coefficienti di ammortamento dei beni strumentali impiegati nell'esercizio di attività commerciali, arti e professioni" e relativa ad alcuni tipi di industrie manifatturiere, metallurgiche e meccaniche.	2.132
tab. 2.XIX.	Esempio di piano dei flussi di cassa netti ed attualizzati nella vita dell'impianto.	2.136
tab. 2.XX.	Caratteristiche economiche ed operative di alcune macchine da produzione.	2.138